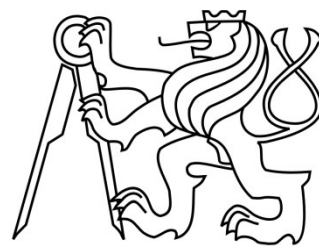


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

K13115 _ Katedra elektroenergetiky



PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI RODINNÉHO DOMU

CERTIFICATE OF ENERGY LOSSES OF A FAMILY HOUSE

Praha 2015

**Vedoucí práce: Ing. Lubomír Musálek
Vypracoval: Jan Votava**

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jan Votava**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Průkaz energetické náročnosti rodinného domu**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se z legislativou k tvorbě průkazu energetické náročnosti budov.
- 2) Pro zvolený rodinný dům spočítejte energetickou náročnost budovy a navrhnete tepelnou izolaci pro tento rodinný dům.
- 3) Vytvořte průkaz energetické náročnosti pro situaci před a po zateplení.

Seznam odborné literatury:

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. Elektrotepelná technika. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [2] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov
- [3] www.tzb-info.cz

Vedoucí: Ing. Lubomír Musálek

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržení etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

13. května 2015

.....
Jan Votava

ANOTACE: Tato práce se zabývá ve své první části legislativou a postupy vypracovávání průkazu energetické náročnosti budovy. Uváděné postupy jsou platné při vytváření PENB pro rodinné domy podle aktuální úpravy zákona č. 406/2000 sb. Druhá část práce se zabývá samotným stanovením energetické náročnosti vybraného domu, včetně zahrnutí podmínek vyplívající ze situace a současného stavu, dále jsou sebraná a vypočtená data použita jako podklad pro návrh optimálních energeticko-úsporných opatření. Další část se zabývá výpočetním ověřením energetické náročnosti po navrhnutém energeticko-úsporném opatření a jeho energetickým a ekonomickým zhodnocením.

ABSTRACT: This work deals in the first part with the legislation and procedures developing certificate of energy losses of a family house. Reported procedures are valid when creating PENB for houses according to the current regulations of the law no. 406/2000 sb. The second part deals with the actual determination of the energy performance of selected house, including conditions arising from the situation and the current state, followed by, are collected and calculated data used as the basis for the design of an optimal energy-saving measures. Another section deals with computing verification of energy performance after proposed energy-saving measure and the energy and economic evaluation.

KLÍČOVÁ SLOVA: teplo, odpor, ztráty, spotřeba, energetika

KEYWORDS: heat, resistance, losses, consumption, energetics

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOTAVA, J. *Průkaz energetické náročnosti rodinného domu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2015. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Musálek.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Lubomíru Musálkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV A LEGISLATIVA.....	12
2.1. Energetická náročnost budov	12
2.2. Legislativa energetické náročnosti budov	13
2.3. Základní pojmy pro vytváření PENB podle vyhlášky č. 78/2013 sb.....	13
2.4. Obsah průkazu energetické náročnosti budov.....	14
2.5. Sledované ukazatele energetické náročnosti budovy	16
2.6. Postup při výpočtu sledovaných veličin PENB.....	20
2.6.1. Návrhové hodnoty parametrů venkovního prostředí.....	20
2.6.2. Návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí.....	22
2.6.3. Definice hranic pro výpočty PENB.....	23
2.6.4. Tepelné odpory a součinitelé prostupu tepla.....	23
2.6.4.1. Součinitel prostupu tepla.....	24
2.6.4.2. Součinitel prostupu tepla zeminou.....	27
2.6.4.3. Měrný tepelný tok prostupem tepla budovy	28
2.6.4.4. Měrný tepelný tok přes neklimatizované prostory H_U (W/K)	29
2.6.4.5. Měrný tepelný tok prostupem tepla zeminou H_g (W/K)	29
2.6.4.6. Celkový měrný tepelný tok prostupem tepla H_T (W/K)	30
2.6.4.7. Měrný tepelný tok větráním H_V (W/K).....	30
2.6.5. Tepelný tok a tepelná ztráta prostupem tepla a větráním.....	31
2.6.5.1. Tepelná ztráta obálkou (MJ)	31
2.6.5.2. Měsíční tepelný tok tepla zeminou Φ_m	31
2.6.5.3. Tepelná ztráta větráním Q_V (MJ)	32
2.6.5.4. Celkové množství přeneseného tepla při vytápění za sledovaný časový úsek Q_{ht}	32
2.6.6. Tepelné zisky.....	32
2.6.6.1. Solární tepelné zisky	32
2.6.6.2. Vnitřní tepelné zisky	34
2.6.7. Potřeba tepla na vytápění	37
2.6.7.1. Faktor využitelnosti tepelných zisků $\eta_{H,gn}$	37
2.6.7.2. Celkové měsíční tepelné zisky Q_{gn}	38
2.6.8. Výpočty difúzního odporu, určení rosného bodu a celková roční bilance zkondenzované vody.....	39
3. POSUZOVANÁ BUDOVA	41

3.1.	Popis stávajícího stavu budovy	41
3.2.	Návrh tepelné izolace domu	44
3.2.1.	Vstupní podmínky pro návrh tepelné izolace.....	44
3.2.2.	Návrh tepelné izolace, včetně kontroly roční bilance zkondenzované vody	45
4.	VYTVOŘENÍ PENB PŘED REKONSTRUKCÍ A PO REKONSTRUKCI	49
4.1.	Určení systémové hranice pro výpočet energetické náročnosti	49
4.2.	Vypočtené tepelné technické vlastnosti obálky budovy pro budovu před rekonstrukcí, po rekonstrukci a pro referenční budovu.....	49
4.2.1.	Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků a měrné tepelné toky	49
4.2.2.	Měrný tepelný tok větráním	51
4.3.	Vypočtené tepelné ztráty pro zadané okrajové podmínky	51
4.4.	Vypočtené tepelné zisky pro zadané okrajové podmínky	51
4.4.1.	Vypočtené solární tepelné zisky.....	51
4.4.2.	Vypočtené tepelné zisky od osob a od vybavení.....	52
4.4.3.	Vypočtené tepelné zisky z rozvodu a akumulace TV	53
4.4.4.	Vypočtené tepelné zisky od osvětlení	53
4.4.5.	Celkové vypočtené tepelné zisky pro zadané okrajové podmínky	53
4.5.	Potřeba energie na vytápění	53
4.6.	Dodaná energie na vytápění – (vypočtená spotřeba energie).....	56
4.7.	Potřeba energie na osvětlení.....	57
4.8.	Potřeba energie na přípravu a rozvod TV	58
4.9.	Vytvoření PENB	58
5.	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
6.	ZÁVĚR	63
	Použitá literatura	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	SEZNAM TABULEK.....	66

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A PŘÍSLUŠNÝCH ZNAČEK

Tabulka č.1, seznam použitých veličin

Veličina	Značka	Jednotka
Součinitel prostupu tepla	U	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
Bodový činitel prostupu tepla	χ	W/K
Lineární činitel prostupu tepla	ψ	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Měrný tepelný tok	H	W/K
Teplený odpor	R	$(m^2 \cdot K \cdot W^{-1})$
Redukční činitel	b	-
Termodynamická teplota	T	K
Teplota	θ	°C
Délka	l	m
Plocha	A	m ²
Násobnost výměny vzduchu	n	h ⁻¹
Čas	t	s
Difúzní odpor	Z	(m/s)
Faktor difúzního odporu	μ	(-)
Propustnost solární radiace	g	-
Intenzita solární radiace	I	W/m ²
Energie	Q	(MJ)
Účinnost přeměny	η	-
Tepelná kapacita budovy	C	(J/K)

Seznam použitých zkratk

Tabulka č.2, seznam použitých zkratk

PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
ČSN	česká technická norma
TNI	technická normalizační informace
EN	evropská norma
HDO	hromadné dálkové ovládání
ISO	mezinárodní norma
COP	topný faktor tepelného čerpadla
TV (TUV)	teplá voda (teplá užitková voda)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu

1. ÚVOD

V současné době, je globální snahou snižovat emise CO₂ a z toho vyplývající spotřebu energie, cílem Bruselu je snížit emise CO₂ do roku 2030 o 40 % čehož má být dosaženo snížením spotřeby energie o 30 %. Přesto však globální spotřeba energie roste. Pro budovy nyní platí, že se podílejí na celkové spotřebě energie přibližně ze 40 %, přičemž v současné době je technicky realizovatelné snížit spotřebu energie budovy bez energeticky úsporných opatření pouze pomocí zateplení až na 50 %. Cech pro zateplování budov v roce 2010 zveřejnil, že na zateplení stále čeká 45 % panelových domů a 88% bytů v ostatních domech. Další významných úspor může být dosaženo použitím oken s nízkým součinitelem prostupu tepla, jejich vhodným situováním, tepelnou izolací v oblastech střech a podlah, tepelnými zdroji s vysokou účinností, inteligentní regulací vytápění, rekuperačním větráním, vhodným návrhem osvětlení a v neposlední řadě využitím energie okolí. Jako projev této snahy se dá považovat požadavek uvedený v novele zákona 406/2000 Sb. Podle něhož musí být při prodeji domu, či pronájmu předložen průkaz energetické náročnosti domu, od 17.4.2014 má navíc Státní energetická inspekce právo pokutovat prodejce domu bez PENB.

2. ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV A LEGISLATIVA

2.1. Energetická náročnost budov

Energetická náročnost budov je definována zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií a návaznou vyhláškou č. 78/2013, která zpracovává předpis Evropské unie 31/2010/EU, stanovuje nákladově optimální požadavky na energetickou náročnost pro nové a rekonstruované budovy, dále popisuje metodu výpočtu energetické náročnosti budovy, vzor pro posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie, doporučená opatření pro snížení energetické náročnosti budovy a dále obsahuje vzorový protokol průkazu a způsob jeho zpracování. Cílem energetického hodnocení náročnosti budov je zhodnotit stav již stojících budov a budov ve výstavbě, navrhnout optimální úsporná opatření k dosažení energetických úspor z hlediska technického, ekonomického a ekologického pro stavbu nových a rekonstrukci stávajících budov. Z vyhlášky vyplívá pro nové budovy nutnost splnit požadavky na celkovou neobnovitelnou primární energii za rok, celkové dodané množství energie a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou. Pro rekonstruované budovy bude nutnost splnit pouze dva požadavky a to vždy průměrný součinitel prostupu tepla a celkovou neobnovitelnou primární energii za rok nebo celkové dodané množství energie.

Průkaz energetické náročnosti budov může zpracovat pouze energetický specialista, který získal osvědčení Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a je zapsán v Seznamu energetických specialistů.

2.2. Legislativa energetické náročnosti budov

Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií stanovuje opatření pro zvyšování hospodárnosti využití energie a práva a povinnosti při nakládání s energií a energetickými zdroji. Jako základní koncepce pro efektivní využívání energie určuje Státní energetickou koncepci, územní energetické koncepce a Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie. Zákon dále stanovuje minimální energetickou účinnost pro výrobu energie, ukazatele pro energetickou náročnost budov, vytápění a přípravu teplé vody a zavádí povinnost provedení energetického auditu pro větší spotřebitele energie a také zpracování průkazů energetické náročnosti budov pro všechny novostavby a opravy větších budov. Elektrospotřebiče jsou podle tohoto zákona povinně označovány energetickými štítky a jejich konstrukce podléhá požadavkům na ekodesign.

Související vyhlášky a předpisy:

- **Zákon č. 406/2000 Sb.** o hospodaření energií, zpracovává příslušné předpisy Evropské unie o zvyšování hospodárnosti využití energie
- **Zákon č. 406/2006 Sb.** zákon 406/2000 Sb. ve svém úplném znění
- **Vyhláška č. 148/2007 Sb.**, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách, vydaná Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR ze dne 18. června 2007
- **Zákon č. 318/2012 Sb.** o hospodaření energií v platném znění, vydaný Ministerstvem průmyslu a obchodu s platností od 1. ledna 2013, mění předchozí Zák. č. 406/2006 Sb.

2.3. Základní pojmy pro vytváření PENB podle vyhlášky č. 78/2013 sb.

- a) referenční budova –
je výpočtově definovaná budova stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch, stejné situace, stejného vnitřního uspořádání, se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami podle přílohy č. 1 k vyhlášce č. 78/2013 Sb.
- b) typické užívání budovy -
obvyklý způsob užívání budovy v souladu s vnitřním a venkovním prostředím, stanovený pro účely výpočtu energetické náročnosti budovy

- c) venkovní prostředí -
venkovní vzduch, vzduch v nevytápěných prostorech, přilehlá zemina, sousední budovy, porost
- d) vnitřní prostředí -
prostředí uvnitř zóny, které je definováno navrhovanými teplotami, relativní vlhkostí vzduchu, objemovou výměnou vzduchu, rychlostí proudění vzduchu a požadovanou intenzitou osvětlení
- e) přirozené větrání -
větrání založené na rozdílu tlaku a teploty vnitřního a venkovního prostředí
- f) nucené větrání –
větrání pomocí mechanického zařízení
- g) energonositel –
hmota nebo jev, který lze přeměnit na teplo, mechanickou práci a světlo
- h) vypočtená spotřeba energie –
energie pro zajištění typického užívání budovy se zahrnutím účinností technických systémů
- i) pomocná energie –
energie potřebná pro provoz technických systémů např. čerpadla, ventilátory atd.
- j) primární energie –
energie, která neprošla žádnou přeměnou

Zákon č. 406/2000 Sb. dále definuje:

- a) systémovou hranici –
jde o hranici ohraničující konstrukční části budovy a technických zařízení, zajišťujících dodávku energie do budovy

2.4. Obsah průkazu energetické náročnosti budov

Obsah průkazu energetické náročnosti budov je předepsán vyhláškou č. 78/2013 upravující původní obsah podle zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií a obsahuje:

Pro případ rodinných domů a bytových domů se neurčuje dílčí dodaná energie pro chlazení.

1. protokol

- účel zpracování průkazu
- základní informace o budově
- informace o stavebních prvcích, konstrukcích a technických systémech
- energetickou náročnost budovy

dále položky nepovinné pro prodej a pronájem

- technickoekonomickou a ekologickou proveditelnost alternativních dodávek energie
- doporučená opatření pro snížení energetické náročnosti
- identifikační údaje energetického specialisty a datum vypracování průkazu

2. grafické znázornění průkazu

- obsahuje zařazení budovy do klasifikační třídy energetické náročnosti
- obsahuje měrné hodnoty ukazatelů energetické náročnosti na vztahnou plochu a také hodnoty ukazatelů pro celou budovu

Obrázek č.1, grafické znázornění PENB

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: _____
 PSČ, místo: _____
 Typ budovy: _____
 Plocha obálky budovy: _____ m²
 Objemový faktor tvaru A/V: _____ m³/m²
 Celková energeticky vztahná plocha: _____ m²

FOTO

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>
Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>
Jiné:	<input type="checkbox"/>

Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je znázorněno níže.

PODÍL ENERGO NOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII

Hodnoty pro celou budovu MWh/rok

Elektrikna ze sítě - XX,X
 Škunce a en. prostředí - XX,X
 Zemní plyn - XX,X

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

	Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)	Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)
Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)		
A Mírnoféjně úsporná	Dop. A	Dop. A
B Velmi úsporná	XXX B	XXX B
C Úsporná	C	C
D Méně úsporná	D	D
E Neúsporná	E	E
F Velmi neúsporná	F	F
G Mírnoféjně neúsporná	G	G
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	XX,X	XX,X

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
U_{ext} kWh/(m²·K)						
A	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	XX	XX Dop.
B	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	XX	XX Dop.
C	x,xx	xx	xx	xx	xx	xx
D	Dop.	xx	xx	xx	xx	xx
E	xx	xx	xx	xx	xx	xx
F	xx	xx	xx	xx	xx	xx
G	xx	xx	xx	xx	xx	xx
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X

Zpracovatel: _____ Osvědčení č.: _____
 Kontakt: _____ Vyhotoveno dne: _____
 Podpis: _____

2.5. Sledované ukazatele energetické náročnosti budovy

Vyhláška stanovuje jako ukazatele energetické náročnosti budov

a) celkovou primární energii za rok

- Celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie.
- Za primární energii je podle vyhlášky považována energie, která neprošla žádnou přeměnou.
- Pro výpočet celkové primární energie platí vztah podle § 5

$$E_{\text{celková primární}} = \sum_{i \in Z} E_i \times F_i \quad [1]$$

kde:

Z je množina všech typů energonositelů

E_i je celková dodaná energie od energonositele

F_i je faktor celkové primární energie energonositele uvedený v příloze č. 3 k vyhlášce č. 78/2013 Sb.

b) neobnovitelnou primární energii za rok

- Pro výpočet neobnovitelné primární energie platí stejný postup jako v bodě a, do výpočtu však vstupuje F_i jako faktor neobnovitelné primární energie

$$E_{\text{neobnovitelná primární}} = \sum_{i \in Z} E_i \times F_i \quad [2]$$

kde:

Z je množina všech typů energonositelů

E_i je celková dodaná energie od energonositele

F_i je faktor neobnovitelné primární energie energonositele uvedený v příloze č. 3 k vyhlášce č. 78/2013 Sb.

Tabulka č. 3, Příloha č. 3 k vyhlášce č. 78/2013 Sb.

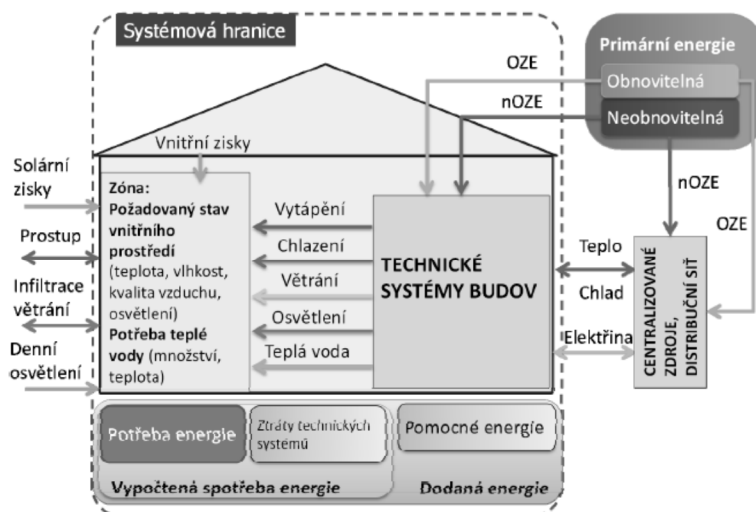
Energonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé uhlí	1,1	1,1
Hnědé uhlí	1,1	1,1
Propan-butan/LPG	1,2	1,2
Topný olej	1,2	1,2
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1,0	0,0
Elektřina - dodávka mimo budovu	-3,2	-3,0
Teplo - dodávka mimo budovu	-1,1	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 50% a nejvýše 80 % podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s 50% a nižším podílem obnovitelných zdrojů	1,1	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2	1,2

Faktor neobnovitelné primární energie pro referenční budovu - vytápění	1,1
Faktor neobnovitelné primární energie pro referenční budovu – příprava TV	1,1
Faktor neobnovitelné primární energie pro referenční budovu - osvětlení	3

- c) celkovou dodanou energii za rok
- Celkovou dodanou energii získáme sumací všech dílčích dodaných energií do budovy.
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok
- dílčí dodaná energie pro systémy vytápění se stanoví jako součet vypočtené spotřeby energie na vytápění a pomocné energie na provoz technického systému
výpočet energie na vytápění se stanoví podle normy ČSN EN ISO 13 790, podrobněji je popsán v následujících částech této práce, pomocné energie a účinnosti systémů jsou uvedeny v normách ČSN EN 15 316
 - Časovým úsekem výpočtu je jeden měsíc nebo jedna hodina, pro obytné budovy může být časovým úsekem také celé období vytápění. Při časových intervalech delších obdobích než jeden měsíc zanedbáváme akumulované teplo v konstrukci budovy. Výpočet je možno provádět také podle hodinových uživatelských profilů, podle časového profilu teplot a způsobu větrání.
Pro výpočet rodinných domů se běžně užívá měsíčního časového úseku.
 - Budova je podle situace rozdělena do několika zón, nebo je uvažována jako jedna zóna. Za zónu lze považovat podle TNI 73 0331 přílohy B části budovy se stejným zdrojem vytápění, či chlazení. Má stejný profil využívání a splňuje další požadavky na zónování podle ČSN EN ISO 13790.
 - Potřeby energie na vytápění jsou vypočteny z bilance jednotlivých zón.
 - Energetická bilance je rozdělena na bilanci energie na úrovni budovy a na energetickou bilanci na úrovni systému.
 - bilance energie na úrovni budovy zahrnuje:
 - i. přenos tepla prostupem mezi klimatizovaným prostorem a venkovním prostředím daný rozdílem teplot mezi nimi
 - ii. přenos tepla větráním daný rozdílem mezi teplotou klimatizovaného prostoru a teplotou přiváděného prostoru
 - iii. přenos tepla prostupem a větráním mezi přiléhajícími zónami, daný rozdílem mezi teplotou klimatizované zóny a teplotou sousedního prostoru
 - iv. vnitřní tepelné zisky, např. od osob, spotřebičů, osvětlení a ztrátové teplo od technických systémů

- v. solární tepelné zisky, přímé – prostupem skleněnými plochami a nepřímé – pohlcováním na neprůsvitných prvcích budovy
- vi. teplo akumulované v hmotných konstrukcích
- vii. potřebu energie na vytápění vytápěné zóny
 - bilance energie na úrovni technických systémů budovy zahrnuje:
 - i. potřebu energie na vytápění zóny budovy
 - ii. energii ze systémů využívající obnovitelné zdroje energie
 - iii. ztráty při výrobě, ukládání a rozvodu, sdílení a ztráty regulací vytápění
 - iv. energii na vstupu do systému vytápění
 - v. energii na vstupu do centrálního předehřevu, včetně transportu, tepelných a regulačních ztrát
 - vi. energetickou produkci ze systému vytápění (z kogeneračních jednotek)
- e) průměrný součinitel prostupu tepla
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- g) účinnost technických systémů
 - Pro výpočet energetické náročnosti hodnocené budovy a referenční budovy, se použijí vstupní hodnoty z technické dokumentace v případě výstavby budovy, v případě dokončené budovy musejí vstupní hodnoty odrážet současný stav.
 - Pro výpočet referenční budovy je nadále použito stavebních a technických parametrů uvedených v příloze č. 1 k vyhlášce č. 78/2013 Sb.

Obrázek č. 2, grafické znázornění, stanovení dílčích energií na systémové hranici podle TNI 73 0331



2.6. Postup při výpočtu sledovaných veličin PENB

2.6.1. Návrhové hodnoty parametrů venkovního prostředí

Tato část je popsána normou ČSN 73 0540-3 v části 7 včetně uvedených tabulek.

Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období θ_e (°C) se stanoví z teplotní oblasti a nadmořské výšky, ve které se nachází budova podle následujícího vztahu.

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_{e,100} \cdot (h-100/100) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [3]$$

kde:

$\Delta\theta_{e,100}$ (°C) je návrhová teplota venkovního vzduchu v dané teplotní oblasti a nadmořské výšce 100 m n.m

$\Delta\theta_{e,0}$ (K) je výškový teplotní gradient v dané oblasti pro nadmořské výšky nad 100 m n.m

Tabulka č. 4, teplotní oblasti ČR návrhová teplota v zimním období, jejich průměrná nadmořská výška a teplotní gradient. (převzato z Tab. 1 ČSN)

Teplotní oblast	h (m n.m)	$\theta_{e,100}$ (°C)	$\Delta\theta_{e,0}$ (°C)
1	240	-12	-0,5
2	320	-14	-0,3
3	540	-16	-0,2
4	820	-18	-0,2

Návrhová průměrná teplota pro zimní období se pro konkrétní oblast stanoví ze vztahu [3]

Pro výpočet tepelných ztrát podle měsíčního kroku je pak využíváno průměrných parametrů venkovního prostředí dle TNI 73 0331.

Tabulka č. 5, průměrné měsíční parametry venkovního prostředí,
(převzato z Tab. C.2 TNI 73 0331)

	Průměrné měsíční parametry venkovního prostředí											
	Led	Úno	Bře	Dub	Kvě	Čvn	Čvc	Srp	Zář	Řij	Lis	Pro
Teplota vzduchu (°C)	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	13,5	8,3	3,2	0,5
Tlak vodní páry (hPa)	4,9	5,1	6,1	7,4	10,4	12,8	14,2	14,0	11,6	9,0	6,8	5,5
Relativní vlhkost (%)	83,1	80,1	73,4	66,2	66,6	68,4	67,1	67,4	73,5	79,4	85,0	85,3
Absolutní vlhkost (g/m ³)	3,9	4	4,7	5,6	7,9	9,6	10,5	10,4	8,8	6,9	5,3	4,3

Tabulka č. 6, délka výpočetního kroku, (převzato z Tab. C.3 TNI 73 0331)

	Délka časového kroku výpočtu											
	Led	Úno	Bře	Dub	Kvě	Čvn	Čvc	Srp	Zář	Řij	Lis	Pro
Počet dnů (den)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Počet hodin (h)	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

TNI 73 0331 dále stanovuje v tabulkové příloze C.1 pro výpočet celkové dodané energie při měsíční kroku výpočtu energii dodanou slunečním zářením.

Energie je dána ozářením **H (kWh/(m²·měsíc))** a hodnoty ozáření jsou rozděleny podle kalendářního měsíce azimutového úhlu a sklonu ozařované plochy. Pro rozsáhlost, budou data uvedena pouze pro rozsah praktického výpočtu PENB.

Tabulka č. 7, výňatek z tabulky C.1 TNI 73 0331

Úhel sklonu plochy β	Dávka měsíčního slunečního ozáření H (kWh/(m ² .měsíc))											
	Led	Úno	Bře	Dub	Kvě	Čvn	Čvc	Srp	Zář	Řij	Lis	Pro
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)												
0	20,8	37,0	72,2	113,8	148,8	146,2	144,3	136,2	87,1	56,5	25,2	14,9
15	27,5	46,4	89,0	124,6	155,5	149,8	148,8	147,3	97,9	69,9	33,8	20,8
30	32,0	53,1	90,8	128,9	154,8	146,2	145,8	151,8	104,4	79,6	41,0	25,3
45	35,7	57,1	93,0	127,4	147,3	136,1	136,9	148,1	105,1	85,6	46,1	29,0
60	37,2	57,8	91,5	118,8	132,4	120,2	121,3	136,9	100,8	86,3	48,2	30,5
75	36,5	55,8	84,8	105,1	111,6	99,4	101,2	119,0	91,4	82,6	48,2	30,5
90	34,2	51,1	74,4	85,7	87,0	75,6	78,1	96,0	77,8	74,4	45,4	29,0
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 15^\circ$												
15	26,8	45,7	82,6	123,8	155,5	149,8	148,8	147,3	97,2	69,2	33,8	20,8
30	32,0	52,4	90,0	128,2	154,8	146,9	145,8	151,0	103,0	78,9	40,3	25,3
45	35,0	55,8	92,3	126,0	146,6	136,8	136,9	147,3	103,7	84,1	44,6	28,3
60	36,5	56,4	90,0	118,1	132,4	121,7	122,0	136,2	98,6	84,1	46,8	30,5
75	35,7	54,4	83,3	104,4	112,3	101,5	101,9	118,3	89,3	80,4	46,8	30,5
90	33,5	49,7	72,9	86,4	88,5	77,8	79,6	96,7	75,6	72,2	43,2	29,0
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 105^\circ$												
15	19,3	34,3	67,7	108,7	143,6	143,3	139,9	130,2	81,4	52,1	22,3	13,4
30	17,9	31,6	62,5	101,5	133,2	135,4	130,9	120,5	74,9	47,6	20,9	12,6
45	16,4	29,6	57,3	94,3	121,3	124,6	119,0	108,6	67,7	43,9	18,7	11,9
60	14,9	26,9	52,1	85,7	107,9	113,0	106,4	97,5	61,2	40,2	17,3	11,2
75	13,4	24,2	46,9	76,3	94,5	99,4	93,0	84,8	54,7	35,7	15,8	9,7
90	11,2	20,8	40,2	66,2	80,4	85,7	79,6	72,9	46,8	32,0	13,7	8,2

2.6.2. Návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí

Tabulka č. 8, Vnitřní výpočtové teploty dle ČSN 73 0540-3 a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210

Obytné budovy trvale využívané Typ vytápěné místnosti	Návrhová vnitřní teplota v zimním období θ_i (°C)	Doporučená relativní vlhkost vzduchu φ_i (%)
obývací místnosti (obývací pokoje, ložnice, jídelny, pracovny, dětské pokoje)	20	60
kuchyně	20	60
koupelny	24	60
klozety	20	60
vytápěné vedlejší místnosti (předsíně, chodby)	15	60
vytápěná schodiště	10	60

Konečnou návrhovou teplotu vnitřní teplotu získáme po přičtení teplotní přírážky $\Delta\theta_{ai}$ (K), která vyrovnává rozdíly mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch. V rodinných domech je běžné uvažovat návrhovou teplotu chodby a schodiště stejnou jako návrhovou teplotu pro obytné prostory.

Pro ústřední topení platí: $\Delta\theta_{ai} = 0,6 \text{ K}$

Pro sálavé nízkoteplotní zdroje např. podlahové topení platí: $\Delta\theta_{ai} = 0,3 \text{ K}$

Pro vlhkost pak platí uvažování bezpečnostní přírážky, při výpočtu roční bilance zkondenzované vody. Bezpečnostní přírážka φ_{ai} (%) je konstantně 5%.

2.6.3. Definice hranic pro výpočty PENB

Při výpočtu potřeb energie a vytápění a chlazení se definují hranice budovy jako všechny stavební prvky oddělující klimatizovaný prostor od venkovního prostředí, popřípadě neklimatizovaných přilehlých prostor jako jsou střešní prostory verandy atd. Běžný postup podle ČSN EN ISO 13790 je pak rozdělení na výpočtové zóny, kdy jsou nevytápěné prostory uvažovány jako samostatná zóna a mezi zónami je uvažováno výpočetní tepelné propojení, výpočet teploty uvnitř nevytápěné zóny je dán normou ČSN EN ISO 13790. Přilehlé neklimatizované prostory jsou poté uvažovány jako temperované, dále je započítáván vliv snížení tepelného toku z klimatizované zóny do venkovního prostředí.

2.6.4. Tepelné odpory a součinitelé prostupu tepla

Použité pojmy:

Referenční budova – Výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typem typického užívání a klimatických údajů jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejich konstrukcí a technických systémů.

Zóny budovy – Část budovy s podobnými vlastnostmi vnitřního prostředí, režimem užívání a skladbou technických systémů.

Obálka budovy – Soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budovy nebo sousední budovy vytápěné na nižší teplotu.

Aby bylo možné stanovit dodanou energii na vytápění, je nutné stanovit měrnou ztrátu prostupem tepla H_T (W/K), ta je dána průměrným celkovým součinitelem prostupu tepla U_{em} , jenž je základním charakterizujícím parametrem tepelněizolačních vlastností budovy. Dále měrným tepelným tokem větráním H_v (W/K), který je daný základními hygienickými požadavky pro daný počet lidí. Postup při jejich výpočtu bude popsán v následující části práce.

2.6.4.1. Součinitel prostupu tepla

Novela normy ČSN 73 0540-2 z roku 2011 zavádí k hodnocení součinitelů prostupu tepla U jednotlivých konstrukcí dále hodnocení průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} obálky budovy jako celku. Hodnota U jednotlivých konstrukcí musí splňovat podmínku $U \leq U_N$, kde U_N je požadovaná hodnota uvedená v tabulce č. 3 výše zmíněné normy. Výsledná požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N}$ musí podle normy splňovat podmínku $U_{em} \leq U_{em,N}$. Normou požadovanou hodnotu $U_{em,N}$ získáme z výpočtu pro referenční budovu, přičemž platí horní omezení vypočtené hodnoty na $0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

$U_{em} = H_T/A$	[4]	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$
H_T	je měrná ztráta prostupem tepla klimatizované zóny	(W/K)
A	teplosměnná plocha obálky budovy	(m^2)
$U_{em,N,20} = \Sigma (U_{N,j} \cdot A_j \cdot b_j) / \Sigma A_j + 0,02$	[5]	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$
$U_{N,j}$	normou požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla j-té konstrukce	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$
A_j	plocha j-té konstrukce	(m^2)
b_j	teplotní redukční činitel	(-)

Pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18 až 22 °C a s relativní vlhkostí $\varphi_i \leq 60\%$ se požadované hodnoty U_N stanoví dle tabulky č. 10.

Pro budovy nebo části budovy kdy navrhovaná vnitřní teplota θ_{im} neleží v intervalu 18 až 22 °C a s relativní vlhkostí $\varphi_i \leq 60\%$ se požadovaná hodnoty U_N stanoví z následujícího vztahu [6].

$$U_N = U_{N,20} \cdot e_1 \quad [6]$$

kde:

$$\text{součinitel typu budovy } e_1 = 16 / (\theta_{im} - 4) \quad (-)$$

pro koupelny $e_1 = 0,8$

$$U_{N,20} \text{ součinitel pro teploty v intervalu 18 až 22 } ^\circ\text{C} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

Součinitel prostupu jednotlivých konstrukcí s uvažovaným lineárním tepelným tokem se stanoví z tepelného odporu konstrukce a odporů při přestupu tepla na vnitřní R_{si} a vnější straně R_{se} konstrukce.

$$U = (R_{si} + \sum R_j + R_{se})^{-1} \quad [7] \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

kde

$$R_{si} \quad \text{Vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla dle tabulky} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$$

$$R_{se} \quad \text{Vnější tepelný odpor při přestupu tepla dle tabulky} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$$

$$R_j = d_j / \lambda_j \quad \text{Odpor } j\text{-té vrstvy konstrukce} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$$

$$d_j \quad \text{Tloušťka } j\text{-té vrstvy konstrukce} \quad (\text{m})$$

$$\lambda_j \quad \text{Součinitel tepelné vodivosti } j\text{-té vrstvy konstrukce} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

Pro válcové stěny platí:

$$R_j = \ln(r_2/r_1) / (2\pi \cdot \lambda_j \cdot l) \cdot (\alpha / r_1) \quad [8]$$

kde

$$r_1 \text{ vnitřní poloměr oblouku stěny} \quad (\text{m})$$

$$r_2 = r_1 + \text{síla stěny} \quad (\text{m})$$

$$l \text{ výška stěny} \quad (\text{m})$$

$$\alpha \text{ vnitřní délka oblouku} \quad (\text{m})$$

Tabulka č. 9, Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce z ČSN EN ISO 6946

Roční období	Typ konstrukce	R ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
-	svislá konstrukce	$R_{si} = 0,13$
-	vodorovná konstrukce tok nahoru	$R_{si} = 0,1$
-	vodorovná konstrukce tok dolů	$R_{si} = 0,17$
zimní období	vnější	$R_{se} = 0,04$
zimní období (n.v. ≥ 1000 m. n. m)	vnější	$R_{se} = 0,03$
letní období	vnější	$R_{se} = 0,07$

Tabulka č. 10, vybrané aktuální požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540 – 2:2011 týkající se konstrukčních prvků navrhované budovy

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)		
	Požadované hodnoty UN,20	Doporučené hodnoty Urec,20	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy Upas,20
stěna vnější	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ³⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9
dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
kovový rám výplně otvoru	-	1,8	1,0
nekovový rám výplně otvoru ²⁾	-	1,3	0,9 až 0,7

Poznámky k tabulce

1) Nemusí se vždy jednat o teplosměnnou plochu, ovšem s ohledem na postup výstavby a možné změny způsobů užívání se zajišťuje tepelná ochrana na uvedené úrovni.

2) Platí i pro rámy využívající kombinace materiálů, včetně kovových, jako jsou např. dřevohliníkové rámy.

3) Odpovídá výpočtu součinitele prostupu tepla podle ČSN 730540-4 (tj. bez vlivu zeminy), nikoliv výslednému působení podle ČSN EN ISO 13370.

V případě výpočtu součinitele prostupu tepla zatepleného stropu a střechy s taškovou krytinou, krycí fólií a bedněním platí pro výpočet součinitele prostupu tepla vztah

$$U = (R_{si} + \sum R_j + R_U + R_{se})^{-1} \quad [9]$$

kde

$R_U = 0,2 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$ přiřázka pro výše uvedenou střechu dle ČSN EN ISO 6946

(přiřázka tepelného odporu R_U se používá pro výpočet měrného tepelného toku H_T , nepoužívá se pro hodnocení tepelných vlastností konstrukce)

2.6.4.2. Součinitel prostupu tepla zeminou

Pro výpočet součinitele prostupu tepla zeminou platí nově postupy dle ČSN EN ISO 13370.

Pokud je druh podkladové zeminy budovy znám, stanovuje ČSN EN ISO 13370 následující hodnoty tepelné vodivosti zeminy.

Tabulka č. 11, tepelné vodivosti podkladové zeminy dle ČSN EN ISO 13370

Kategorie	Popis	Tepelná vodivost λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	Hloubka průniku δ (m)
1	hlíny a jíly	1,5	2,2
2	písky a štěrky	2	3,2
3	stejnorodá skála	3,5	4,2

Pro výpočty tepelného toku zeminou se zavádí charakteristický parametr podlahy B' (-)

$$B' = A / (0,5 \cdot P) \quad [10] \quad (\text{m})$$

kde v případě posuzování celé budovy

A celková vnější půdorysná plocha kromě plochy nevytápěného prostoru (m^2)

P celkový vnější obvod budovy kromě obvodu nevytápěného prostoru (m)

Dále se zavádí ekvivalentní tloušťka podlah d_t

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_t + R_{se}) \quad [11] \quad (\text{m})$$

kde

λ vodivost podkladové zeminy ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

w tloušťka obvodových stěn (m)

R_t celkový tepelný odpor podlahy včetně nášlapné vrstvy ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

pozn. v případě klimatizované podlahy se započítávají pouze vrstvy podlahy pod tepelným výměníkem

R_{si} vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla dle tabulky č.9 ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

R_{se} vnější tepelný odpor při přestupu tepla (při styku se zeminou platí $R_{se} = 0$) ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

Pro podlahy ležící celou svou plochou na zemině platí pro součinitel prostupu tepla následující vztahy:

Pro $d_t < B'$ (běžně neizolované a špatně izolované podlahy) platí:

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) \quad [12] \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

Pro $d_t \geq B'$ (dobře izolované podlahy) platí:

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [13] \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

2.6.4.3. Měrný tepelný tok prostupem tepla budovy

Měrný tepelný tok H_T (W/K) vyjadřuje celkové tepelné ztráty prostupem tepla obálkou budovy při daném rozdílu venkovních a vnitřních teplot.

Zjednodušená metoda výpočtu podle ČSN 730540-4

$$H_T = \Sigma A_j \cdot U_j \cdot b_j + A \cdot \Delta U_{tbm} \quad [14] \quad (\text{W/K})$$

A plocha všech ochlazovaných konstrukcí obálky budovy (m^2)

A_j plocha j-té ochlazované konstrukce obálku budovy (m^2)

b_j činitel teplotní redukce j-té konstrukce, běžně z ČSN 73 0450-3 $(-)$

(pro přilehlé nevytápěné prostory $b_j = 0,49$)

U_j součinitel prostupu tepla j-té konstrukce $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$

ΔU_{tbm} průměrný vliv všech tepelných vazeb $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$

b_j je činitel teplotní redukce j-té konstrukce (pro výplně 1 nikoliv 1,15) $(-)$

V případě použití zjednodušeného vztahu (doporučeno pouze pro zastarale řešené budovy bez optimalizace tepelných mostů) se započte vliv tepelných mostů ΔU_{tbm} dle tabulky č.12.

Tabulka č. 12, hodnoty ΔU_{tbm} dle ČSN 73 0540-4

Řešení konstrukce	ΔU_{tbm} ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
budovy s důsledně optimalizovanými tepelnými vazbami	$\approx 0,02$
budovy s mírnými tepelnými vazbami	$\approx 0,05$
budovy s běžnými tepelnými vazbami	$\approx 0,1$
budovy s výraznými mosty	$\approx 0,2$

Metoda podle ČSN 13 789 – přímý tok mezi vnitřním a venkovním prostředím

$$H_O = \Sigma A_i \cdot U_i + \Sigma \Psi_k \cdot l_k + \Sigma \chi_l \quad [15] \quad (\text{W/K})$$

kde

A_i je plocha i-tého prvku obvodového pláště (m^2)

U_i součinitel prostupu tepla i-tého prvku obvodového pláště $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$

l_k délka k-tého lineárního tepelného mostu (m)

Ψ_k lineární činitel prostupu tepla k-tého tepelného mostu $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Tabulka č. 13

χ_l bodový činitel prostupu tepla l-tého tepelného mostu (W/K)

2.6.4.4. Měrný tepelný tok přes neklimatizované prostory H_U (W/K)

výpočetní postupy popisuje norma ČSN EN ISO 13789

$$H_U = H_{lu} \cdot b \quad [16] \quad (\text{W/K})$$

kde

$$b = H_{ue} / (H_{lu} + H_{ue}) \text{ redukční činitel rozdílu teplot} \quad (-)$$

$$H_{lu} \text{ měrný tok mezi klimatizovaným a neklimatizovaným prostorem} \quad (\text{W/K})$$

$$H_{ue} \text{ měrný tok mezi neklimatizovaným a venkovním prostorem} \quad (\text{W/K})$$

2.6.4.5. Měrný tepelný tok prostupem tepla zeminou H_g (W/K)

Aktuální způsoby výpočtu prostupu tepla zeminou a měrného tepelného toku prostupem tepla zeminou H_g (W/K), určené pro výpočet ENB vychází z normy ČSN EN ISO 13370. Prostup tepla zeminou je podle normy charakterizován tepelným tokem plochou podlahy, závislým na tepelných vlastnostech podlahy a zeminy k podlaze přilehlé, dále tepelným tokem obvodem podlahy, který je daný tepelnými mosty po obvodu podlahy, a tepelně setrvačnými vlastnostmi zeminy. Pro účely této práce bude popsán vztah, uvedený v této normě s využitím hodnot pro lineární činitele prostupu tepla Ψ_g získanými z ISO 14683.

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g \quad [17] \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1})$$

kde

$$\text{celková vnější půdorysná plocha kromě plochy nevytápěného prostoru } A \quad (\text{m}^2)$$

$$\text{celkový vnější obvod budovy kromě plochy nevytápěného prostoru } P \quad (\text{m})$$

$$\text{součinitel prostupu tepla zeminou } U \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$\text{lineární činitel prostupu tepla } \Psi_g \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

pro tepelný most na okraji podlahy je hodnota lineárního činitele prostupu tepla

V případě klimatizované podlahy se vnitřní návrhová teplota ve výpočtu nahradí střední teplotou v rovině otopného prvku. Střední teplotu v rovině otopného prvku θ_h určíme z tepelného toku Φ_2 , který pokrývá veškeré ztráty vytápěné části budovy avšak se zanedbáním ztrát zeminou, podle následujícího vztahu.

$$\theta_h = \theta_l + (R_l \cdot \Phi_2) / A \quad [18] \quad (^\circ\text{C})$$

kde

$$\text{vnitřní návrhová teplota } \theta_l \quad (^\circ\text{C})$$

$$\text{odpor materiálu nad rovinou otopného prvku } R_l \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$$

$$\text{plocha podlahy } A \quad (\text{m}^2)$$

Tabulka č. 13, dle ISO 14683

Rozhraní	Typ tepelného mostu	Ψ_e W/(m·K)
Zed'/střecha	R2	0,50
Zed'/Zed'	C2	0,10
Zed'/Přízemní podlaha	GF6	0,45

2.6.4.6. Celkový měrný tepelný tok prostupem tepla H_T (W/K)

Celkový měrný tepelný tok prostupem tepla je dán součtem následujících položek.

$$H_T = H_O + H_g + H_U + H_A \quad [19] \quad (\text{W/K})$$

Kde H_O je přímý měrný tepelný tok mezi vnitřním a venkovním prostředím (W/K)

Kde H_g je měrný tepelný tok prostupem zeminou (W/K)

Kde H_U je měrný tepelný tok prostupem do přilehlých budov (W/K)

Kde H_A je měrný tepelný tok prostupem do přilehlých budov (W/K)

2.6.4.7. Měrný tepelný tok větráním H_V (W/K)

Běžně je větrání v budovách realizováno dvěma způsoby, nuceně (např. rekuperačním větráním, vzduchotechnickými systémy) a přirozeně (větrání infiltrací tzn. netěsnostmi obálky a otvory k větrání určenými). Pro zajištění hygienického prostředí k pobytu osob platí obecné doporučení na základě produkce CO₂ výměna 15 – 30 m³ · h⁻¹ vzduchu na osobu. Dále udává norma ČSN 73 0540 – 2 požadovanou násobnost výměny vzduchu n 0,3 – 0,6 h⁻¹.

následující vztahy vyplývají z normy ČSN EN 13 789

Měrný tepelný tok větráním H_V (W/K)

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot V_{V,j} \quad [20] \quad (\text{W/K})$$

pro přirozené větrání platí následující vztah pro určení $V_{V,j}$

$$V_{V,j} = n_j \cdot V_{a,j} / 3600 \quad [21] \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

kde

hustota vzduchu ρ_a (kg/m³)

měrná tepelná kapacita vzduchu c_a (J·kg⁻¹·K⁻¹)

objemový tok vzduchu pro větrání j-té zóny $V_{V,j}$ (m³/s)

objem vzduchu v j-té zóně $V_{a,j}$ (m³)

násobnost výměny vzduchu n_j (h⁻¹)

2.6.5. Tepelný tok a tepelná ztráta prostupem tepla a větráním

2.6.5.1. Tepelná ztráta obálkou (MJ)

$$Q_T = H_T \cdot (\theta_l - \theta_e) \cdot t \quad [22] \quad (\text{MJ})$$

kde

θ_l vnitřní teplota $(^\circ\text{C})$

θ_e venkovní teplota $(^\circ\text{C})$

t délka kroku výpočtu (Ms)

2.6.5.2. Měsíční tepelný tok tepla zeminou Φ_m

$$\Phi_m = H_g \cdot (\theta_l - \theta_e) + H_{p1} \cdot (\theta_l - \theta_{i,m}) + H_{pe} \cdot (\theta_e - \theta_{e,m}) \quad [23] \quad (\text{W})$$

kde

periodický měrný tepelný tok v důsledku kolísání vnitřní teploty H_{p1} (W/K)
při předpokladu, že vnitřní návrhová teplota je konstantní není nutno uvažovat

periodický měrný tepelný tok v důsledku kolísání venkovní teploty H_{pe}

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln (\delta/d_t + 1) \quad [24] \quad (\text{W/K})$$

$$\theta_{e,m} = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cdot \cos (2\pi (m - \tau) / 12) \quad [25] \quad (^\circ\text{C})$$

kde

θ_l vnitřní teplota $(^\circ\text{C})$

θ_e venkovní teplota $(^\circ\text{C})$

$\bar{\theta}_e$ roční průměrná venkovní teplota ($8,43 \text{ }^\circ\text{C}$) $(^\circ\text{C})$

$\hat{\theta}_e$ amplituda kolísání průměrné měsíční venkovní teploty $(^\circ\text{C})$

polovina rozdílu mezi nejvyšší a nejnižší průměrnou teplotou v měsíci

$\theta_{e,m}$ měsíční průměrná venkovní teplota v měsíci m $(^\circ\text{C})$

τ pořadové číslo měsíce s nejnižší venkovní teplotou $(-)$

m pořadové číslo měsíce $(-)$

δ hloubka průniku tab.č. 666 (m)

vzhledem k absenci potřebných venkovních teplot a odhadované amplitudě $10 \text{ }^\circ\text{C}$, pro kterou vychází v lednu $\theta_{e,m}$ pouze $3,43 \text{ }^\circ\text{C}$ (malý teplotní rozdíl u H_{pe}) bude v této práci H_{pe} zanedbáno

Pro tepelnou ztrátu prostupem tepla zeminou za výpočtový krok platí

$$Q_m = \Phi_m \cdot t \quad [26] \quad (\text{MJ})$$

kde

$$t \quad \text{délka kroku výpočtu} \quad (\text{Ms})$$

2.6.5.3. Tepelná ztráta větráním Q_v (MJ)

$$Q_v = H_v \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad [27] \quad (\text{MJ})$$

kde

$$\theta_i \quad \text{vnitřní teplota} \quad (^\circ\text{C})$$

$$\theta_e \quad \text{venkovní teplota} \quad (^\circ\text{C})$$

$$t \quad \text{délka kroku výpočtu} \quad (\text{Ms})$$

2.6.5.4. Celkové množství přeneseného tepla při vytápění za sledovaný časový úsek Q_{ht}

Celkové množství přeneseného tepla při vytápění je dáno, celkovým přeneseným teplem prostupem obálkou budovy Q_t a celkovým tepelným tokem větráním Q_v .

$$Q_{ht} = Q_t + Q_v \quad [28] \quad (\text{MJ})$$

2.6.6. Tepelné zisky

2.6.6.1. Solární tepelné zisky

Výpočtové postupy pro vyčíslení solárních tepelných zisků popisuje norma ČSN EN ISO 13 790. Norma definuje stavební prvky, se schopností využití solárních tepelných zisků včetně korekce sálání tepla těchto prvků vůči obloze. Mezi stavební prvky schopné využít solární teplo patří obvodové neprůhledné prvky, veškerá zasklení a vnitřní konstrukční prvky umístěné za transparentními izolacemi.

Pro výpočet solárních zisků se definuje:

Účinná solární sběrná plocha zasklených prvků

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1-F_F) \cdot A_{wp} \quad [29] \quad (m^2)$$

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n} \quad [30]$$

$$F_{sh,gl} = ((1-f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}) / g_{gl} \quad [31]$$

kde

$f_{sh,with}$	podíl doby se stínícími prvky a podíl celkové doby	(-)
$F_{sh,gl}$	korekční činitel pohyblivého stínění	(-)
g_{gl}	propustnost sluneční energie bez stínících prvků	(-)
g_{gl+sh}	propustnost sluneční energie se stínícími prvky	(-)
F_w	korekční činitel pro nerozptylující zasklení, lze uvažovat hodnotu 0,9	(-)
$g_{gl,n}$	propustnost sluneční energie pro kolmé záření	(-)
F_F	podíl plochy rámu k pohledové ploše A_{wp}	(-)
A_{wp}	celková plocha zaskleného prvku (včetně rámu)	(m^2)

Tabulka č. 14, Typické hodnoty $g_{gl,n}$ dle ČSN EN 13 790

Typ zasklení	$g_{gl,n}$ (-)
Jednoduché zasklení	0,85
Dvojitě zasklení	0,75
Dvojitě zasklení se selektivní vrstvou	0,67
Trojité zasklení	0,7
Trojité zasklení se dvěma selektivními vrstvami	0,5
Dvojitě okno 0,75	0,75

Účinná solární sběrná plocha neprůhledných prvků

$$A_{sol} = \alpha_{e,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad [32] \quad (m^2)$$

kde

$\alpha_{e,c}$	emisivita konstrukčního prvku	(-)
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
U_c	součinitel prostupu tepla konstrukčního prvku	($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
A_c	plocha konstrukčního prvku	(m^2)

Solární tepelný tok $\Phi_{sol,k}$ k-tým konstrukčním prvkem je dán vztahem

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,A} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \quad [33] \quad (W)$$

Celkový solární tepelný zisk je dán součtem všech solárních tepelných toků zasklenými a neprůhlednými prvky.

kde

$F_{sh,ob,A}$	korekční činitel na externí překážky	(-)
$A_{sol,k}$	účinná solární sběrná plocha dané konstrukce	(m^2)

$I_{sol,k}$	ozáření, energie solárního záření, na konstrukci dané prostorové orientace	$(W \cdot m^{-2})$
$F_{r,k}$	faktor sálání mezi stavební prvkem a oblohou (0,5 svislý prvek a 1 vodorovný)	(-)
$\Phi_{r,k}$	tepelný tok daný sáláním mezi stavebním prvkem a oblohou	(-)

Tabulka č. 15, zjednodušené hodnoty $F_{sh,ob,A}$ dle dodatkových informací 78/2013

Okna a prosklené plochy v nejnižším nadzemním podlaží	$F_{sh} = 0,6$
Okna a prosklené plochy v ostatních vyšších nadzemních podlažích	$F_{sh} = 0,9$

Pro tepelný tok daný sáláním vůči obloze platí vztah

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta T_{er} \quad [34] \quad (W)$$

kde

ΔT_{er} průměrný rozdíl teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy, pro mírné pásmo $\Delta T_{er} = 11 \text{ K}$
součinitel přestupu tepla sáláním $h_r = \alpha_{e,c} \cdot \sigma \cdot (T_{oblohy} + T_{povrchu})^3 / 2 \quad [35] \quad (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$

Pro celkovou bilanci dodané tepelné energie lze využít dávek průměrného měsíčního slunečního ozáření H ($kWh \cdot m^{-2} \cdot \text{měsíc}^{-1}$) dosazením místo $I_{sol,k}$, tyto údaje jsou pro daný azimutový úhel dány tabulkou č.7 v části s okrajovými podmínkami.

pozn. Od roční bilance energie potřebné na vytápění odečteme energii za měsíce, pro které se předpokládá vytápění.

2.6.6.2. Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky zahrnují dle ČSN 13 790

- Metabolické teplo obyvatel
- Teplo uvolňované z domácích spotřebičů
- Teplo z osvětlení
- Teplo ze systémů vytápění nebo chlazení
- Podle MPO lze započítat tepelné zisky z rozvodů, cirkulace a akumulace TV

Výpočet energie na osvětlení a tepelných zisků od osvětlení

Tabulka č. 16, Požadovaná minimální průměrná osvětlenost E_m (lx), v bytových a obytných budovách je určena přílohou B1 normy ČSN 73 4301.

Prostor	Udržovaná osvětlenost E_m (lx)	Index oslnění UGR_L	Index podání barev R_a	Výška vodorovné srovnávací roviny nad podlahou (m)
1 Domovní dvory, atria	10	–	–	0
2 Domovní, méně frekventované komunikace	20	25	80	0
3 Vnitřní části domovních vstupů, vstupy do výtahů u objektů s malou frekvencí	30	25	80	0
4 Na místě se jménem uživatele bytu, na zvonkovém tablu a na vstupu do bytu	30	–	–	–
5 Celkové osvětlení obytné místnosti (které se ještě doplňuje místním osvětlením)	50	22	80	0,85
6 Komunikace v bytě	75	22	80	0
7 Obytné kuchyně, šatny, spíže	100	22	80	0,85
8 Sušárny, úschovny kočárků a kol	100	28	80	0,85
9 Domovní, frekventované komunikace včetně vnitřních částí vstupů a vstupy do výtahu – zvýšený pohyb v objektu nebydlících osob	100	25	80	0
10 Domovní prádelny	150	25	80	0,85
11 Koupelny, WC	200	22	80	0,85
12 Domácí dílny, místnost pro domácí práce, mandl	300	22	80	0,85
13 Kuchyňská pracovní linka, varná deska sporáku	300	22	90	–

Vzhledem k nedostatku vstupních údajů k osvětlení budovy nelze použít klasických metod pro stanovení energie na osvětlení, proto bude v celém rozsahu této práce uvažován průměrný měrný příkon pro osvětlení pro rodinné a bytové domy vztažený k osvětlenosti zóny $P_{L,lx,R} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$. Dále lze uvažovat osvětlení jedné místnosti na jednu osobu, a poměr využití místností s osvětleností 100 lx ku místnostem s osvětleností 300 lx přibližně 2:1. Dobu využití osvětlení stanovíme z nutnosti svícení do výhodu slunce a od západu slunce, přičemž běžné využívání domu je od 6:00 do 22:00.

$$Q_L = A_{\text{průměrné místnosti}} (\text{m}^2) \times P_{L,lx,R} \times 166 (\text{lx}) \times t (\text{h}) \times n (\text{osob}) \quad [36] \quad (\text{kWh})$$

Tepelné zisky od osvětlení

Celý příkon osvětlovací soustavy se přeměňuje na teplo, energie na osvětlení je rovna tepelnému zisku. Pokud se světla nachází velmi blízko oken, měla by být provedena korekce tepelných zisků osvětlení.

Výpočet energie na přípravu TV v přímo ohřívaném zásobníku a tepelné zisky

$$Q_{W,nd} = q_w \cdot n \cdot 4180 \cdot 0,998 \cdot (\theta_{W,h} - \theta_{W,c}) \quad [37] \quad (\text{J/den})$$

kde

n (-) počet osob

Výchozí hodnoty pro výpočet energie na ohřev TV dle TNI 73 0331.

- Pro území ČR platí, že teplota studené vody $\theta_{W,c} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Pro rodinné domy je měrná denní spotřeba vody q_w o teplotě teplé vody $\theta_{W,h} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 35-55 l/(os.den)

$$Q_{W,nd} = n \times 40 \times 4180 \times 0,998 \times 45$$

upřesnění nzu2013.cz uvádí 40 l/(os.den) $\theta_{W,h} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

(energetický poradce PRE uvádí spotřebu modelové čtyřčlenné rodiny 200 l/den)

- Denní ztráta zásobníku s přímým ohřevem o objemu 200 l
 $Q_{W,gen,ls,d} = 6,4 \cdot 10^{-3} (\text{kWh/den}) = 0,023 (\text{MJ/den})$
- Denní ztráta tepla rozvodů teplé vody bez cirkulace standardního průměru trubky 1“ s izolací 20mm

$$Q_{W,dis,ls} = 146,3 \cdot 10^{-3} (\text{kWh} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{den}^{-1})$$

Pro účel PENB dle metodických pokynů zákona č. 78/2013 sb.

$$Q_{W,dis,ls} = 44,7 \cdot 10^{-3} (\text{kWh} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{den}^{-1})$$

pro výpočet $Q_{W,dis}$ platí

$$Q_{W,dis} = Q_{W,dis,ls} \cdot (L_s + L_v) \quad [38] \quad (\text{kWh/den})$$

$$\text{délka vodorovného rozvodu } L_s = 2 \times L_B + 0,0125 \times L_B \times B_B \quad [39] \quad (\text{m})$$

$$\text{délka hlavního rozvodu } L_v = 0,075 \times L_B \times B_B \times n_f \times h_f \quad [40] \quad (\text{m})$$

kde

L_B největší délka domu (m)

B_B největší šířka domu (m)

n_f počet podlaží domu (-)

h_f výška podlaží domu (m)

Celková energie Q_W pro přípravu TV s rozvody vody bez systému cirkulace, přípravu v zásobníku s přímým ohřevem a bez započtení ztrát v elektrickém vedení.

$$Q_W = Q_{W,nd} + Q_{W,gen,ls,d} \cdot 3,6 \cdot 10^6 + Q_{W,dis} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \quad [41] \quad (\text{J/den})$$

Tepelné zisky z metabolického tepla osob a technického vybavení domácnosti

Tabulka č. 17, výchozí hodnoty pro výpočet tepelných zisků dle TNI 73 0331.

Typ zóny	Měrné tepelné zisky od osob	Časový podíl přítomnosti osob	Měrné tepelné zisky z vybavení	Časový podíl doby provozu
	q_{oc}	f_{oc}	q_{ap}	f_{ap}
	W/m ²	–	W/m ²	–
Rodinný dům – obytné prostory	1,5	0,7	3	0,2
Rodinný dům – prostory bez pobytu osob	0	0	0	0,2

$$Q_{l,s} = A_z \cdot (q_{oc} \cdot f_{oc} + q_{ap} \cdot f_{ap}) \cdot 24 / 1000 \quad [42] \quad (\text{kWh/den})$$

Uvedená data platí pro obsazenost 40 m²/os.

2.6.7. Potřeba tepla na vytápění

Výpočet potřeby energie na vytápění $Q_{H,nd}$ vychází ze vztahů daných ČSN EN ISO 13790

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{H,gn} \quad [43] \quad (\text{MJ})$$

kde

$\eta_{H,gn}$ faktor využitelnosti tepelných zisků (-)

$Q_{H,gn}$ celkové solární a vnitřní tepelné zisky (MJ)

$Q_{H,ht}$ celková tepelná ztráta budovy (MJ)

2.6.7.1. Faktor využitelnosti tepelných zisků $\eta_{H,gn}$

Faktor využitelnosti tepelných zisků závisí na tepelné setrvačnosti budovy, počítá se za účelem určení části využitelných tepelných zisků. Využití tepelných zisků nelze uvažovat 100% z důvodů jejich nerovnoměrného působení během výpočtového kroku a tepelné setrvačnosti budovy, což může mít za následek přehřívání nebo podchlazení vytápěné zóny.

Pro výpočet faktoru využitelnosti tepelných zisků platí následující vztahy dle ČSN EN ISO 13790

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (-) \quad [44]$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (-) \quad [45]$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (-) \quad [46]$$

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_T + H_V} \quad (h) \quad [47]$$

kde

$Q_{H,gn}$ celkové zisky ve výpočtovém kroku (MJ)

$Q_{H,ht}$ celkové ztráty ve výpočtovém kroku (MJ)

γ_H bilanční poměr (-)

a_H číselný parametr závisející na časové konstantě (-)

$a_{H,0}$ číselný parametr (pro měsíční výpočtový krok $a_{H,0} = 1,0$) (-)

$\tau_{H,0}$ referenční časová konstanta (pro měsíční výpočtový krok $\tau_{H,0} = 15$) (-)

Tabulka č. 18, orientační hodnoty vnitřní tepelné kapacity pro výpočet časové konstanty dle ČSN EN ISO 13790

Konstrukce	C_m (J/K)
Velmi lehká	80 000 x A_f
Lehká	110 000 x A_f
Střední	165 000 x A_f
Těžká	260 000 x A_f
Velmi těžká	370 000 x A_f

kde

A_f podlahová plocha budovy (m^2)

C_m vnitřní tepelná kapacita budovy (J/K)

2.6.7.2. Celkové měsíční tepelné zisky Q_{gn}

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [48] \quad (MJ)$$

kde

Q_{int} celkové vnitřní tepelné zisky (MJ)

Q_{sol} celkové solární tepelné zisky (MJ)

2.6.8. Výpočty difúzního odporu, určení rosného bodu a celková roční bilance zkondenzované vody

Difúzní tok vodních par je analogií k tepelnému toku, přičemž teplotě odpovídá parciální tlak vodních par, tepelnému odporu difúzní odpor a součiniteli prostupu tepla součinitel difúze vodní páry δ (s).

- Při návrhu zateplení je nutné počítat se změnou difúzního odporu konstrukce, z toho plynoucímu rychlejšímu poklesu parciálního tlaku vodních par v zateplení a pomalejšímu poklesu ve zdi, což má za následek možnost vzniku. Obecně platí, že na kondenzaci jsou nejvíce náchylné zdi z klasických pálených cihel, které mají proti jiným stavebním materiálům výrazně nižší difúzní odpor.
- Norma ČSN 73 0540 – 2 stanovuje pro konstrukce, jejichž funkci neohrozí kondenzace vodních par maximální množství kondenzátu $M_c \leq 0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ což je případ výše zmiňované cihlové zdi. Dále platí, že celková roční bilance zkondenzované vody musí být menší než celková roční bilance vody odpařené, nesmí tedy docházet k ukládání vody v konstrukci. ČSN 73 0540 – 2 dále stanovuje jako metodu pro výpočet bilance zkondenzované vody postupy popsané v ČSN EN 13 788 a eventuálně je možno použít postupy z ČSN 73 0540 – 4.

Postup stanovení množství zkondenzované vodní páry dle ČSN 73 0540 – 4

Z termodynamiky vyplývá, že kondenzaci dochází, pokud parciální tlak vodních par dosáhne hodnoty tlaku nasycených vodních par. Velikost tlaku nasycených vodních par klesá s teplotou a jeho hodnotu pro danou teplotu získáme z psychometrického diagramu, případně pomocí níže uvedeného vztahu [51], parciální tlak je pak dán součinem relativní vlhkosti vzduchu $\cdot 0,01$ a tlaku nasycených vodních par.

Výchozími hodnotami pro výpočet kondenzace ve zdi jsou difúzní odpory jednotlivých částí konstrukce a hodnoty tlaků vodních par podle návrhových hodnot venkovního a vnitřního prostředí.

Průběh parciálního tlaku vodní páry v hmotné konstrukci stejnorodých difúzních vlastností se podle normy může stanovit dvěma způsoby.

- a) Graficko-výpočtovou metodou částečný tlak je dán spojnicí mezi p_i a p_e
 p_i (Pa) parciální tlak vnitřní strany konstrukce
 p_e (Pa) parciální tlak vnější strany konstrukce
- b) Výpočtem pro nehomogenní konstrukci $p_x = p_i - (p_i - p_e) \cdot (Z_{pi} + Z_{px}) / Z_{pT}$ [48]

kde

$Z_{pT} = Z_{pi} + Z_p + Z_{pe}$ difúzní odpor konstrukce při prostupu vodní páry	[49]	(m/s)
Z_p odpor konstrukce		(m/s)
Z_{pi} odpor při přestupu vodní páry na vnitřní straně konstrukce		(m/s)
Z_{pe} odpor při přestupu vodní páry na vnější straně konstrukce		(m/s)
Z_{px} difúzní odpor konstrukce od vnitřní strany do vzdálenosti x		(m/s)

Průběh parciálního tlaku slouží při porovnání s průběhem tlaku nasycené vodní páry k ověření, zda v konstrukci bude docházet ke kondenzaci. Ke kondenzaci nedojde pokud $p_{sat}(x) < p_x$.

Průběh tlaku nasycené vodní páry $p_{sat}(x)$ je závislý na průběhu teploty v konstrukci popsáním vztahem [50] a je dán empirickým vztahem [51].

$$\theta_x = \theta_i - (R_{si} + R_x) \cdot (\theta_i - \theta_e) / (R_{si} + R_j + R_{se}) \quad [50]$$

$$p_{sat}(x) = 610,5 \cdot e^{\left(\frac{17,269 \cdot \theta(x)}{237,3 + \theta(x)}\right)} \quad \text{pro } \theta_a \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p_{sat}(x) = 610,5 \cdot e^{\left(\frac{21,875 \cdot \theta(x)}{265,5 + \theta(x)}\right)} \quad \text{pro } \theta_a < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

[51]

Difúzní odpor udává schopnost materiálu propouštět vodní páry. Výrobci zateplovacích systémů nejčastěji udávají jako parametr vyjadřující difúzní vlastnosti materiálu faktor difúzního odporu μ (-), tato veličina vyjadřuje poměr difúze vodní páry ve vzduchu a v daném materiálu. Pro srovnání μ polystyrenu je 40 – 80, μ cihelné zdi je 8 - 9.

Pro jeho výpočet pak platí, následují vztahy:

$$Z_p = \sum Z_{pj} \quad [52] \quad (\text{m/s})$$

$$Z_{pj} = (\mu_j \cdot d_j) / \delta_0 \quad [53] \quad (\text{m/s})$$

kde

$$\mu_j = \delta_0 / \delta_j \text{ faktor difúzního odporu } j\text{-tého materiálu} \quad [54] \quad (-)$$

$$d_j \text{ tloušťka } j\text{-té vrstvy materiálu} \quad (\text{m})$$

$$\delta_0 \text{ součinitel difúzní vodivosti vzduchu} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1})$$

$$\delta_j \text{ součinitel difúzní vodivosti } j\text{-tého materiálu} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1})$$

Oblast kondenzace

Oblast kondenzace určíme grafickou metodou, kdy vedeme tečny ke křivce průběhu $p_{sat}(x)$ z bodů p_i a p_e , kondenzační oblast je vymezena tečnými body.

Dílčí množství zkondenzované vodní páry M_{aj} se stavoví ze vztahu

$$M_{aj} = (g_{Aj} - g_{Bj}) \cdot t_{ej} \quad [55] \quad (\text{kg/m}^2)$$

kde:

$$g_{Aj} = (p_i - p_{\text{sat,A}}) / Z_{pA} \quad [56]$$

- hustota difúzního toku od vnitřního povrchu k hranici kondenzace A $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$

$$g_{Bj} = (p_i - p_{\text{sat,B}}) / Z_{pB} \quad [57]$$

- hustota difúzního toku od vnitřního povrchu k hranici kondenzace B $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$

t_{ej}

- doba trvání okrajových podmínek (s)

Celková bilance zkondenzované vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) se určí sumací dílčího množství zkondenzovaného množství podle ročních okrajových podmínek.

3. POSUZOVANÁ BUDOVA

3.1. Popis stávajícího stavu budovy

Jedná se o běžný 3 podlažní rodinný dům, bez podsklepení, jednoduchého geometrického tvaru s půdními prostory nevyužívanými k pobytu, do začátku roku 2014 bylo trvale využíváno jedno pouze jedno patro. Dům je situován na jižní straně svahu, severní strana je chráněna svahem a okolní zástavbou, západní strana je celý den v zákrytu vyšší budovy a porostu. Zástavba na jižní a východní straně neovlivňuje svojí výškou sluneční záření a vlivy větru na budovu. Vzhledem k situaci domu lze tedy uvažovat vlivy větru a slunečního záření na dům pouze z jihu a východu. Požadavek na vytvoření PENB před a po rekonstrukci vyplynul z větších rozměrů tohoto domu a očekávaných vysokých energetických ztrátách.

Konstrukční provedení budovy:

Konstrukční řešení domu odpovídá požadavkům roku výstavby 1932, v průběhu užívání byla provedena pouze rekonstrukce střechy a fasády bez zateplení. Veškeré vnější a vnitřní zdi včetně zdí, které nemají nosnou funkci, jsou postaveny z plných pálených cihel 290x140x65 (příloha C ČSN 730540-3). Vnější omítka je vápenocementová ($d = 10\text{mm}$), vnitřní omítky ($d = 15\text{mm}$) jsou vápenné (příloha A ČSN 730540-3). Stropy jsou dřevěné spřažené s betonem. V celém rozsahu objektu jsou použita dvojitá špaletová okna netěsněná (příloha D ČSN 730540-3). Střecha má tvar jehlanu a je pokryta pálenou hliněnou krytinou typu Bobrovka 18x38.

Stávající vytápění a větrání:

Dům nedisponuje ústředním topením, a současnými zdroji tepla jsou elektrická akumulární kamna AEG využívající topného tarifu a ovládaní HDO v součinnosti s prostorovým tepelným termostatem. Zdrojem teplé vody pro objekt je elektrický akumulární ohřívač o objemu 125 l, který taktéž využívá ovládaní HDO. Větrání v rozsahu celého domu je zajišťováno přirozeně a závisí pouze na potřebách uživatele.

Dodávaná energie:

Veškerá energie na vytápění, osvětlení, vaření a běžný provoz domácnosti je dodávána v podobě elektrické energie. Dům nedisponuje přípojkou k rozvodům zemního plynu a jeho zavedení se neplánuje ani při rekonstrukci.

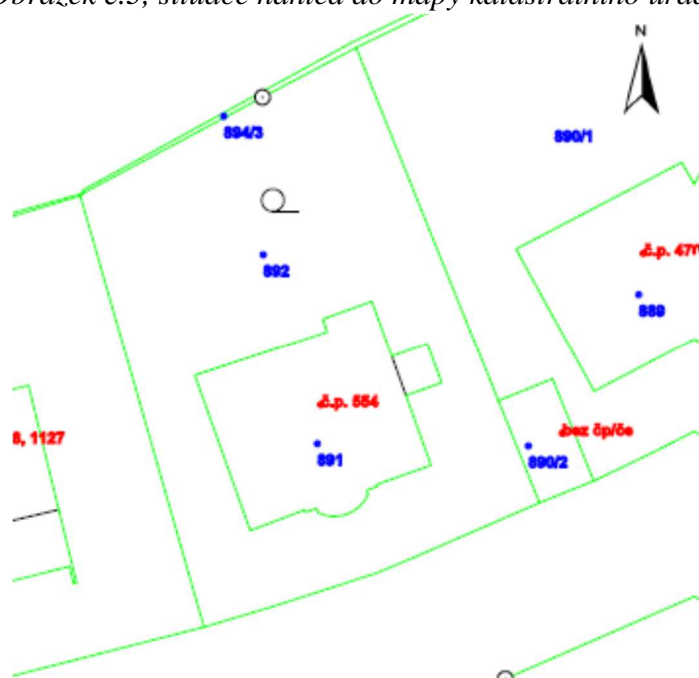
Doplňující informace k tvorbě PENB:

Vzhledem k dosavadnímu využívání budovy, které zahrnovalo v průběhu 10 let využívání pouze zanedbatelné obytné plochy domu, bude PENB pro stávající stav určen podle modelového využívání, odpovídajícího využívání 4 osobami a spotřeba energií na vytápění, osvětlení, TV a běžné užívání bude určena podle návrhových hodnot norem a statistických údajů. Výpočet energie na osvětlení je těžko realizovatelný v této fázi budovy stejně tak ve fázi po rekonstrukci, protože neexistuje žádná dokumentace k osvětlení, proto bude proveden podle údajů pro referenční budovu. Vzhledem k předpokládanému vytápění elektrickým podlahovým topením a současně používanému vytápění akumulárními kamny, lze energie pomocných technických systémů z bilance vynechat.

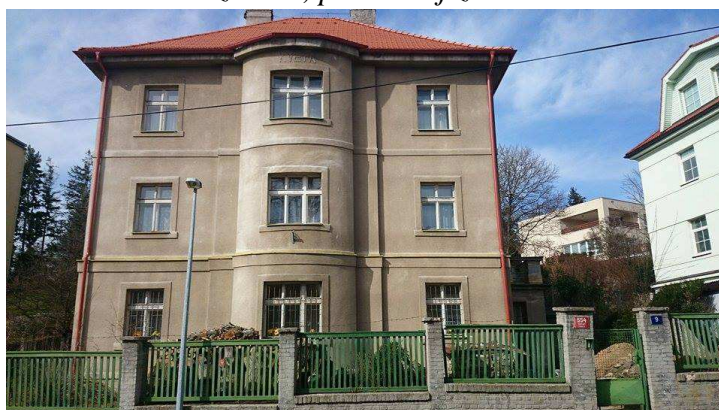
Poloha:

Budova se nachází na adrese Klíčanská č.p. 554/9 182 00 Praha 8.
Souřadnice GPS: 50.126425°N, 14.445038°E
Nadmořská výška 320 m.n.m
Jižní strana je pootočena o 17° na východ.

Obrázek č.3, situace náhled do mapy katastrálního úřadu



Obrázek č.4, pohled – jižní strana



Obrázek č.5, pohled – severní strana (foceno 13:00, 6.4.2015, budova je kompletně zastíněna ze severu a západu po celý den)



Parametry budovy:

Zastavěná plocha: 139 m²

obytná plocha 1.NP: 98 m²

objem obytného prostoru 1.NP: 294 m³

obytná plocha 2.NP a 3.NP: 104 m²

objem obytného prostoru 2.NP a 3.NP: 296 m³

Celková obytná plocha: 306 m²

Celkový vytápěný objem budovy: 886 m³

Celkový vnější objem budovy: 1414,4 m³

Plocha ochlazovaných konstrukcí: 809,1 m²

Faktor tvaru budovy: A/V 0,57

Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků byly vypočteny za použití rozměrů z původní projektové dokumentace, určení tepelných odporů těchto prvků bylo provedeno na základě prohlídky objektu a použití normovaných hodnot tepelných odporů pro tyto prvky.

3.2. Návrh tepelné izolace domu

3.2.1. Vstupní podmínky pro návrh tepelné izolace

Návrh tepelné izolace bude proveden tak aby byly splněny nejnovější požadavky podle novely ČSN 73 0540 – 2 z roku 2011 včetně korekce na vnitřní návrhovou teplotu v koupelnách. Vzhledem k tomu, že dům má obvodové zdi z plných pálených cihel, se obecně nedoporučuje použití polystyrenu z důvodů vysokého difúzního odporu polystyrenu tzn. nízké propustnosti vodních par a běžně se používá zateplení minerální vatou.

Nově je však k dostání na našem trhu polystyren od výrobce Baumit, který má faktor difúzního odporu $\mu = 10$ místo obvyklé hodnoty pro polystyreny $\mu = 40-100$. Proto bude při návrhu zateplení uvažováno využití minerální vaty Rockwool Frontrock MAX E $\mu = 1$ a moderního polystyrenu Baumit open a pro další porovnání klasický polystyren Baumit StarTherm $\mu = 1$. Všechny typy zateplení budou následně ekonomicky zhodnoceny.

Okrajová podmínka pro Prahu stanovená dle vztahu [3]
teplotní oblast 1
nadmořská výška v 1.NP je 320 m n.m

Pak:

$$\theta_e = -12 + (-0,5 \cdot 2,2)$$

$$\theta_e = -13,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vnitřní návrhová teplota v koupelně $\theta_i = 24,3 \text{ } ^\circ\text{C}$

ze vztahu [6] plyne požadavek $U_N = 0,24 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Vnitřní návrhová teplota v ostatních prostorech $\theta_i = 20,3 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$U_N = 0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$$

3.2.2. Návrh tepelné izolace, včetně kontroly roční bilance zkondenzované vody

Následující výpočty pro roční bilanci zkondenzovaných vodních par, byly provedeny v softwaru TEPLO 2014. Výpočty jsou provedeny pro nejhorší možný stav, kdy dochází ke kondenzaci, tedy místnost s největší návrhovou teplotou a relativní vlhkostí, jenž je pro tuto budovu koupelna s návrhovou teplotou $24,3^\circ\text{C}$ včetně teplotní přírážky pro podlahové topení a návrhovou relativní vlhkostí 65% včetně vlhkostní bezpečnostní přírážky. Na základě těchto výpočtů pro cihlová zdiva 0,45m a 0,6m, vyplývá, že není nutné obávat se vyššího faktoru difúzního odporu u klasického polystyrenu, ale naopak v této konfiguraci vychází nejnižší kondenzace pro nejvyšší faktor difúzního odporu, což je dáno posunem kondenzační hlouběji do tepelné izolace a tím posunutí teploty kdy dochází ke kondenzaci. Rozdíl teploty kondenzace mezi materiály s nízkým difúzním odporem a vysokým se pohybuje okolo 5 K. Přestože s klasickým polystyrenem dochází ke kondenzaci hlouběji v izolaci, nachází se kondenzační zóna dostatečně daleko od nosné cihlové zdi. Výhodou použití klasického polystyrenu Baumit StarTherm jsou bezkonkurenční tepelněizolační vlastnosti, které jsou o 20% lepší než u nejlevnějšího zateplovacího materiálu s nízkým difúzním odporem Baumit Open a zároveň cena za m^3 je o 20% nižší. Není tedy důvod, který by bránil použití Baumitu StarTherm na této budově. V oblasti 1.NP bude na zdech o síle 0,6m použito zateplení EPS o tloušťce 10cm, na ostatních obvodových zdech bude použito EPS o tloušťce 16cm, tím bude eliminován odskok na vnějším plášti budovy způsobený rozdílnými tloušťkami zdí. Vzhledem k výšce stropu v 1.NP 3m bude možné zateplit v rámci rekonstrukce podlah, podlahu polystyrenem Penpol EPS 100 Z $\lambda = 0,035$ o tloušťce 20cm, což povede ke snížení stropu

v místnosti na 2,7m. Dále bude vzhledem k nevyužívání půdních prostorů zateplen strop 3.NP shora polystyrenem Penpol EPS 100 Z o tloušťce 20cm. Navrhovanými výplněmi otvorů jsou dřevěná okna a dveře od výrobce Vekra řady Natura 94, osazená zasklením s dvojskly se součinitelem prostupu tepla $U = 1,1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, která bezpečně splňují doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla danou normou. Všechny dveře, které vedou z vytápěného prostoru do venkovního, budou bez zasklení se součinitelem prostupu tepla $U = 1,15 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Při použití navrhovaných energeticko úsporných opatření budou splněny všechny požadavky dle ČSN 73 0540 – 2.

Pro ověření bilance zkondenzované vody v konstrukci byly provedeny výpočty v programu TEPLO 2014.

Obrázek č.6, bilance zkondenzované vody zeď 0,45m + 16cm EPS výpočty software TEPLO 2014

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny		Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
	levá	pravá [m]	
1	0.7138	0.7227	8.146E-0009

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.0047 kg/(m2.rok)

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 3.3720 kg/(m2.rok)

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

Obrázek č.7, bilance zkondenzované vody zeď 0,60m + 10cm EPS výpočty software TEPLO 2014

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny		Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
	levá	pravá [m]	
1	0.6081	0.6318	1.071E-0008

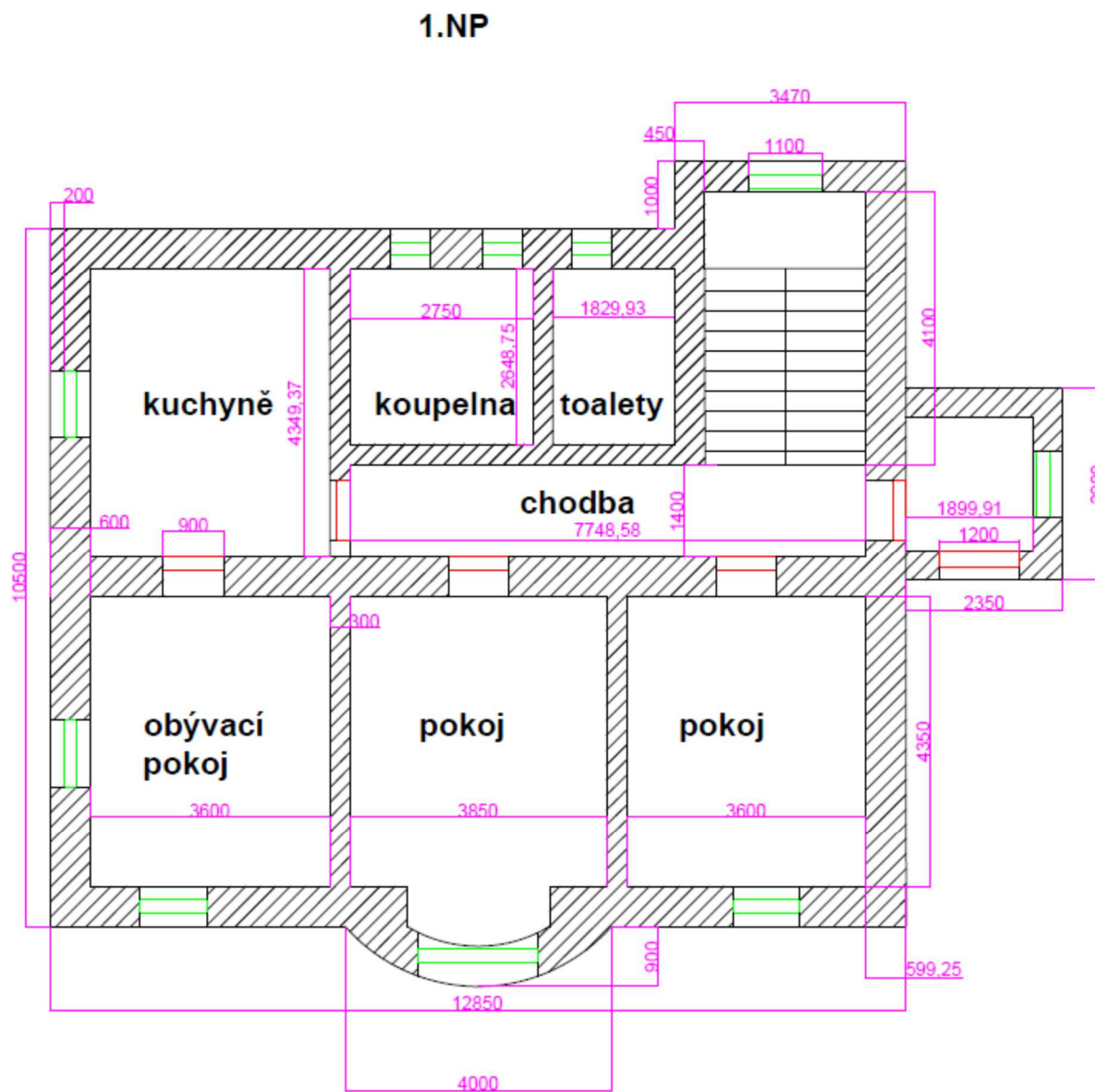
Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.0095 kg/(m2.rok)

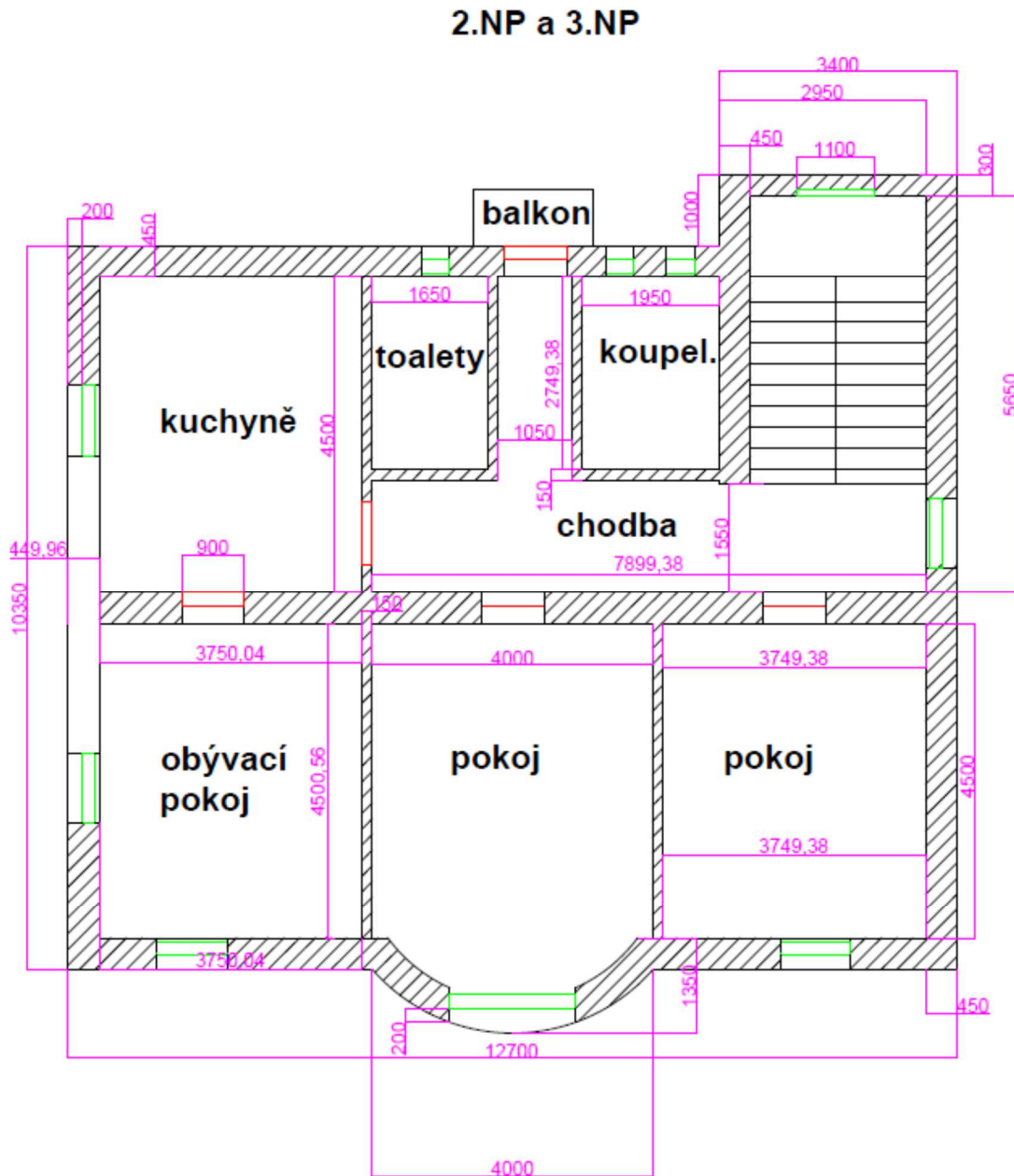
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 1.9710 kg/(m2.rok)

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

Obrázek č.8, půdorys budovy 1.NP použitý ke stanovení ploch konstrukčních prvků, měřítko 1:100



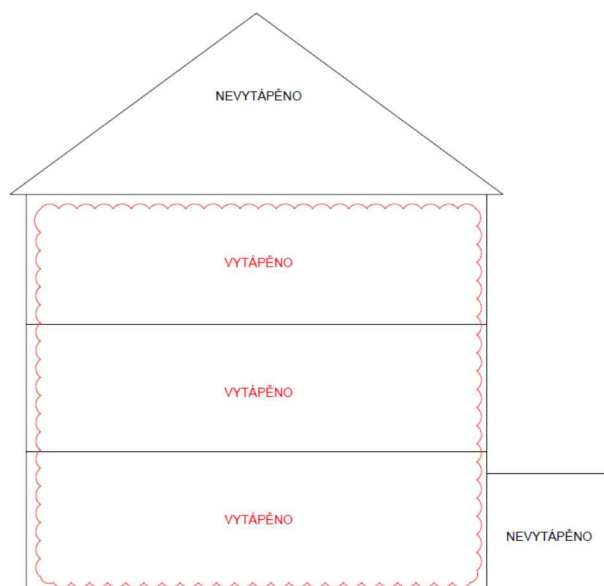
Obrázek č.9, půdorys budovy 2.NP + 3.NP použitý ke stanovení ploch konstrukčních prvků, měřítko 1:100



4. VYTVOŘENÍ PENB PŘED REKONSTRUKCÍ A PO REKONSTRUKCI

4.1. Určení systémové hranice pro výpočet energetické náročnosti

Obrázek č.10, grafické znázornění určené systémové hranice vytápěného prostoru budovy v souladu s ČSN EN ISO 13790



4.2. Vypočtené tepelně technické vlastnosti obálky budovy pro budovu před rekonstrukcí, po rekonstrukci a pro referenční budovu

4.2.1. Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků a měrné tepelné toky

obvodové zdi

zdivo z pálených cihel $\lambda = 0,77 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

omítka vápenná vnitřní $\lambda = 0,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

omítka vápenocementová vnější $\lambda = 0,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

po rekonstrukci

Baumit open lepicí stěrka $\lambda = 0,8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Baumit open struktur omítka $\lambda = 0,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Baumit EPS StarTherm $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Vzhledem k roku výstavby budovy se nepředpokládá optimalizace tepelných mostů, v konstrukci však nejsou použity ocelové a betonové konstrukce, které mají hlavní vliv na tepelné mosty, proto při výpočtu bude uvažováno, že se jedná o budovu s běžnými tepelnými vazbami kde $\Delta U_{\text{tbm}} = 0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Tabulka č.19 ,vypočtené tepelně technické vlastnosti obálky budovy před rekonstrukcí

Tepelně-technické údaje pro stávající stav								referenční budova	
FASÁDA									
typ ochlazované konstrukce	plocha A (m ²)	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹) bez započtení odporu při přestupu tepla	U _j (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	U _N (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	U _{N,rec} (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	činitel teplotní redukce b (-)	měrná ztráta prostupem tepla H _T (W/K)	měrná ztráta prostupem tepla H _T (W/K)	ztráta tepla
obvodová stěna 30cm	21,61	2,40	1,70	0,30	0,25	1,00	38,98		6,48
obvodová stěna 45cm	314,03	1,63	1,28	0,30	0,25	1,00	433,05		94,21
obvodová stěna 60cm	130,61	1,24	1,02	0,30	0,25	1,00	146,81		39,18
obvodová stěna 45cm (koupelna)	11,93	1,63	1,28	0,24	-	1,00	16,45		2,86
obvodová stěna 60cm (koupelna)	8,36	1,24	1,02	0,24	-	1,00	9,39		2,01
obvodová stěna 60cm (k verandě)	7,59	1,24	1,02	0,24	-	0,49	4,57		0,89
CELKEM	494,13						649,25		145,64
PODLAHA									
podlaha na zemině prkna 4cm + škvára 10 cm	136,00		0,57	0,75	0,50	-	99,21		123,15
CELKEM	136,00						99,21		123,15
STROP + STŘECHA									
trámovýstrop se zákopem - škvára 0,05 m, vápená omítka 0,015 m, cihlová podlaha 0,03 m, prkna 0,05 m, vzduch 0,3 m	134,92	1,38	1,08	0,3	0,2	1	159,21		40,476
CELKEM	134,92						159,21		40,476
započten vliv střechy	134,92	-	0,888	-	-	1	133,30		38,18236
CELKEM	134,92						133,30		38,18236
OKNA + DVEŘE									
dřevěná okna dojitá netěsněná	38,11		2,35	1,5	1,2	1	89,56		57,17
vstupní dřevěné dveře (balkon) 90/220	3,96		2,3	1,7	1,2	1	9,11		6,73
vstupní dřevěné dveře 90/220	1,98		2,3	1,7	1,2	0,56	2,55		1,88
CELKEM	44,05						101,22		65,78
PLOCHA OBÁLKY CELKEM	809,10						982,98		375,04
							U _{em} (W m ⁻² K ⁻¹)	1,215	-
							U _{em,N,20} (W m ⁻² K ⁻¹)	-	0,484

$$U_{em} = 2,51 \times U_{em,N,20}$$

Tabulka č.20 ,vypočtené tepelně technické vlastnosti obálky budovy po rekonstrukci

Tepelně-technické údaje pro stav po rekonstrukci									
FASÁDA									
typ ochlazované konstrukce	plocha A (m ²)	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹) bez započtení odporu při přestupu tepla	U _j (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	U _N (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	U _{N,rec} (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	činitel teplotní redukce b (-)	měrná ztráta prostupem tepla H _T (W/K)	měrná ztráta prostupem tepla H _T (W/K)	ztráta tepla
obvodová stěna 30cm + 16 cm EPS + omítka BAUMIT	21,61	0,18	0,18	0,30	0,25	1,00			5,94
obvodová stěna 45cm + 16 cm EPS + omítka BAUMIT	314,03	0,18	0,17	0,30	0,25	1,00			84,79
obvodová stěna 60cm + 10 cm EPS + omítka BAUMIT	130,61	0,25	0,24	0,30	0,25	1,00			44,02
obvodová stěna 45cm + 16 cm EPS + omítka BAUMIT (koupelna)	11,93	0,18	0,17	0,24	-	1,00			3,22
obvodová stěna 60cm + 10 cm EPS + omítka BAUMIT (koupelna)	8,36	0,25	0,24	0,24	-	1,00			2,82
obvodová stěna 60cm + 10 cm EPS + omítka BAUMIT (k verandě)	7,59	0,25	0,24	0,30	0,25	0,49			1,64
CELKEM	494,13								140,78
PODLAHA									
podlaha na zemině beton 10cm + 20cm EPS +5cm	136,00		0,29	0,75	0,50	-			60,45
CELKEM	136,00								60,45
STROP + STŘECHA									
trámovýstrop se zákopem - škvára 0,05, vápená	134,92	0,16	0,15	0,30	0,20	1,00			33,73
CELKEM	134,92								33,73
započten vliv střechy	134,92		0,15	0,30	0,20	1,00			33,19
CELKEM	134,92								33,19
OKNA + DVEŘE									
dřevěná okna dojitá netěsněná	38,11		1,10	1,50	1,20	1,00			41,92
vstupní dřevěné dveře (balkon) 90/220	3,96		1,15	1,70	1,20	1,00			4,55
vstupní dřevěné dveře 90/220	1,98		1,15	1,70	1,20	0,56			1,28
CELKEM	44,05								47,75
PLOCHA OBÁLKY CELKEM	809,1						H _T (W/K)		282,18
							U _{em} (W m ⁻² K ⁻¹)		0,349

$$U_{em} = 0,72 \times U_{em,N,20}$$

4.2.2. Měrný tepelný tok větráním

Měrný tepelný tok větráním je totožný pro referenční budovu, budovu před rekonstrukcí a budovu po rekonstrukci. Výpočet pro $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$ dle vztahů [20] a [21].

$$V_{vj} = 0,3 \cdot 886 / 3600 = 0,0783 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_v = 1,3 \cdot 0,0783 = 0,096 \text{ kW/K}$$

4.3. Vypočtené tepelné ztráty pro zadané okrajové podmínky

Okrajové podmínky použité k výpočtu jsou uvedeny v tabulce č. 5 a tabulce č. 6. použity vztahy [22 - 24] [25 - 28].

Tabulka č.21, tepelné ztráty prostupem tepla a větráním

měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem ΦT (kWh /rok)
teplota (°C) v rovině otopného prvku pro A = 100 m ²	23,734	23,543	22,939	22,240	21,413	20,968	20,666	20,682	21,381	22,208	23,019	23,448	
teplota (°C)	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	13,5	8,3	3,2	0,5	
počet hodin	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
Φv (kWh / měsíc)	1092,3	931,8	839,4	597,0	354,0	205,5	116,3	121,4	332,8	606,8	836,8	1001,3	
Před rekonstrukcí ΦT (kWh / měsíc)	14219,1	12130,4	10931,5	7779,1	4619,3	2688,6	1528,9	1594,7	4343,0	7906,9	10897,0	13035,5	
ΦT (kWh / měsíc)	1594,4	1360,1	1225,3	871,5	516,7	300,0	169,8	177,2	485,8	885,8	1221,5	1461,5	
Po rekonstrukci ΦT (kWh / měsíc)	3579,8	3054,6	2755,0	1963,7	1171,4	686,6	396,0	412,5	1101,6	1996,2	2745,9	3282,9	
ΦT (kWh / měsíc)	1126,0	960,5	865,3	615,5	364,9	211,9	119,9	125,1	343,0	625,5	862,6	1032,1	
Reference ΦT (kWh / měsíc)	3989,0	3403,3	3067,9	2184,6	1299,5	758,4	433,7	452,1	1221,9	2220,5	3058,1	3657,4	
ΦT (kWh / měsíc)	2293,7	1956,6	1762,8	1253,7	743,3	431,6	244,2	254,9	698,8	1274,3	1757,3	2102,6	
Celkem před rek. ΦT (kWh /rok)	16905,8	14422,2	12996,2	9247,6	5489,9	3194,1	1815,0	1893,2	5161,5	9399,5	12955,3	15498,3	108978,8
Celkem po rek. ΦT (kWh /rok)	5798,0	4946,8	4459,8	3176,2	1890,2	1104,0	632,2	659,0	1777,5	3228,5	4445,4	5316,3	37433,9
Celkem po ref. ΦT (kWh /rok)	7374,9	6291,7	5670,1	4035,3	2396,8	1395,6	794,2	828,3	2253,5	4101,6	5652,2	6761,2	47555,5

pozn. při výpočtu byl zanedbán periodický měrný tepelný tok v důsledku kolísání venkovní teploty H_{pe}

4.4. Vypočtené tepelné zisky pro zadané okrajové podmínky

4.4.1. Vypočtené solární tepelné zisky

Solární tepelné zisky jsou uvažovány pouze na jižní a východní straně objektu, z důvodu vysokého stínění zástavbou a porostem na západě a terénem na severu budou tyto zisky téměř nulové, tepelný tok sáláním k obloze se také neprojeví.

výchozí hodnoty pro výpočet solárních tepelných zisků

hodnoty součinitele prostupu tepla jsou použity z tabulky č.19 a tabulky č.20 rozdíl mezi teplotou oblohy a vzduchu $\Delta T_{er} = 11 \text{ K}$

před rekonstrukcí

$g_{gl} = 0,75$
 $F_{sh} 1.NP = 0,6$
 $F_{sh} 2+3.NP = 0,9$
 F_{sh} pohyblivé stínící prvky = 0,9
 $F_{r,k} = 0,5$

po rekonstrukci + referenční budova

$g_{gl} = 0,5$
 $F_{sh} 1.NP = 0,6$
 $F_{sh} 2+3.NP = 0,9$
 F_{sh} pohyblivé stínící prvky = 0,9
 $F_{r,k} = 0,5$

Tabulka č.22, vypočtené solární tepelné zisky

Solární tepelné zisky													
Jih		Před		Po		Reference			Před	Po	Reference		
	$A_{oken} (m^2)$	FF (-)	$A_{sol} (m^2)$	FF (-)	$A_{sol} (m^2)$	FF (-)	$A_{sol} (m^2)$	$A_{stěny} (m^2)$	$A_{sol} (m^2)$	$A_{sol} (m^2)$	$A_{sol} (m^2)$		
1. NP	5,70	0,10	1,87	0,20	1,11	0,30	0,97	39,10	1,05	0,21	0,25		
2. NP + 3. NP	12,16	0,10	4,00	0,20	3,55	0,30	3,10	83,84	4,43	0,49	0,81		
Východ		Před		Po		Reference			Před	Po	Reference		
1. NP	-	-	-	-	-	-	-	35,00	0,94	0,19	0,23		
2. NP + 3. NP	3,20	0,11	1,04	0,20	0,93	0,30	0,82	77,40	4,09	0,45	0,75		
měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	
teplota (°C)	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	13,5	8,3	3,2	0,5	
hr (W / (m ² K))	3,85	3,90	4,07	4,27	4,52	4,66	4,75	4,75	4,53	4,28	4,05	3,93	
Jih													
měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	
H (kWh/(m ² měsíc))	33,5	49,7	72,9	86,4	88,5	77,8	79,6	96,7	75,6	72,2	43,2	29	
Před rekonstrukcí	Φ (kW)	380,13	563,96	827,22	980,41	1004,23	882,82	903,24	1097,28	857,85	819,27	490,20	329,07
Po rekonstrukci	Φ (kW)	179,36	266,10	390,31	462,59	473,83	416,54	426,18	517,73	404,76	386,56	231,29	155,27
Referenční	Φ (kW)	172,21	255,48	374,74	444,14	454,93	399,93	409,18	497,09	388,62	371,14	222,07	149,07
Před rekonstrukcí	$\Phi_{r,k}$ (kWh)	191,70	175,50	202,70	205,87	225,00	224,32	236,49	236,24	218,21	213,19	195,08	195,61
Po rekonstrukci	$\Phi_{r,k}$ (kWh)	24,51	22,44	25,92	26,32	28,77	28,68	30,24	30,21	27,90	27,26	24,95	25,01
Referenční	$\Phi_{r,k}$ (kWh)	37,40	34,24	39,55	40,17	43,90	43,77	46,14	46,10	42,58	41,60	38,06	38,17
Před rekonstrukcí	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	284,28	476,21	725,86	877,47	891,73	770,66	785,00	979,16	748,75	712,68	392,66	231,26
Po rekonstrukci	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	167,10	254,87	377,35	449,43	459,45	402,20	411,06	502,63	390,81	372,93	218,82	142,76
Referenční	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	153,50	238,36	354,97	424,05	432,98	378,04	386,11	474,04	367,33	350,34	203,04	129,99
Východ													
H (kWh/(m ² měsíc))	11,2	20,8	40,2	66,2	80,4	85,7	79,6	72,9	46,8	32	13,7	8,2	
Před rekonstrukcí	Φ (kWh)	67,91	126,11	243,74	401,38	487,48	519,61	482,63	442,01	283,76	194,02	83,07	49,72
Po rekonstrukci	Φ (kWh)	17,62	32,73	63,26	104,17	126,51	134,85	125,25	114,71	73,64	50,35	21,56	12,90
Referenční	Φ (kWh)	20,11	37,35	72,18	118,87	144,37	153,88	142,93	130,90	84,03	57,46	24,60	14,72
Před rekonstrukcí	$\Phi_{r,k}$ (kWh)	175,94	161,08	186,05	188,95	206,51	205,89	217,06	216,83	200,28	195,67	179,05	179,54
Po rekonstrukci	$\Phi_{r,k}$ (kWh)	22,42	20,53	23,71	24,08	26,32	26,24	27,66	27,63	25,52	24,94	22,82	22,88
Referenční	$\Phi_{r,k}$ (kWh)	34,28	31,39	36,25	36,82	40,24	40,12	42,29	42,25	39,02	38,13	34,89	34,98
Před rekonstrukcí	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	-20,06	45,58	150,72	306,91	384,22	416,67	374,10	333,59	183,62	96,18	-6,46	-40,05
Po rekonstrukci	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	6,41	32,72	63,24	104,15	126,50	134,84	125,24	114,70	73,63	50,34	21,55	12,89
Referenční	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	20,09	37,33	72,17	118,85	144,35	153,86	142,91	130,88	84,01	57,44	24,58	14,71
Celkem Před	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	264,22	521,79	876,58	1184,38	1275,96	1187,33	1159,10	1312,75	932,37	808,86	386,20	191,21
Celkem Po	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	173,52	287,59	440,59	553,58	585,94	537,04	536,30	617,33	464,44	423,27	240,37	155,65
Celkem Reference	$\Phi_{sol,k}$ (kW)	173,60	275,69	427,13	542,90	577,33	531,91	529,02	604,92	451,35	407,78	227,62	144,70

pozn. v měsících s nízkou intenzitou slunečního záření (prosinec, leden, únor) je ztráta sáláním k obloze vlivem nízkého tepelného odporu konstrukce před rekonstrukcí vyšší než solární tepelný zisk

4.4.2. Vypočtené tepelné zisky od osob a od vybavení

Pro výpočet byla použita data z tabulky č.17 a vztah [42].

$$Q_{1,s} = 304 \cdot (1,05 \cdot 160 / 304 + 0,6) \cdot 24 / 1000 = 8,41 \text{ (kWh/den)} = 30,3 \text{ (MJ/den)}$$

$$\text{Obsazenost } 4 \times 40 / 304 = 0,53$$

Tabulka č.23, tepelné zisky od osob a spotřebičů

teplené zisky od osob a spotřebičů												
měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
počet hodin	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Q (kWh/měsíc)	260,71	235,48	260,71	252,3	260,71	252,3	260,71	260,71	252,3	260,71	252,3	260,71

4.4.3. Vypočtené tepelné zisky z rozvodu a akumulace TV

Denní ztráta zásobníku s přímým ohřevem o objemu 200 l

$$Q_{W,gen,ls,d} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ (kWh/den)} = 0,023 \text{ (MJ/den)}$$

Denní ztráta tepla rozvodů teplé vody bez cirkulace vypočtena za použití vztahů [38] [39] [40]

$$Q_{W,dis} = 113 \times 44,7 \times 3600 = 18,1 \text{ (MJ/den)}$$

Tabulka č.24, tepelné zisky z přípravy TV

teplené zisky příprava TUV												
počet hodin	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Q (kWh/měsíc)	156,779	141,607	156,779	151,722	156,7794	151,722	156,7794	156,7794	151,722	156,7794	151,722	156,7794

4.4.4. Vypočtená tepelné zisky od osvětlení

Tepelné zisky z osvětlení se vypočtou za použití vztahu [36]

Tabulka č.25, vypočtené hodnoty energie na osvětlení pro danou budovu a 4-členou rodinu ($P=500W$)

teplené zisky od osvětlení												
měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Q (kWh/měsíc)	116,25	98	62,775	37,5	23,25	7,5	15,5	22,5	54,25	75	108,5	120

4.4.5. Celkové vypočtené tepelné zisky pro zadané okrajové podmínky

Tabulka č.26, celkové vypočtené tepelné zisky, součet všech dílčích tepelných zisků

měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Celkem tep. zisky Před (kWh/měsíc)	797,96	996,87	1356,85	1625,90	1716,70	1598,85	1592,09	1752,74	1390,64	1301,35	898,72	728,70
Celkem tep. zisky Po (kWh/měsíc)	707,26	762,68	920,86	995,10	1026,68	948,56	969,29	1057,32	922,71	915,76	752,89	693,14
Celkem tep. zisky Ref. (kWh/měsíc)	707,34	750,78	907,40	984,43	1018,07	943,43	962,01	1044,91	909,62	900,27	740,14	682,19

4.5. Potřeba energie na vytápění

Faktor využití tepelných zisků pro jednotlivé měsíce vypočten podle vztahu [44], vnitřní tepelná kapacita C_m zvolena podle vztahu pro těžkou konstrukci dle tabulky č.13.

Tabulka č.27, faktory využitelnosti tepelných zisků

měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	průměr
$\eta_{H,gn}$ (-) před rekonstrukcí	0,965	0,951	0,927	0,888	0,831	0,778	0,686	0,664	0,858	0,911	0,952	0,966	0,865
$\eta_{H,gn}$ (-) po rekonstrukci	0,943	0,924	0,900	0,867	0,811	0,751	0,587	0,564	0,828	0,880	0,921	0,935	0,826
$\eta_{H,gn}$ (-) referenční	0,945	0,936	0,915	0,886	0,838	0,792	0,666	0,645	0,854	0,898	0,932	0,945	0,854

Potřeba tepla na vytápění se vypočte dle vztahu [43].

Tabulka č.28, potřeba tepla pro vytápění

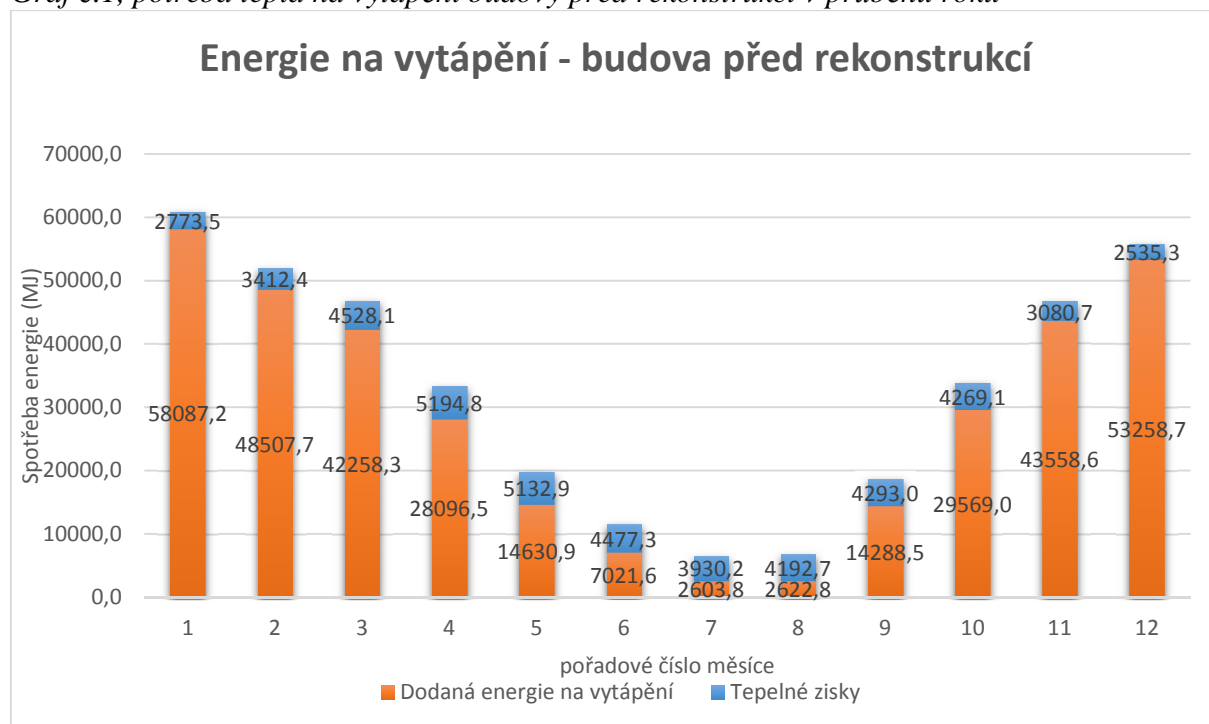
měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem (MJ)	Celkem (kWh)
$Q_{H,nd}$ (MJ) před rekonstrukcí	58087,2	48507,7	42258,3	28096,5	14630,9	7021,6	2603,8	2622,8	14288,5	29569,0	43558,6	53258,7	344503,7	95695,5
$Q_{H,nd}$ (MJ) po rekonstrukci	18471,0	15271,0	13071,0	8329,1	3806,6	1409,1	226,3	223,8	3648,0	8720,8	13508,2	16805,7	103490,4	28747,3
$Q_{H,nd}$ (MJ) reference	24142,4	20121,4	17422,9	11388,1	5555,6	2332,8	552,4	554,8	5316,6	11856,2	17863,6	22020,4	139127,3	38646,5

pozn. tepelné ztráty se běžně stanovují dle vyhlášky č. 194/2007 za otopné období od 1.9 do 31.5, v konkrétním případě malá navrhovaná obsazenost budovy a významné stínění okolním prostředím zapříčiňuje, že tepelné zisky nepokryjí tepelnou ztrátu budovy, to odpovídá poznatkům z pozorování, kdy byla neobydlená budova i v červnu a červenci loňského roku ohřáta na maximálně 14 °C

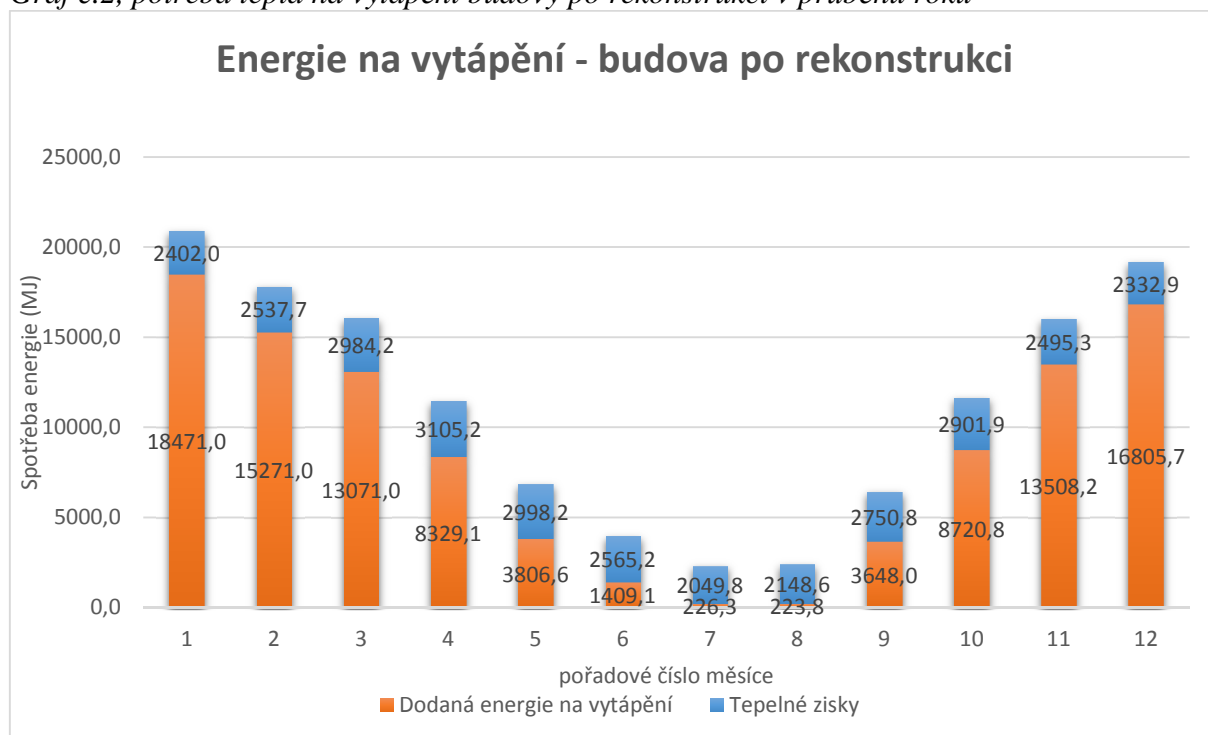
Před rekonstrukcí $Q_{H,nd} = 2,47 \times Q_{H,nd}$ referenční

Po rekonstrukci $Q_{H,nd} = 0,74 \times Q_{H,nd}$ referenční

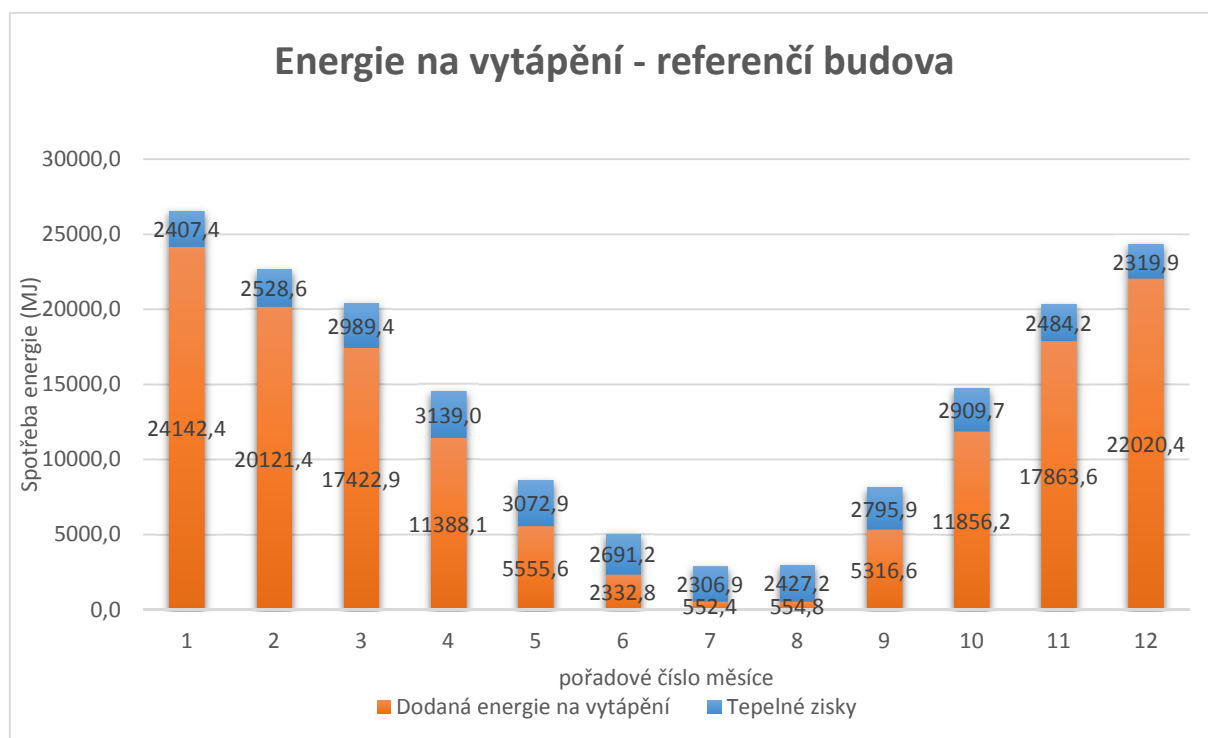
Graf č.1, potřeba tepla na vytápění budovy před rekonstrukcí v průběhu roku



Graf č.2, potřeba tepla na vytápění budovy po rekonstrukci v průběhu roku



Graf č.3, potřeba tepla na vytápění budovy v průběhu roku pro referenční budovu



4.6. Dodaná energie na vytápění – (vypočtená spotřeba energie)

Budova před rekonstrukcí

V posuzované budově před rekonstrukcí se nachází vytápění akumulacími kamny s účinností dle TNI 730331 $\eta = 0,88$, tento systém vytápění nemá energetické ztráty způsobené pomocnými zařízeními.

Celková spotřeba energie na vytápění $E = 95695,5 / 0,88 = 108744,9 \text{ kWh} = 391481,6 \text{ MJ}$

Náklady na vytápění (sazba PRE D45d 2,21 Kč, 240 300 Kč)

Celková spotřeba celkové primární energie za rok na vytápění = $391481,6 \times 3,2 = 1252,7 \text{ GJ}$

Celková spotřeba neobnovitelné primární e. za rok na vytápění = $391481,6 \times 3 = 1174,4 \text{ GJ}$

Pro referenční budovu $E = 38646,5 / 0,88 = 43916,5 \text{ kWh} = 158099,3 \text{ MJ}$

Celková spotřeba neobnovitelné primární e. za rok na vytápění = $158099,3 \times 1,1 = 173,9 \text{ GJ}$

Budova po rekonstrukci

V posuzované budově po rekonstrukci je navrženo vytápění plošným podlahovým vytápěním s účinností dle TNI 730331 $\eta = 0,91$, tento systém vytápění nemá energetické ztráty způsobené pomocnými zařízeními.

Celková spotřeba energie na vytápění $E = 28747,3 / 0,91 = 31590,4 \text{ kWh} = 113725,6 \text{ MJ}$

Náklady na vytápění (sazba PRE D45d 2,21 Kč, 69 800 Kč)

Celková spotřeba celkové primární energie za rok na vytápění = $113725,6 \times 3,2 = 363,9$ GJ
 Celková spotřeba neobnovitelné primární e. za rok na vytápění = $113725,6 \times 3 = 341,1$ GJ
 Pro referenční budovu E = $38646,5 / 0,91 = 42468,7$ kWh = 152887,3 MJ
 Celková spotřeba neobnovitelné primární e. za rok na vytápění = $152887,3 \times 1,1 = 168,2$ GJ

4.7. Potřeba energie na osvětlení

Potřeba energie na osvětlení je stejná jako tepelné zisky z osvětlení uvedené v části

Tabulka č. 29, podrobný přehled vypočtené energie na osvětlení pro danou budovu a 4-členou rodinu ($P=500W$)

Tabulka východů a západů Slunce Praha, zdroj: www.timeanddate.com/worldclock/sunrise.html						
měsíc	východ (h)	západ (h)	doba svícení ráno od 6:00 (h) do východu slunce	doba svícení večer od západu slunce do 22:00 (h)	počet dní v měsíci	dodaná energie pro světla pro 4 osoby na daný měsíc (kWh)
leden	8,00	16,50	2,00	5,50	31	116,25
únor	7,25	16,25	1,25	5,75	28	98
březen	6,30	18,25	0,30	3,75	31	62,775
duben	6,25	19,75	0,25	2,25	30	37,5
květen	5,15	20,50	0	1,50	31	23,25
červen	5,00	21,50	0	0,50	30	7,5
červenec	5,25	21,00	0	1,00	31	15,5
srpen	5,75	20,50	0	1,50	30	22,5
září	6,50	19,00	0,50	3,00	31	54,25
říjen	7,25	18,25	1,25	3,75	30	75
listopad	7,25	16,25	1,25	5,75	31	108,5
prosinec	8,00	16,00	2,00	6,00	30	120
					celkem (kWh)	741,025

4.8. Potřeba energie na přípravu a rozvod TV

Podle vztahu [37] $Q_{W,nd} = 4 \times 40 \times 4180 \times 0,998 \times 45 = 30 \text{ MJ/den}$

Podle vztahu [41] $Q_W = 30 \cdot 10^6 + 18 \cdot 10^6 + 23 \cdot 10^3 = 48,023 \text{ MJ/den} = 13,34 \text{ kWh/den}$

Tabulka č. 30, potřeba energie na přípravu a rozvod TV

měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem (MJ)	Celkem (kWh)
počet dní v měsíci	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	-	-
Q_W (MJ/měsíc)	1488,7	1344,6	1488,7	1440,7	1488,7	1440,7	1488,7	1440,7	1488,7	1440,7	1488,7	1440,7	17480,4	-
Q_W (kWh/měsíc)	413,5	373,5	413,5	400,2	413,5	400,2	413,5	400,2	413,5	400,2	413,5	400,2	-	4855,7

pozn. v systému nejsou uvažovány pomocná zařízení (nejsou doporučena)

4.9. Vytvoření PENB

Zatřídění budovy do klasifikační třídy se provede dle tabulky č. 31.

Tabulka č. 31, hodnocení energetické náročnosti budovy dle vyhlášky č.78/2013

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U_{em}	
A	$0,5 \times E_R$	$0,65 \times E_R$	Mimořádně úsporná
B	$0,75 \times E_R$	$0,8 \times E_R$	Velmi úsporná
C	E_R		Úsporná
D	$1,5 \times E_R$		Méně úsporná
E	$2 \times E_R$		Nehospodárná
F	$2,5 \times E_R$		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

Protokol PENB pro budovu před rekonstrukcí

Účel zpracování PENB: **Posouzení nákladů na provoz**

Typ budovy: **Rodinný dům**

Objem budovy: **1414,4 m³**

Celková plocha obálky budovy A: **809,1 m²**

Objemový faktor tvaru budovy: **0,57 m² / m³**

Celková energeticky vztažná plocha budovy: **306 m²**

Druhy energie užívané v budově: **Elektřina**

A) stavební prvky a konstrukce

a.1) požadavky na součinitel prostupu tepla: **nesplněno viz. tabulka č. 19**

a.2) požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla: **nesplněno viz. tabulka č. 19**

Energetická náročnost hodnocené budovy

a) seznam uvažovaných zón – pouze jedna zóna dle obrázku č. 10

b) dílčí dodané energie

ř.			Vytápění		Příprava TV		Osvětlení	
			ref. budova	hod. budova	ref. budov a	hod. budova	ref. budova	hod. budova
1.	Potřeba energie	(kWh/rok)	38 646,5	95 695,5	3033,4	3033,4	741	741
2.	Vypočtená spotřeba energie	(kWh/rok)	43 916,5	108 744,9	4855,7	4855,7	741	741
3.	Pomocná energie	(kWh/rok)	0	0	0	0	0	0
4.	Dílčí dodaná energie	(kWh/rok)	43 916,5	108 744,9	4855,7	4855,7	741	741
5.	Měrná dílčí dodaná energie na energeticky vztažnou plochu	(kWh/(m ² rok))	143,5	355,4	15,9	15,9	2,4	2,4

c) výroba energie umístěná v budově - Budova nedisponuje zařízením k výrobě energie.

d) rozdělení dílčích dodaných energií, celkové primární energie a neobnovitelné primární energie podle energonositelů

Energonositel	Dílčí vypočtená spotřeba energie	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková primární energie	Neobnovitelná primární energie
	(kWh/rok)	(-)	(-)	(kWh/rok)	(kWh/rok)
Elektřina	108 744,9	3,2	3	347 983,7	326 234,7

e) požadavek na celkovou dodanou energii

Referenční budova	(kWh/rok)	49 513	nesplněno
Hodnocená budova		114 341,6	
Referenční budova	(kWh/(m ² rok))	161,8	nesplněno
Hodnocená budova		373,7	

f) požadavek na neobnovitelnou primární energii

Referenční budova	(kWh/rok)	55 872,4	nesplněno
Hodnocená budova		343 024,8	
Referenční budova	(kWh/(m ² rok))	182,6	nesplněno
Hodnocená budova		1121	

g) primární energie hodnocené budovy

Celková primární energie	(kWh/rok)	365893,1
Obnovitelná primární energie	(kWh/rok)	22869,3
Využití obnovitelných zdrojů z hlediska primární energie	(%) Obnovitelná primární energie/ Celková primární energie	6,25

Energetická náročnost budovy z pohledu celkové dodané energie

$E = E_R \times 2,3 \Rightarrow$ hodnocení budova je: **velmi ne hospodárná F**

Energetická náročnost budovy z pohledu neobnovitelné primární energie

$E = E_R \times 6,1 \Rightarrow$ hodnocení budova je: **mimořádně ne hospodárná G**

(u rekonstruované budovy není nutné požadavek na neobnovitelnou primární energii splnit, stačí splnit požadavek na celkovou dodanou energii)

Protokol PENB pro budovu po rekonstrukci

Účel zpracování PENB: **Posouzení nákladů na provoz**

Typ budovy: **Rodinný dům**

Objem budovy: **1414,4 m³**

Celková plocha obálky budovy A: **809,1 m²**

Objemový faktor tvaru budovy: **0,57 m² /m³**

Celková energeticky vztažná plocha budovy: **306 m²**

Druhy energie užívané v budově: **Elektřina**

A) stavební prvky a konstrukce

a.1) požadavky na součinitel prostupu tepla: **splněno viz. tabulka č. 20**

a.2) požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla: **splněno viz. tabulka č. 20**

Energetická náročnost hodnocené budovy

a) seznam uvažovaných zón – pouze jedna zóna dle obrázku č. 10

b) dílčí dodané energie

ř.			Vytápění		Příprava TV		Osvětlení	
			ref. budova	hod. budova	ref. budova	hod. budova	ref. budova	hod. budova
1.	Potřeba energie	(kWh/rok)	38 646,5	28 747,3	3033,4	3033,4	741	741
2.	Vypočtená spotřeba energie	(kWh/rok)	42 468,6	31 590,4	4855,7	4855,7	741	741
3.	Pomocná energie	(kWh/rok)	0	0	0	0	0	0
4.	Dílčí dodaná energie	(kWh/rok)	42 468,6	31 590,4	4855,7	4855,7	741	741
5.	Měrná dílčí dodaná energie na energeticky vztažnou plochu	(kWh/(m ² rok))	138,8	103,2	15,9	15,9	2,4	2,4

c) výroba energie umístěná v budově - Budova nedisponuje zařízením k výrobě energie.

d) rozdělení dílčích dodaných energií, celkové primární energie a neobnovitelné primární energie podle energonositelů

Energonositel	Dílčí vypočtená spotřeba energie	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková primární energie	Neobnovitelná primární energie
	(kWh/rok)	(-)	(-)	(kWh/rok)	(kWh/rok)
Elektrina	31 590,4	3,2	3	101 089,3	94771,2

e) požadavek na celkovou dodanou energii

Referenční budova	(kWh/rok)	48 065,3	splněno
Hodnocená budova		37 187,1	
Referenční budova	(kWh/(m ² rok))	157,1	splněno
Hodnocená budova		121,5	

f) požadavek na neobnovitelnou primární energii

Referenční budova	(kWh/rok)	54 427,9	nesplněno
Hodnocená budova		111 561	
Referenční budova	(kWh/(m ² rok))	177,8	nesplněno
Hodnocená budova		309,7	

g) primární energie hodnocené budovy

Celková primární energie	(kWh/rok)	118 998,4
Obnovitelná primární energie	(kWh/rok)	7437,4
Využití obnovitelných zdrojů z hlediska primární energie	(%) Celková primární energie/ Obnovitelná primární energie	6,25

Energetická náročnost budovy z pohledu celkové dodané energie

$E = E_R \times 0,77 \Rightarrow$ hodnocení budova je: **úsporná C**

Energetická náročnost budovy z pohledu neobnovitelné primární energie

$E = E_R \times 2,309 \Rightarrow$ hodnocení budova je: **velmi ne hospodárná F**

(u rekonstruované budovy není nutné požadavek na neobnovitelnou primární energii splnit, stačí splnit požadavek na celkovou dodanou energii)

5. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Náklady na energeticky úsporná opatření lze přibližně stanovit z průměrných konečných cen za m² na jednotlivé typy úpravy.

Zateplení obvodových zdí	1000 Kč/m ²	Cena za úpravu 500 000 Kč
Zateplení půdní podlahy	500 Kč/m ²	Cena za úpravu 68 000 Kč
Zateplení přízemní podlahy	500 Kč/m ²	Cena za úpravu 68 000 Kč
Výplně otvorů	6000 Kč/m ²	<u>Cena za úpravu 264 000 Kč</u>
		Celkem : 900 000 Kč

Rozdíl v nákladech na vytápění před rekonstrukcí a po rekonstrukci činí 170 500 Kč ročně, prostá doba návratnosti 5 let a 2 měsíce.

6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámit se s legislativou a tvorbou PENB pro rodinné domy, spočítat energetickou náročnost vybrané budovy v současném stavu a navrhnout pro ni energeticky úsporná opatření, spočítat energetickou náročnost pro navržená opatření a posoudit jejich přínos. Práce je tematicky rozdělena na tři části. První část objasňuje legislativu a příslušné postupy k vytváření PENB, při seznamování s postupy pro vytvoření PENB jsem narazil na různá pojetí stejných výpočtů mezi normami ČSN 73 0540 a ČSN EN ISO 13790. Postupy z ČSN EN ISO 13790 doporučeny vyhláškou č. 78/2013, norma však doporučuje jejich použití v součinnosti s numerickými výpočetními programy, při zanedbání toků způsobených kolísáním vnitřní a venkovní teploty se výsledky liší pouze nepatrně. Druhá část se zabývá návrhem zateplení a výpočty tepelně technických vlastností budovy. Překvapivě se ve výpočtech projevuje na celkové tepelné ztrátě tepelný tok větráním, u zateplené budovy tvoří přibližně 19 % celkových tepelných ztrát, z toho lze usuzovat nezbytnost rekuperačního větrání při snaze o další snižování energetické náročnosti budovy. Další překvapivé výsledky přinesl výpočet solárních tepelných zisků, kde může vlivem nízkého odporu konstrukce v zimních měsících na konstrukcích orientovaných jinam než jih převládnout energie sálající k obloze nad solárním ziskem, v takových případech se pro energetickou stává výhodné

stínění okolní zástavbou. Třetí část se zabývá porovnáním vypočtených hodnot, vytvořením protokolu PENB a ekonomickým zhodnocením přínosu energeticky úsporných opatření. Vzhledem k tomu, že se jedná o rekonstruovanou budovu, není požadavek na hodnocení budovy dle primární neobnovitelné energie, která vychází velmi vysoká v důsledku využívání elektřiny jako jediného zdroje energie. Díky navrženým energeticky úsporným opatřením se budova posunula z energetické náročnosti “velmi nevhodná“ na klasifikaci “úsporná“. Dále jsem vypracoval odhad nákladů na energeticky úsporná opatření dle tržních cen za m², přičemž vyšla prostá doba návratnosti přibližně 5 let. Další úspory a ekologičnosti budovy by muselo být vzhledem k rozměrům dosaženo výměnou tepelného zdroje, popřípadě nuceného rekuperačního vytápění.

Použitá literatura

- [1] Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov
- [2] Zákon č. 406/2006 Sb., o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů
- [3] Program Teplo 2014 EDU. [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=369>
- [4] [Http://www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz>
- [5] BROŽ, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 80-01-02536-5.
- [6] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [7] ČSN EN ISO 13789. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda, 2009.
- [8] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [9] TNI 73 0331. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [10] ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [11] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [12] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [13] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [14] Metodický pokyn k upřesnění výpočetních postupů a okrajových podmínek. In: [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.nzu2013.cz/file/66/oblast-podpory-a-metodicky-pokyn-k-upresneni-vypocetnich-postupu-a-okrajovych-podminek-v-01.pdf>
- [15] *Pomocná energie – Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: download.mpo.cz/get/31948/36173/402609/priloha001.doc

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č.1, grafické znázornění PENB.....	15
Obrázek č. 2, grafické znázornění, stanovení dílčích energií na systémové hranici podle TNI 73 0331	19
Obrázek č.3, situace náhled do mapy katastrálního úřadu	43
Obrázek č.4, pohled – jižní strana	43
Obrázek č.5, pohled – severní strana (foceno 13:00, 6.4.2015, budova je kompletně zastíněna ze severu a západu po celý den)	43
Obrázek č.6, bilance zkondenzované vody zeď 0,45m + 16cm EPS výpočty software TEPLLO 2014.....	46
Obrázek č.7, bilance zkondenzované vody zeď 0,60m + 10cm EPS výpočty software TEPLLO 2014.....	46
Obrázek č.8, půdorys budovy 1.NP použitý ke stanovení ploch konstrukčních prvků, měřítko 1:100.....	47
Obrázek č.9, půdorys budovy 2.NP + 3.NP použitý ke stanovení ploch konstrukčních prvků, měřítko 1:100	48
Obrázek č.10, grafické znázornění určené systémové hranice vytápěného prostoru budovy v souladu s ČSN EN ISO 13790	49

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka č.1, seznam použitých veličin</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka č.2, seznam použitých zkratk</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka č. 3, Příloha č. 3 k vyhlášce č. 78/2013 Sb.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka č. 4, teplotní oblasti ČR návrhová teplota v zimním období, jejich průměrná nadmořská výška a teplotní gradient. (převzato z Tab. 1 ČSN).....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka č. 5, průměrné měsíční parametry venkovního prostředí,.....</i>	<i>21</i>
<i>(převzato z Tab. C.2 TNI 73 0331).....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka č. 6, délka výpočetního kroku, (převzato z Tab. C.3 TNI 73 0331).....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka č. 7, výňatek z tabulky C.1 TNI 73 0331.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka č. 8, Vnitřní výpočtové teploty dle ČSN 73 0540-3 a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka č. 9, Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce z ČSN EN ISO 6946.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka č. 10, vybrané aktuální požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540 – 2:2011 týkající se konstrukčních prvků navrhované budovy</i>	<i>26</i>

<i>Tabulka č. 11, tepelné vodivosti podkladové zeminy dle ČSN EN ISO 13370</i>	27
<i>Tabulka č. 12, hodnoty $\Delta U_{t,bm}$ dle ČSN 73 0540-4</i>	28
<i>Tabulka č. 13, dle ISO 14683</i>	30
<i>Tabulka č. 14, Typické hodnoty $g_{gl,n}$ dle ČSN EN 13 790</i>	33
<i>Tabulka č. 15, zjednodušené hodnoty $F_{sh,ob,A}$ dle dodatkových informací 78/2013</i>	34
<i>Tabulka č. 16, Požadovaná minimální průměrná osvětlenost E_m (lx), v bytových a obytných budovách je určena přílohou B1 normy ČSN 73 4301</i>	35
<i>Tabulka č. 17, výchozí hodnoty pro výpočet tepelných zisků dle TNI 73 0331</i>	37
<i>Tabulka č. 18, orientační hodnoty vnitřní tepelné kapacity pro výpočet časové konstanty dle ČSN EN ISO 13790</i>	38
<i>Tabulka č.19, vypočtené tepelně technické vlastnosti obálky budovy před rekonstrukcí</i>	50
<i>Tabulka č.20, vypočtené tepelně technické vlastnosti obálky budovy po rekonstrukci</i>	50
<i>Tabulka č.21, tepelné ztráty prostupem tepla a větráním</i>	51
<i>Tabulka č.22, vypočtené solární tepelné zisky</i>	52
<i>Tabulka č.23, tepelné zisky od osob a spotřebičů</i>	53
<i>Tabulka č.24, tepelné zisky z přípravy TV</i>	53
<i>Tabulka č.25, vypočtené hodnoty energie na osvětlení pro danou budovu a 4-členou rodinu (P=500W)</i>	53
<i>Tabulka č.26, celkové vypočtené tepelné zisky, součet všech dílčích tepelných zisků</i>	53
<i>Tabulka č.27, faktory využitelnosti tepelných zisků</i>	54
<i>Tabulka č.28, potřeba tepla pro vytápění</i>	54
<i>Tabulka č. 29, podrobný přehled vypočtené energie na osvětlení pro danou budovu a 4-členou rodinu (P=500W)</i>	57
<i>Tabulka č. 30, potřeba energie na přípravu a rozvod TV</i>	58
<i>Tabulka č. 31, hodnocení energetické náročnosti budovy dle vyhlášky č.78/2013</i>	58