ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV vs. REÁLNÁ SPOTŘEBA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. LUKÁŠ MATĚJKA 3 – TPR – 2022

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Matějka** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **473601**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**

Studijní program: **Technika prostředí**

Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Průkaz energetické náročnosti budov vs. reálná spotřeba

Název diplomové práce anglicky:

Building Energy Performance Certificate vs. Real Consumption

Pokyny pro vypracování:

Na vzorku obytných budov z různých období výstavby proveďte porovnání jejich průkazů energetické náročnosti (které vypracujte) se skutečnou spotřebou energií na vytápění. Výsledky objektivně zhodnoťte a důkladně diskutujte rozdíly mezi výpočtem a realitou. Proveďte analýzu vlastností daných budov a diskutujte vliv okrajových podmínek a vstupních údajů na dosažené výsledky. Lze například navrhnout opatření či změnu vstupních hodnot tak, aby průkazy lépe korespondovaly s reálnou výstavbou. Věnujte se také krátce legislativě spojené s touto problematikou. Lze se také dotknout například výpočtu potřeby tepla standardními metodami (např. denostupňová metoda) a u jednotlivých objektů posoudit, zda je tato metodika aktuální například i pro současnou výstavbu.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 0331.
Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov.
Řada norem ČSN EN 15316 Energetická náročnost budov.
Aj . dle potřeby do vyčerpání tématu.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jindřich Boháč, Ph.D. Ú 12116

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

Datum zadání diplomové práce: **29.04.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **29.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Jindřich Boháč, Ph.D.	doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.	doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

29.4.2022
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především svému vedoucímu práce Ing. Jindřichovi Boháčovi, Ph.D. že se ujmul mého tématu a za jeho věcné připomínky ke struktuře a formě práce. Dále děkuji panu Ing. Janu Schwarzerovi, Ph.D., za čas věnovaný konzultaci a připomínky k praktické části práce.

Souhrn

Práce se zabývá výpočtem průkazu energetické náročnosti budov. Na vzorku tří rodinných domů s odlišnou dobou výstavby, resp. s různými tepelně technickými vlastnostmi byl proveden výpočet potřeby tepla na vytápění. Ta je následně porovnána s reálnou spotřebou tepla daného domu v letech 2015-2021 a je stanovena odchylka těchto hodnot. Dále jsou v práci diskutovány vlivy vstupních údajů a okrajových podmínek na výslednou potřebu tepla na vytápění. V poslední části se práce věnuje výpočtu potřeby tepla denostupňovou metodou. Následně jsou vypočítány korekční činitele denostupňové metody pro stanovení potřeby tepla na vytápění shodné s reálnou a vypočítanou (v PENB) hodnotou.

Summary

The main goal of the following diploma thesis is to investigate energy certificates of different buildings. A sample of three family houses with different years of construction and thus different thermal properties was chosen for this investigation. The difference between calculated energy consumption for heating and real energy consumption in the years 2015-2021 was evaluated. Furthermore, this document explores the influences of input values and boundary conditions of the resulting energy demand for heating. In the last part, there are calculations and evaluations of energy consumption for heating calculated by the day-degree method and the correction factor is determined to get the same results as in the energy performance certificates and as the real energy demand.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: *„Průkaz energetické náročnosti budov vs. reálná spotřeba“* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jindřicha Boháče, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 21. 06. 2022 Bc. Lukáš Matějka

OBSAH

1 Úvod 5

2 Průkaz energetické náročnosti budov 7

2.1 Způsob hodnocení 9

2.1.1 Faktor primární neobnovitelné energie 10

2.2 Zónování 11

2.2.1 Celková energeticky vztažná plocha 13

2.3 Typické využívání budovy 14

3 Výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění 15

3.1 Denostupňová metoda 15

3.2 Výpočet teoretické potřeby tepla dle ČSN EN ISO 52016-1 16

4 Výpočet skutečné potřeby tepla na vytápění 18

5 Posuzované domy 21

5.1 RD 1930 23

5.1.1 Analýza domu 23

5.1.2 Reálná potřeba tepla na vytápění přepočítaná na referenční klimatické podmínky 24

5.1.3 Výsledná skutečná potřeba tepla na vytápění pro dané způsoby výpočtu 26

5.2 RD 2005 33

5.2.1 Analýza domu 33

5.2.2 Reálná potřeba tepla na vytápění přepočítaná na referenční klimatické podmínky 34

5.2.3 Výsledná skutečná potřeba tepla na vytápění pro dané způsoby výpočtu 36

5.3 RD 2015 39

5.3.1 Analýza domu 40

5.3.2 Reálná potřeba tepla na vytápění přepočítaná na referenční klimatické podmínky 41

5.3.3 Výsledná skutečná potřeba tepla na vytápění pro dané způsoby výpočtu 43

6 Porovnání vypočítaných hodnot 46

7 Výpočet denostupňovou metodou 51

8 Závěr 53

9 Literární zdroje 56

10 Seznam příloh 58

Soupis použitého značení

H	výška budovy	[m]
E_R	energie spotřebovaná v referenční budově	[-]
Eta,H	faktor využitelnosti tepelných zisků	[-]
F	faktor neobnovitelné primární energie	[-]
F_{hor}	faktor stínění horizontu	[-]
PE	potřeba primární energie	[Wh]
PER	faktor využití primární energie	[-]
Q	potřeba energie v budově	[Wh]
Qc	tepelná ztráta budovy	[W]
Q_{gn}	celkové tepelné zisky	[MWh]
$Q_{H,int}$	potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty	[MWh]
$Q_{H,nd}$	potřeba tepla na vytápění	[Wh], [MWh]
Q_{int}	vnitřní tepelné zisky	[MWh]
Q_{sol}	solární tepelné zisky	[MWh]
Q_{tec}	trvalé tepelné zisky od technologie	[MWh]
U_{CP}	součinitel prostupu tepla stěny z pálených cihel	[W/m^{2}K]
U_{em}	průměrný součinitel prostupu tepla	[W/m^{2}K]
d	řešené časové období	[dny]
f_H	část měsíce, v níž musí být zóna vytápěna	[-]
n_{50}	intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	[1/h]
t_{is}	vnitřní průměrná teplota v budově	[°C]
t_{es}	průměrná venkovní teplota v řešeném časovém období	[°C]
t_{ev}	oblastní výpočtová teplota	[°C]
ε	opravný součinitel	[-]
ε_d	opravný součinitel zkrácení doby provozu OS	[-]
ε_i	opravný součinitel – vliv nesoučasnosti tepelné ztráty	[-]

ε_t	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty	[-]
η	provozní účinnost soustavy	[-]
η_H	faktor využitelnosti tepelných zisků	[-]
$\eta_{H,dis}$	účinnost distribuce tepla	[-]
$\eta_{H,em}$	účinnost sdílení tepla	[-]
$\eta_{H,gen}$	účinnost výroby energie ve zdroji tepla	[-]

1 ÚVOD

Energetická náročnost budov je v poslední době často skloňovaným tématem. K dosažení nižší energetické náročnosti může vést hned několik motivací. Ze strany státu, respektive Evropské unie se neustále zvyšuje tlak zpřísňujícími se požadavky za cílem snížení produkce skleníkových plynů, tedy zamezení globálního oteplování, či energetickou soběstačností, která nabírá stále vyšší razanci vzhledem k aktuálním politickým situacím. Abychom mohli budovu postavit, musíme získat stavební povolení. Abychom získali stavební povolení, musíme splnit požadavky Evropské unie. Splnění se hodnotí pomocí průkazu energetické náročnosti příslušné budovy (PENB).

Další motivací jsou zvyšující se ceny energií, které nás nutí přemýšlet o tepelně technickém vybavení budovy, abychom dosáhli co nejnižších výdajů při jejím provozu. Vhodnost jednotlivých úprav se dá hodnotit podle návratu investice. Doba návratnosti investice se stanoví poměrem vložených peněz do daného řešení a úspory financí za kalendářní rok. Abychom byli schopni stanovit úsporu po zateplení domu, nebo výměně zdroje tepla pro vytápění, musíme znát potřebu tepla před a po provedení úsporného opatření. Musíme být tedy schopni co nejpřesněji vypočítat potřebu tepla v budově, abychom byli schopni realizovat ekonomicky výhodné řešení.

Tato práce se věnuje právě výpočtu průkazu energetické náročnosti budov, respektive výpočtu teoretické potřeby tepla na vytápění a vlivu zadávaných hodnot na výslednou teoretickou potřebu tepla. V první části práce je popsán způsob výpočtu průkazu ENB a zadávání vstupních parametrů v souladu s nařízením vyhlášky č. 264/2020, Sb., o energetické náročnosti budov (dále pouze vyhláška č. 264/2020, Sb.) a technických norem v této vyhlášce uvedených. Následně se práce věnuje přepočtu teoretické potřeby tepla na skutečnou potřebu tepla, která výrazně závisí na zvoleném zdroji tepla a způsobu distribuce a sdílení tepla do vytápěných místností. Také se práce věnuje výpočtu teoretické potřeby tepla denostupňovou metodou s měsíčním krokem, která má výrazně jednodušší stanovení vstupních hodnot než výpočet dle ČSN EN ISO 52016-1.

V praktické části jsou postupně uvedeny tři budovy s různým obdobím výstavby a tím pádem také odlišnými tepelně technickými vlastnostmi, ke kterým jsou k dispozici fakturované spotřeby energií v rozmezí let 2015–2021. Z fakturovaných hodnot je

následně stanoveno množství energie, které bylo spotřebováno na vytápění. Tato hodnota byla následně přepočítána na referenční klimatické podmínky, abychom získali referenční spotřebu tepla na vytápění. Tuto hodnotu lze následně porovnávat s vypočítanou potřebou tepla na vytápění v průkazu ENB, resp. s vypočítanou potřebou tepla dle normy ČSN EN ISO 52016-1. V každém případě je proveden takzvaný obecný výpočet (značený „A“), který je počítán s danými, konstantními vstupními hodnotami, jako je faktor stínění horizontu a poměr zasklení oken. Výpočet je plně v souladu s platnou vyhláškou č. 264/2020, Sb. Další výpočet je přesnější (značený „B“) s podrobněji stanovenými vstupními hodnotami (konkrétním faktorem stínění horizontu a poměru zasklení oken), opět v souladu se zmíněnou vyhláškou, s možným použitím v praxi. Třetí výpočet je s upraveným profilem užívání (značený „C“), který je stanovený tak, aby reprezentoval reálné užívání budovy. Tento postup není reálně využitelný (není v souladu s vyhláškou č. 264/2020, Sb.), ale teoreticky by se vypočítaná skutečná potřeba tepla měla rovnat reálné spotřebě tepla na vytápění.

Pro tyto rodinné domy je také uveden výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění denostupňovou metodou, který je také porovnán s reálnými spotřebami tepla na vytápění a následně je stanoven korekční činitel pro získání stejných hodnot potřeby tepla na vytápění, jako při výpočtu průkazu ENB a korekční činitel pro získání reálných spotřeb tepla na vytápění v budově.

V konečné části se práce věnuje porovnání výsledků, ze kterých by měla být zřejmá přesnost výpočtu a vliv vstupních hodnot na teoretickou potřebu tepla v jednotlivých rodinných domech. Musíme se ale vyvarovat porovnávání budov mezi sebou, neboť každá budova má odlišnou geometrii a reálný profil užívání, které výrazně ovlivňují výslednou spotřebu tepla budovy.

Pro pochopení práce zdůrazním používané pojmy k popisu potřeby/spotřeby tepla na vytápění. Teoretická potřeba tepla na vytápění je vypočítaná tepelná energie dostatečná k udržení požadované vnitřní teploty vzduchu v budově v průběhu jednoho kalendářního roku. Skutečná potřeba tepla na vytápění je teoretická potřeba tepla na vytápění podělená souhrnnou účinností otopné soustavy a zdroje tepla. Reálná potřeba tepla na vytápění je množství tepelné energie dodávané do budovy na vytápění za kalendářní rok, vypočítané z fakturovaných spotřeb energií. [3] [4]

2 PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV

Průkaz energetické náročnosti budov je dokument, který by měl umožnit náhled do tepelně technických vlastností budovy a použité technologie pro širokou veřejnost, která danou budovu využívá, nebo bude využívat. Nejzákladnější porovnání je podle třídy („písmena“) průkazu, kde „A“ je mimořádně úsporná a „G“ mimořádně nehospodárná budova. Toto řazení je stanoveno pouze podle celkové dodané primární energie vztažené na jeden m^2 energeticky vztažné plochy budovy. Průkaz ENB je nutné mít k dispozici při prodeji či pronájmu budovy, nebo její ucelené části. Dokument by měl dát uživateli orientační hodnoty skutečných potřeb energií budov, aby byl prodej či pronájem pro obě strany nanejvýš transparentní. Nelze ale předpokládat, že vypočítaná skutečná potřeba energie v průkazu ENB bude shodná s reálnými spotřebami, protože silně závisí na způsobu užívání budovy a je vypočítána pro referenční klimatické podmínky. Pro obytné budovy je výpočet proveden pro typické užívání budovy dle ČSN 73 0331-1: 2020, Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data (dále pouze ČSN 73 0331-1), díky tomu můžeme (při koupi či pronájmu) mezi sebou porovnat tepelně technické vlastnosti budov bez ohledu na jejich skutečnou polohu a reálné užívání předchozími majiteli. Výpočet ale závisí na velkém množství parametrů, které jsou určeny pro typický případ, tudíž se značnou chybou. Výsledná hodnota skutečných potřeb energií je tedy pouze orientační. Průkaz má platnost 10 let od jeho vyhotovení, pokud nedojde ke stavební či tepelně technické změně budovy, nebo její technologie pro úpravu vnitřního prostředí.

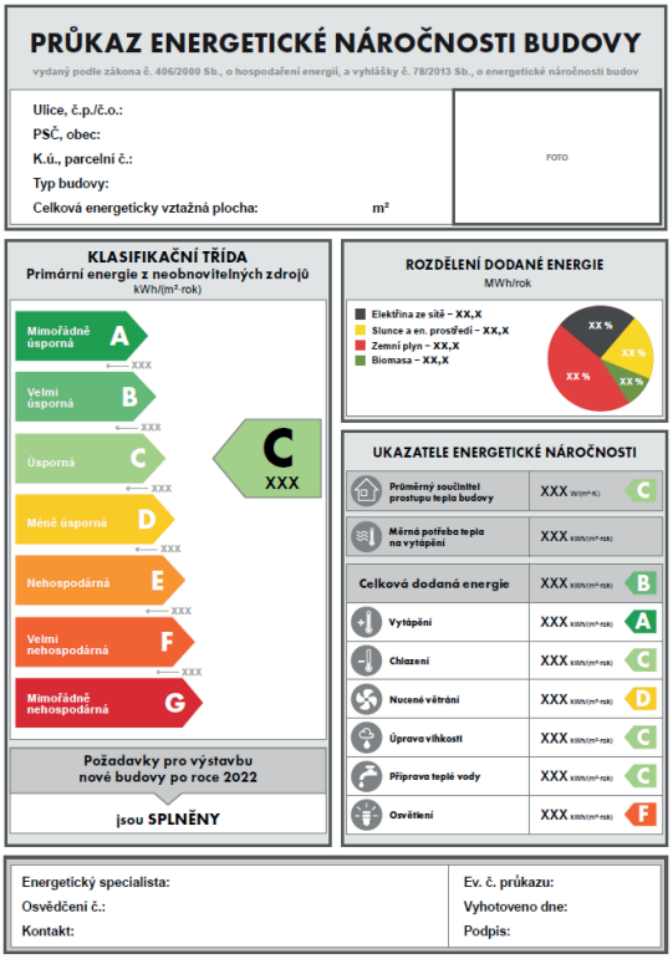
Dalším důvodem zavedení průkazů ENB je možnost kontrolovat, zda novostavba či rekonstruovaná budova splňuje tepelně technické podmínky dané Evropskou směrnicí. Pro získání stavebního povolení potřebujeme dodat PENB, který splňuje podmínky dané v zákoně č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon byl postupně implementován nejdříve pro budovy větší než 1 500 m^2 (od ledna 2016), dále pro budovy větší než 350 m^2 (od ledna 2017) a následně i pro budovy menší než 350 m^2 (od ledna 2018). Požadavky na tepelně technické vlastnosti budov se postupně zvyšovaly a od ledna 2020 jsou veškeré nové budovy postaveny s téměř nulovou spotřebou energie. Tyto požadavky nemusí plnit:

- budovy s plochou pod 50 m^2,

- budovy, které jsou kulturní památkou nebo se nachází v památkové oblasti, pokud by splněním některých požadavků došlo k úpravě vzhledu či charakteru budovy,
- staveb pro rodinnou rekreaci, a
- dalších budov ke specifickému využití dle zákona č. 406/2000 Sb., § 7 odstavec 5

Budova s téměř nulovou spotřebou energie je taková budova, u které jsou hodnoty ukazatelů energetické náročnosti menší než hodnoty stanovené pro referenční budovu. Referenční budova má tepelně technické vlastnosti a vlastnosti technologie pro úpravu vnitřního prostředí definované ve vyhlášce č. 264/2020 Sb., příloha č. 1.

Další zpřísnění je v platnosti od 1. ledna 2022, které snižuje hranici spotřeby primárních energií z neobnovitelných zdrojů. Ke splnění je tedy potřeba využít obnovitelný zdroj energie (například tepelné čerpadlo), nebo doplnit neobnovitelný zdroj tepla o obnovitelné zdroje energie (plynový kondenzační kotel v kombinaci s nuceným větráním se zpětným získáním tepla, FV panely aj.). Hlavní důvod tohoto zpřísnění je, že se mnozí vlastníci rozhodli pro významné zateplení domu a následně šetřili na technologii. Často jsou tyto domy tedy vytápěny například topnými rohožemi spotřebovávajícími elektrickou energii, která má nejvyšší faktor primární neobnovitelné energie. Takové budovy by po tomto zpřísnění bez doplňkového zdroje obnovitelné energie požadavkům nevyhověly. Nově postavené domy jsou tedy stavěny jako „Budovy s téměř



Obr. 1: Vzor titulní stránky průkazu ENB [12]

nulovou spotřebou energie po 1. 1. 2022“.

Průkaz energetické náročnosti budov zpracovává výhradně energetický specialista autorizovaný Ministerstvem průmyslu a obchodu, které má tyto dokumenty na starost. Energetickým specialistou se může stát fyzická osoba, která prošla školením a v závislosti na dosaženém vzdělání disponuje potřebnými roky praxe. Po složení odborné zkoušky dostane tato osoba oprávnění energetického specialisty a bude jí přiděleno číslo enex, které se spolu se jménem a kontaktními údaji uvádí na průkazu ENB. Kontrolu průkazů má na starosti Státní energetická inspekce (SEI), která má zákonem stanovený počet kontrol, který musí provést. Tento počet je stanoven jako jedna dvacetina vyhotovených průkazů za předchozí kalendářní rok. Kontrola průkazů zahrnuje též ověření vstupních údajů o budově použitých k vydání průkazu a výsledků v průkazu uvedených. [3] [4] [7] [8] [14] [12]

2.1 Způsob hodnocení

Hodnocení v PENB vychází z porovnání reálné budovy s referenční budovou. Referenční budova je výpočtově definovaná budova, která má stejnou velikost, tvar, orientaci ke světovým stranám, rozmístění a plochy oken, stejné profily užívání a je ve stejných klimatických podmínkách jako reálná budova. Referenční budova má ale

Tab. 1: Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy, kde E_R je daná energie spotřebovaná v referenční budově [12]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy						Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Primární energie z neobnovitelných zdrojů energie	celková dodaná energie	Dílčí dodaná energie			U_{em}	
			Teplá voda a úprava vlhkosti	Vytápění a chlazení	Osvětlení vnitřního prostoru budovy a nucené větrání		
A	0,8 × E_R	0,7 × E_R	0,7 × E_R	0,6 × E_R	0,5 × E_R	0,7 × E_R	Mimořádně úsporná
B	1,2 × E_R	0,9 × E_R	0,8 × E_R	0,8 × E_R	0,7 × E_R	0,9 × E_R	Velmi úsporná
C	1,6 × E_R	1,2 × E_R	1 × E_R	1,1 × E_R	0,9 × E_R	1,2 × E_R	Úsporná
D	2,3 × E_R	1,5 × E_R	1,2 × E_R	1,5 × E_R	1,2 × E_R	1,7 × E_R	Méně úsporná
E	3 × E_R	2 × E_R	1,4 × E_R	2 × E_R	1,5 × E_R	2,3 × E_R	Nehospodárná
F	3,7 × E_R	2,5 × E_R	1,6 × E_R	2,5 × E_R	2 × E_R	2,9 × E_R	Velmi nehospodárná
G							Mimořádně nehospodárná

dané referenční hodnoty vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů. Parametry a hodnoty referenční budovy jsou stanoveny pro dosažení optimální energetické náročnosti pro jejich předpokládaný ekonomický životní cyklus, s ohledem na dosažení kvality vnitřního vzduchu a tepelné pohody. Tyto parametry jsou uvedeny ve vyhlášce 246/2020 Sb., v příloze č. 2.

Hlavním ukazatelem energetické náročnosti je očekávaná (vypočítaná) spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů energie na metr čtvereční energeticky vztažné plochy. Ta rozhoduje o celkovém hodnocení budovy. Dalšími ukazateli jsou celková měrná dodaná energie za rok (vztažená na metr čtvereční energeticky vztažné plochy, což je veškerá energie dodaná a následně spotřebovaná uvnitř budovy, včetně energie prostředí při použití tepelného čerpadla) a průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}. Ten je daný měrnou tepelnou ztrátou budovy prostupem a větráním. Na deskách průkazu dále najdeme celkové měrné dodané energie na vytápění, chlazení, nucené větrání, úpravu vlhkosti, přípravu teplé vody a osvětlení. Hodnoty pro horní hranici klasifikační třídy podle zmíněných ukazatelů jsou uvedeny v *Tab. 1*. [7] [12]

2.1.1 Faktor primární neobnovitelné energie

Aby bylo možné mezi sebou porovnat jednotlivé dodané energie, musí se uvažovat s faktorem neobnovitelné primární energie *F* (viz Tab. 2). Ten zahrnuje spotřebu primární energie na těžbu, zpracování, uskladnění, dopravu, výrobu, transformaci, šíření, rozvod a na jakékoliv další operace nutné k dodávce dané energie do budovy, ve které se následně využije. Ve faktoru primární neobnovitelné energie se také projevuje politický vliv – snížení *F* pro elektrickou energii by mělo za následek snížení motivace k přechodu na ekologičtější formy vytápění.

Pomocí faktoru využití primární energie *PER* pak můžeme vypočítat teoretickou potřebu primární neobnovitelné energie na výrobu tepelné energie v hodnocené budově.

$$PER = \frac{Q}{PE} = \frac{\eta}{F} \tag{1}$$

, kde Q je potřeba energie v budově, PE je potřeba primární energie, η je provozní účinnost celé soustavy vztažená k energetickému obsahu paliv a F je faktor neobnovitelné primární energie. [5] [12] [17]

Tab. 2: Faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů energie hodnocené budovy [12]

Energonositel	**Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie (-)**
Zemní plyn	1,0
Tuhá fosilní paliva	1,0
Propan-butan/LPG	1,2
Topný olej	1,2
Elektřina	2,6
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	0
Elektřina - dodávka mimo budovu	-2,6
Teplo - dodávka mimo budovu	-1,3
Účinná soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů energie	0,2
Účinná soustava zásobování tepelnou energií s 80% a nižším podílem obnovitelných zdrojů energie	0,9
Ostatní soustavy zásobování tepelnou energií	1,3
Ostatní neuvedené energonositele	1,2
Odpadní teplo z technologie	0

Tab. 3: Faktory využití primární energie pro dané zdroje tepla

Zdroj tepla	F [-]	η [-]	PER [-]
Přímotop	2,6	1,00	0,38
Tepelné čerpadlo vzduch – voda	2,6	2,20	0,85
Tepelné čerpadlo země – voda	2,6	4,10	1,58
Plynový kotel běžný	1,0	0,70	0,70
Plynový kotel kondenzační	1,0	0,80	0,80
Kotel na pelety	0,2	0,75	3,75

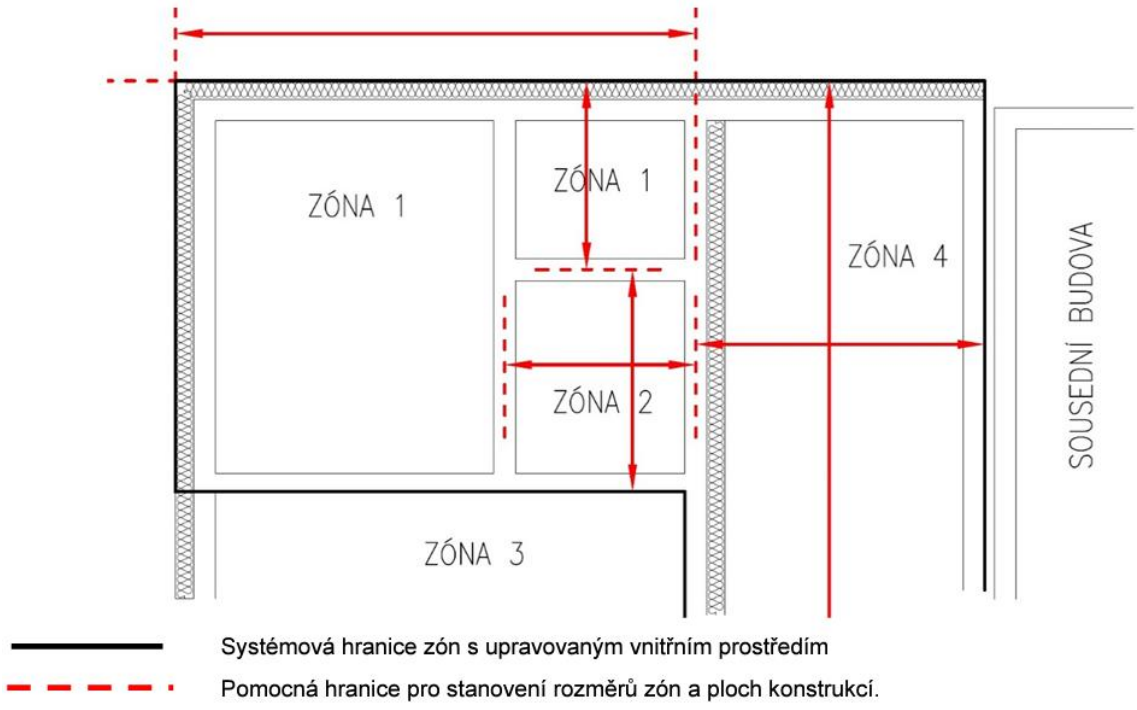
2.2 Zónování

Pro správné vyhodnocení průkazu ENB je potřeba budovu rozdělit na jednotlivé zóny s obdobným typickým užíváním, technickým systémem (stejné užití energie) a stavebním řešením (dle ČSN 73 0331-1, příloha D). Součet dodaných energií do těchto zón je pak celková energie dodaná do budovy. Každá zóna, jako zjednodušený

geometrický model, je dále zvlášť popsána geometrickou charakteristikou (rozměry, podlahová plocha, objem apod.), vlastnostmi obálky budovy, skladbou technických systémů a daným profilem typického užívání. Nejčastěji se zónování používá v případě nevytápěné místnosti (sklep, garáž), která je součástí budovy. V této místnosti může být nucené větrání.

V případě sloučení prostorů s rozdílným způsobem užívání, nebo rozdílnými parametry technologického systému se vstupní hodnoty pro danou zónu stanový váženým průměrem podle veličiny příslušné danému parametru (podlahová plocha či vnitřní objem vzduchu). Obytné a jiné, než obytné zóny se nedají vzájemně sloučit.

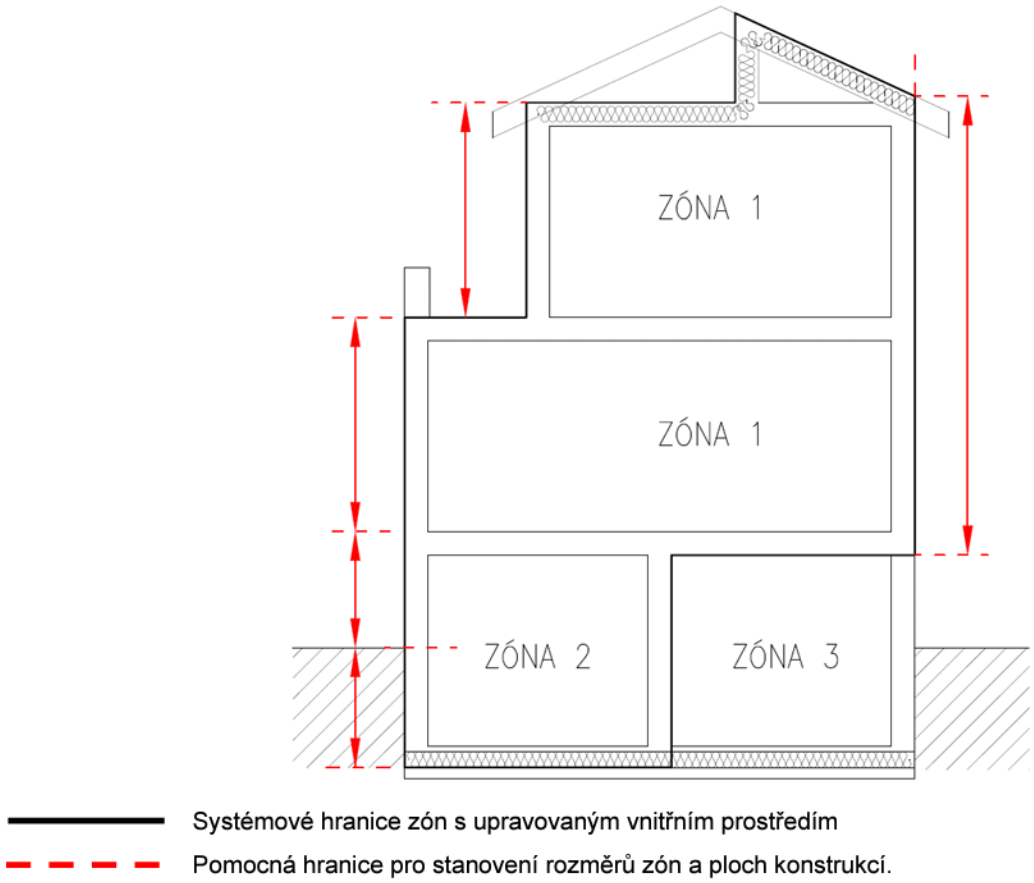
Horizontální systémová hranice zón bývá zpravidla na vnějším povrchu ochlazovaných konstrukcí. U sousedních zón s upravovaným vnitřním prostředím se jako hranice zóny bere střed stěny. Pokud zóna s upravovaným vnitřním prostředím sousedí s nevytápěnou zónou, hranicí je vnější povrch stěny z pohledu zóny s upravovaným vnitřním prostředím. Viz Obr. 2, kde zóna 1, 2 a 4 jsou zóny s upravovaným vnitřním prostředím a zóna 3 je nevytápěná.



Obr. 2: Pravidla pro stanovení horizontálních rozměrů [17]

Vertikální systémová hranice je pro dvě zóny s upravovaným vnitřním prostředím dána horní hranou konstrukce stropu. Při kontaktu se zeminou je hranicí spodní hrana

posledního tepelně izolačního materiálu. Pokud jsou v kontaktu nevytápěná zóna se zónou s upravovaným vnitřním prostředím, bere se nejvzdálenější hrana konstrukce z pohledu zóny s upravovaným vnitřním prostředím. Viz Obr. 3, kde zóna 1, 2 a 4 jsou zóny s upravovaným vnitřním prostředím a zóna 3 je nevytápěná. [7] [12] [17]



Obr. 3: Pravidla pro stanovení vertikálních rozměrů [17]

2.2.1 Celková energeticky vztažná plocha

Celková energeticky vztažná plocha se stanoví jako součet půdorysných ploch všech zón s upravovaným vnitřním prostředím – uzavřená část budovy proti venkovnímu prostředí, ve které je alespoň jeden z technických systémů pro vytápění či chlazení. Do této plochy se započítává také půdorysný průmět schodiště (pokud je uvnitř systémové hranice budovy) a půdorys výtahové nebo instalační šachty procházející přes více podlaží apod. Nezapočítávají se pak plochy zón bez technologického systému vytápění či chlazení (nevytápěný sklep, nevytápěná garáž). [7] [12] [17]

2.3 Typické využívání budovy

Aby bylo možné vypočítat energetickou náročnost budovy, je nutné specifikovat vnitřní a vnější parametry popisující provoz jednotlivých zón. V normě ČSN 73 0331-1, příloze B, jsou uvedeny různé typické hodnoty pro jednotlivé typy budov. Podle této normy je ovšem rovněž možné tyto typické hodnoty nahradit konkrétními hodnotami pro posuzovanou budovu. Nicméně podle vyhlášky č. 246/2020, Sb. se musí pro obytné zóny použít jednotný profil typického užívání s upřesněním,

- zda je otopná soustava vybavena automatickým systémem umožňujícím útlum vnitřní teploty,
- zaokrouhlení počtu osob na celá čísla a na jednu bytovou jednotku maximálně 5 osob, a
- stanovení podílu na ročním pokrytí potřeby tepla, při použití více zdrojů tepla v jedné zóně, nejvýše hodnotou dle ČSN 73 0331-1, příloha A.

Pro jiné, než obytné zóny je možné provést úpravy hodnot za dodržení pravidel uvedených ve vyhlášce č. 246/2020, Sb., příloha č. 2. Profil užívání budovy musí být definován minimálně časovým profilem užívání a poměrnou obsazeností.

Důležitými parametry typického využívání pro rodinné domy je obsazenost 40 m^2/os (maximálně 5 osob na jednu bytovou jednotku), vnitřní výpočtová teplota pro režim vytápění 20 °C, v režimu útlumu 18 °C (uvažuje se 7 h/den, pokud je soustava vybavena automatickým systémem, který útlum umožňuje), spotřeba teplé vody 40 litrů na osobu na den, intenzita pro přirozené i nucené větrání 0,3 1/h, měrné tepelné zisky od osob 1,5 W/m^2 s časovým podílem 0,7 a od vybavení 3,0 W/m^2 s časovým podílem 0,2.

V normě jsou dále uvedeny typické parametry pro bytové domy, administrativní budovy, budovy pro vzdělávání, zdravotnické budovy, ubytovací zařízení, sportovní zařízení a ostatní provozy.

Pro režim chlazení jsou dány různé vnitřní výpočtové teploty pro výpočet s měsíčním krokem a s hodinovým krokem. Při hodinovém kroku je výpočtová teplota pro rodinný dům 26 °C a pro měsíční krok 22 °C. Tyto hodnoty jsou rozdělené kvůli zprůměrování venkovní teploty pro měsíční výpočet, která je nejvyšší v červenci při

18 °C. Výpočet potřeby tepla na chlazení je tedy velmi nepřesný a při porovnání s reálnými spotřebami u administrativních budov vycházejí velmi odlišné hodnoty. Z tohoto důvodu nařizuje vyhláška č. 264/2020, Sb. od 1. ledna 2023 výpočet v budovách, nebo zónách s chlazením, úpravou vlhkosti nebo s výrobou elektrické energie s intervalem nejvýše jedné hodiny. [7] [12] [17]

3 VÝPOČET TEORETICKÉ POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Aby bylo možné porovnávat vliv úpravy tepelně technických vlastností budovy a aby bylo možné ekonomicky správně navrhnout technologii upravující vnitřní prostředí v budově, musíme znát její teoretickou potřebu tepla na vytápění. Tato hodnota by měla co nejpřesněji udávat množství energie, které daná budova potřebuje pro udržení návrhových vnitřních podmínek. V případě již zvolené technologie ji můžeme přepočítat na skutečnou potřebu energie, kterou můžeme předpokládat při užívání budovy daným způsobem. [5] [7]

Způsobů výpočtu teoretické potřeby tepla je několik. Liší se přesností, náročností výpočtu a množstvím vstupních údajů, které musíme ve výpočtu zohlednit.

3.1 Denostupňová metoda

Denostupňová metoda umožňuje rychlý výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění. Tato metoda byla dříve často využívána pro svou jednoduchost, ale není vhodné tuto metodu používat při přesnějších výpočtech, především u nových domů. Výpočet teoretické potřeby tepla denostupňovou metodou závisí pouze na řešeném časovém období d, celkové tepelné ztrátě budovy Q_C a podílu návrhových teplot a rozdílu vnitřní a venkovní teploty v daném časovém období (t_{is} je vnitřní průměrná teplota v budově, t_{es} je průměrná venkovní teplota v řešeném časovém období a t_{ev} je venkovní oblastní výpočtová teplota, pro kterou byla stanovena tepelná ztráta Q_C).

$$Q_{H,\mathrm{int}} = 24 \cdot 3600 \cdot d \cdot Q_C \cdot \frac{(t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \tag{2}$$

Aby bylo možné se přiblížili k reálné hodnotě, uvažuje se ve výpočtu opravný součinitel ε. Jeho velikost je odvozena od tepelně technického provedení budovy. Pro pasivní domy uvažujeme $\varepsilon = 0{,}5$, pro nízkoenergetické $\varepsilon = 0{,}6$ a pro běžné domy

$\varepsilon = 0{,}75$. Můžeme se setkat také s více opravnými součiniteli, např. kombinací e_i (opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti tepelné ztráty větráním a prostupem), e_t (opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušovaném vytápění) a e_d (opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění). Touto korekcí nahrazujeme nedostatky metody, která nezapočítává solární zisky, které hrají velkou roli na potřebu tepla především pasivních domů, u kterých je poměr zisků ze slunečního záření oproti tepelným ztrátám budovy výrazně vyšší než u běžné zástavby. Při vyšším počtu opravných součinitelů je možné získat přesnější hodnotu korekce, vše ale závisí na přesnosti odečítání či výpočtu daných součinitelů. Reálná potřeba tepla na vytápění také výrazně závisí na ploše průhledných konstrukcí orientovaných především na jižní stranu, které mají obecně horší tepelně technické vlastnosti než neprůhledná stěna, ale zároveň vysoké tepelné zisky, se kterými metoda neuvažuje.

Tato metoda tedy není vzhledem k jejím nedostatkům vhodná pro vyhodnocování potřeby tepla pro porovnávání budov, nebo pro návrh technologie. Je ale možné jí využít pro hrubý odhad s použitím opravného součinitele, především u rodinných a bytových domů starší zástavby. Například při výpočtu velkého množství domů pro orientační dimenzování soustavy centrálního zásobování teplem. [2] [5]

3.2 Výpočet teoretické potřeby tepla dle ČSN EN ISO 52016-1

Výpočet teoretické potřeby tepla dle ČSN EN ISO 52016-1 je výrazně podrobnější a tím také složitější než výpočet denostupňovou metodou. Tato metoda uvažuje solární tepelné zisky Q_{sol} a vnitřní tepelné zisky Q_{int}, které odečítá od potřeby tepla $Q_{H,int}$ stanovené obdobným způsobem, jako u denostupňové metody (bez opravného součinitele). Aby bylo možné vypočítat solární tepelné zisky, musí se vypočítat plochy průhledných a neprůhledných ploch rozdělené podle orientace vůči světovým stranám. U průhledných ploch se dále musí specifikovat velikost rámu, resp. průhledná plocha okna, součinitel stínění a celkovou propustnost zasklení – vlastnosti použitých oken a stínících prvků. Pokud se výpočet provádí za účelem potřeby tepla na vytápění, hledá se nejnižší možný součinitel stínění.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,\mathrm{int}} - \eta_H \cdot (Q_{\mathrm{int}} + Q_{sol}) \tag{3}$$

V průběhu roku se mění využitelnost tepelných zisků, proto je ve výpočtu zahrnut faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění η_H, který závisí na akumulačních

schopnostech budovy a poměru tepelných zisků a potřeby tepla budovy. Výsledná hodnota je dále upravena parametrem f_H, který vyčísluje část měsíce, ve kterém musí být zóna vytápěna.

Pro účely průkazu ENB se používá výpočet teoretické potřeby energie podle této normy (ČSN EN ISO 52016-1) pro vytápění, chlazení a vlhčení, a to pro posuzování obytných i nebytových budov. Do konce roku 2022 je možné výpočet provádět s měsíčním krokem, ale od 1. ledna 2023 se musí výpočet potřeby energie na vlhčení, potřeba energie na chlazení (a výroba elektrické energie) počítat maximálně s hodinovým rokem. Při těchto bilancích závisí výsledná potřeba energie především na podmínkách v průběhu dne, protože chlazení i vlhčení výrazně závisí na přítomnosti osob v budově a aktuální venkovní teplotě a vlhkosti. Průměrné měsíční hodnoty zavádějí moc vysokou chybu do celého výpočtu.

Tato metoda má mimo jiné dvě výrazné nevýhody, které snižují přesnost výpočtu. K jejich eliminaci by musel být celý výpočet proveden s hodinovým. Zároveň by výpočet potřeboval ještě více vstupních údajů, avšak tím by se zkomplikoval a prodloužil. V praktické části se tato práce věnuje její přesnosti a vyhodnocení chyby výpočtu oproti reálné potřebě tepla u tří rodinných domů.

Solární zisky se podle této normy (ČSN EN ISO 52016-1) počítají pro průsvitné i neprůsvitné konstrukce. V případě neprůsvitné konstrukce tedy uvažujeme tepelné ztráty každou stěnou proti aktuální (průměrné) venkovní teplotě a od té dále odečítáme tepelné zisky touto konstrukcí. Toto zjednodušení vnáší chybu do výpočtu. U reálné budovy dojde k ohřátí povrchu ozářené stěny a tím se snižuje tepelná ztráta dané konstrukce. Pokud je teplota vnějšího povrchu stěny vyšší než teplota vzduchu za konstrukcí, dochází ke zvýšení teploty stěny až do té míry, že konstrukcí je do místnosti dodáván tepelný výkon – tepelné zisky.

Další chyba do výpočtu je vnesena neuvažováním akumulace neochlazovaných (vnitřních) konstrukcí. Pokud jsou tepelné zisky vyšší než tepelná ztráta místnosti, dojde ke zvyšování teploty vzduchu v místnosti. Dokud teplota nepřesáhne v místnosti například 25 °C, nedochází k aktivaci pasivního stínění či chlazení. Současně se zvyšující se teplotou vzduchu v místnosti dochází ke zvyšování teploty povrchu neochlazovaných (a ochlazovaných) stěn. Jakmile začnou opět převažovat tepelné ztráty nad tepelnými

zisky, teplota vzduchu v místnosti se začne snižovat. Pokud ale došlo k naakumulování tepla do vnitřních konstrukcí, bude ochlazování výrazně pomalejší. [7] [16]

4 VÝPOČET SKUTEČNÉ POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Aby bylo možné vypočítat skutečnou potřebu energie na vytápění v budově, musí se vypočítaná teoretická potřeba tepla podělit účinnostmi, se kterými do budovy teplo dodáváme. Mezi tyto účinnosti patří účinnost výroby energie v příslušném zdroji tepla $\eta_{H,gen}$, účinnost distribuce tepla $\eta_{H,dis}$ a účinnost sdílení tepla $\eta_{H,em}$. V případě použití akumulace otopné vody se musí započítat také ztráta zásobníku.

Účinnost výroby energie se stanoví z technické specifikace zdroje tepla pro příslušné teplotní podmínky otopné soustavy (teplotní spád). Pokud nejde dohledat technický list produktu, je možné hodnotu stanovit z tabulek v kapitole A.1.1 v normě ČSN 73 0331-1.

Účinnost distribuce tepla reprezentuje ztráty mezi zdrojem tepla a koncovými prvky (např. otopnými tělesy). Tuto hodnotu je také možné zvolit z tabulky v normě ČSN 73 0331-1. Hodnota se volí podle střední teploty otopné vody a dále se určí, zda je minimálně 20 % délky rozvodů vedeno v nevytápěných a temperovaných prostorách, nebo zda je minimálně 80 % rozvodů vedeno ve vytápěných prostorách (kde rozvody v nevytápěných prostorách jsou izolovány podle platné legislativy). Podle stavu otopné soustavy se pak hodnota účinnosti pohybuje mezi 85 a 93 % viz Tab. 4.

Tab. 4: Typické hodnoty účinnosti distribuce tepla [17]

ϑ_m (°C)	$\eta_{H,dis}$ (–)	
	min. 20 % délky rozvodů vedeno v nevytápěných a temperovaných prostorách	min. 80 % délky rozvodů vedeno ve vytápěných prostorách, rozvody v nevytápěných prostorách jsou izolovány podle platné legislativy[3]
> 60	0,85	0,90
≥ 45	0,87	0,92
< 45	0,89	0,93

Norma dále nabízí podrobnější způsob výpočtu, který závisí na účinnosti sdílení tepla, roční teoretické potřebě tepla na vytápění, době provozu teplovodní soustavy za rok, délce rozvodů soustavy a jejich měrné tepelné ztrátě. V dokumentu ale není dále

specifikováno, jestli se do výpočtu zahrnuje i délka rozvodů ve vytápěné zóně, kde se tepelná ztráta rozvodů stále podílí na pokrytí tepelné ztráty vytápěné zóny.

Tab. 5: Typické účinnosti sdílení tepla [17]

Způsob vytápění	$\eta_{H,em}$ (–)
Teplovodní otopná soustava s deskovými otopnými tělesy s termostatickou hlavicí (2 K), umístěnými u vnější stěny	0,88
Teplovodní podlahové vytápění provedenémokrým způsobem s regulací podle řídicí místnosti	0,83
Teplovzdušný systém pro bytové domy s centrální regulací zdroje tepla a regulací teploty přiváděného vzduchu podle referenční místnosti	0,92
Teplovzdušný systém pro nebytové budovy s regulací teploty přiváděného vzduchu podle teploty vzduchu v místnosti	0,85
Elektrické přímotopy (P regulace)	0,91
Elektrické přímotopy (PI regulace)	0,96
Plošné elektrické akumulační vytápění (P regulace – pásmo proporcionality 1 K)	0,84
Plošné elektrické vytápění přímotopné (P regulace – pásmo proporcionality 1 K)	0,89
Elektrické přímotopné sálavé panely (P regulace – pásmo proporcionality 1 K)	0,89
Plošné elektrické akumulační vytápění (PI/PID regulace s možností ovládání každé místnosti/zóny místnosti, pásmo proporcionality 0,3 až 0,5 K)	0,86
Plošné elektrické vytápění přímotopné (PI/PID regulace s možností ovládání každé místnosti/zóny místnosti, pásmo proporcionality 0,3 až 0,5 K)	0,96
Elektrické přímotopné sálavé panely (PI/PID regulace s možností ovládání každé místnosti/zóny místnosti, pásmo proporcionality 0,3 až 0,5 K)	0,96
POZNÁMKA PID regulátor – spojitá regulace, složená z proporcionální, integrační a derivační části. Do regulátoru vstupuje regulační odchylka a vystupuje akční veličina. PI regulátor – spojitá integrační regulace, má přechodovou odezvu v podobě lineárně narůstající veličiny – integruje konstantu (přechodový skok). P regulátor – proporcionální regulace, základní regulátor s konstantní regulační odchylkou (pásmo proporcionality).	

Účinnost sdílení tepla vyjadřuje schopnost otopných prvků sdílet teplo do vytápěného prostoru. Pokud není možné tuto hodnotu stanovit přesnějším výpočtem, je možné opět uvažovat typické hodnoty uvedené v normě ČSN 73 0331-1 viz Tab. 5. Typické hodnoty uváděné normou se pohybují mezi 84 a 96 %. Přesnější výpočet závisí v případě otopných těles na účinnosti regulace pokojové teploty, teplotním rozdílu vzhledem k vnitřní výpočtové teplotě a měrné tepelné ztrátě vnějších stavebních konstrukcí (umístění otopné plochy u vnitřní či vnější stěny). V případě stavebně integrovaných otopných ploch (podlahové, stěnové vytápění) závisí účinnost sdílení tepla na způsobu regulace pokojové teploty, soustavě plošného vytápění (mokrý/suchý systém pokládky podlahového vytápění, stropní vytápění) a na měrné tepelné ztrátě instalovaných ploch (množství izolace pod otopnou plochou).

Jednotlivé hodnoty pro přesnější stanovení účinnosti distribuce a sdílení tepla dosazujeme z tabulek přiložených v normě ČSN 73 0331-1. Teoreticky je možné

jednotlivé účinnosti stanovit přesným výpočtem dle souboru norem ČSN EN 15316, ale v praxi bychom byli zahlceni nepřeberným množstvím teplot, které často ani nemáme možnost naměřit. [12] [13] [14] [15] [17]

5 POSUZOVANÉ DOMY

Pro posouzení odchylek výpočtu potřeby tepla na vytápění jsou vybrané tři rodinné domy s odlišným rokem výstavby (RD 1930, RD 2005, RD 2015) a tudíž i tepelně technickými vlastnostmi. U zmíněných domů jsou k dispozici faktury za spotřeby elektrické energie, zemního plynu a kusového dřeva. Spotřeby energií je nutné přepočítat pomocí denostupňů na ekvivalentní reálné potřeby tepla na vytápění v referenčním roce, aby bylo možné výsledné hodnoty porovnat. Pro porovnání jsou zvoleny především tři způsoby výpočtu. Tyto způsoby se liší náročností stanovení vstupních údajů a ve výsledku také přesností, resp. výslednou hodnotou. Dále je provedeno několik různých verzí výpočtu pro stanovení vlivu změny dané veličiny na teoretickou potřebu tepla na vytápění v budově. Veškeré výpočty jsou provedeny v softwaru *Energie 2021* a vychází ze stejných skladeb jednotlivých konstrukcí a ze stejné geometrie, pokud není v daném způsobu uvedeno jinak.

Prvním způsobem je obecný způsob (dále pro přehlednost označen jako „A“ případně doplněn variantami „A.1“ apod.), ve kterém se postupuje nejméně přesnou formou – k výpočtu jsou používány převážně typické hodnoty uvedené v tabulkách norem, ze kterých výpočet vychází. Výpočet je plně v souladu s platnou vyhláškou č. 264/2020, Sb., to znamená, že jsou dodrženy požadavky na výpočet v této vyhlášce. Pro výpočet jsou uvažovány veškeré vytápěné prostory jako jedna zóna s typickým profilem užívání „RD – obytné prostory“ dle normy ČSN 73 0331-1. Faktor stínění horizontu F_{hor} je pro veškerá okna stanoven na hodnotu 0,75 dle vyhlášky č. 264/2020, Sb. a podíl prosklené plochy je stanoven na 0,75 dle doporučené fixní hodnoty v ČSN EN ISO 52016-1. Průvzdušnost budovy je stanovena podle ČSN 73 0540-2. Účinnost zdroje tepla je stanovena podle dokumentace k danému spotřebiči. Účinnost sdílení a distribuce tepla je stanovena přímo z tabulek v normě ČSN 73 0331-1.

Druhý, přesnější výpočet (dále pro přehlednost označen jako „B“) je v případě RD 1930 a RD 2005 rozdělen na dvě varianty (dále pro přehlednost označeno jako „B.1“ resp. „B.2“). Většina vstupních parametrů je stejná jako v předchozím výpočtu, pouze s upřesněním faktoru horizontálního stínění a podílu prosklené plochy. Šířka rámu oken je uvažována 6 cm, v případě dvoukřídlého okna uvažuji navíc 8 cm rámu ve středové části okna. Účinnost sdílení a distribuce tepla je stanovena podrobnějším výpočtem dle ČSN 73 0331-1. Většina dalších vstupních údajů je vázaná vyhláškou č. 264/2020 Sb.

takže by průkaz ENB při jejich změně nebyl platný. V první variantě, výpočtu „B.1“, je definována pouze jedna vytápěná zóna. V druhé variantě „B.2“ je budova rozdělena na dvě zóny – prostor bytu a na prostory domovní komunikace. Tato změna umožní změnit profil užívání v těchto „nebytových“ prostorách, kde největší vliv má teplota vzduchu (16 °C) a intenzita větrání (0,1 1/h). Tento postup sníží teoretickou potřebu tepla na vytápění, ale z pohledu správnosti vstupních parametrů také není zcela korektní. V rodinných domech, v prostorách bytu se většinou udržuje teplota 22 °C a v chodbách rodinných domů často není možné udržet jinou teplotu než v pobytových prostorách vzhledem k jejich propojení. V případě RD 1930, kde se jedná o dvougenerační dům s dvěma byty oddělenými chodbou, je teplota vzduchu na chodbě nižší než v obytných místnostech, ale stále vyšší než 16 °C. V případě RD 2015 jsou stejně jako ve většině rodinných domů obytné místnosti přímo propojeny s chodbami. Rozlišování domovních komunikací a obytných prostor nedává tedy smysl. Zónování budovy hraje významnou roli při výpočtu průkazu ENB u bytových domů, kde jsou obytné a nebytové prostory jasně rozlišeny.

Třetí výpočet (dále pro přehlednost označen jako „C“, případně doplněn variantami „C.1“ apod.) přejímá vstupní hodnoty z druhého výpočtu, zachovává ale zónování z obecného, prvního způsobu výpočtu – vytápěné prostory jsou jednou zónou se stejným profilem užívání. Tento výpočet se pokusí přiblížit korektním vstupním údajům pomocí vytvoření vlastního profilu užívání. Tento výpočet tedy není v praxi využitelný ve výpočtu dle vyhlášky č. 246/2020, Sb., neboť ta přikazuje v obytných budovách využití typického profilu užívání. Hlavní změnou bude intenzita výměny vzduchu v zóně, počet osob, jejich přítomnost a teplota vnitřního vzduchu, která je stanovena váženým průměrem naměřených teplot přes plochu místností. Měření teplot všech tří domů bylo provedeno v první polovině února v ranních hodinách, aby teplotu vzduchu v místnostech neovlivňovaly tepelné zisky z oslunění, ale pouze otopná soustava a její regulace. Účinnost sdílení a distribuce tepla je stanovena opět podrobnějším výpočtem dle ČSN 73 0331-1.

Veškeré vypočítané hodnoty skutečné potřeby tepla na vytápění následně porovnávám s průměrnou reálnou potřebou tepla na vytápění pro referenční klimatický rok dané budovy, která je vypočítána v kapitole „Reálná potřeba tepla na vytápění přepočítaná na referenční klimatické podmínky“ v úvodním popisu budovy.

5.1 RD 1930

Nejstarším domem je dvoupodlažní, částečně podsklepený rodinný dům z roku 1930 se dvěma bytovými jednotkami. Do roku 2013 byla vyměněna okna za plastová, byla zateplena koupelna v 1NP (na vnitřním povrchu konstrukce), zateplena střecha a vestavěno sádrokartonové bednění v jedné místnosti v 1NP. Zbylé stěny jsou bez tepelné izolace. Od již sledovaného roku 2015 se na budově neprovedly z tepelně technického hlediska žádné změny.

5.1.1 Analýza domu

Dům je využíván dvěma seniory a jednou osobou mezi 20 a 30 lety s dítětem do pěti let.

Technická zařízení

V domě je plynový kotel na zemní plyn VIADRUS G27K o jmenovitém tepelném výkonu 22,5 kW s účinností 93 % (84 % vztažená ke spalnému teplu). Ohřev teplé vody je opět pomocí zemního plynu – Stiebel Eltron 8,6 kW s účinností 85 % s akumulační nádobou o objemu 115 l (stálá tepelná ztráta 75 W). Teplo je v budově distribuováno do litinových článkových otopných těles umístěných pod okny pomocí otevřené dvoutrubkové otopné soustavy. Regulace je zajištěna místně pomocí termostatických hlavic. Proudění otopné vody je zajišťováno pomocí oběhového čerpadla se skokovou změnou otáček (3 stupně).

Účinnosti distribuce a sdílení tepla jsou při volbě dle tabulek rovny $\eta_{H,dis}$ = 0,9 a $\eta_{H,em}$ = 0,88. U přesnějšího výpočtu „B“, kde uvažujeme délku rozvodu vytápění pouze mimo vytápěné místnosti – v suterénu, která je 6 m, je účinnost distribuce tepla $\eta_{H,dis}$ = 0,99. Potrubí DN 32 je opatřeno izolací o tloušťce 20 mm. Měrná tepelná ztráta potrubí je tedy v suterénu 15,5 W/m, se střední teplotou vzduchu v průběhu otopného období 8 °C. Délku rozvodů zadávám pouze v nevytápěných místnostech z toho důvodu, že tepelné ztráty rozvodů ve vytápěných místnostech se podílejí na vytápění těchto místností. Účinnost sdílení tepla je při podrobnějším výpočtu obdobná, $\eta_{H,em}$ = 0,885.

Konstrukce

Obvodová stěna je složená z pálených cihel 450 mm a 300 mm (účinná tepelná kapacita 260 kJ/m^{2}K). V prádelně je stěna doplněna o sádrokartonovou předezdívku se

vzduchovou mezerou 120 mm. V koupelně v 1NP je na vnitřní straně přidán polystyren 30 mm. Střecha je složená ze dřeva a minerální vlny 160 mm. Stropní konstrukce pod půdou je složena ze dřeva, minerální vlny 140 mm, polystyrenu 100 mm a betonu jako nášlapné vrstvy. Podlaha do suterénu je složena z betonu a uhelné škváry 100 mm. U podlahy v kontaktu se zeminou je nášlapná vrstva dřevo či beton a 150 mm škváry. Okna jsou plastová se součinitelem prostupu tepla 1,5 W/m^{2}K a vchodové dveře 2,4 W/m^{2}K. Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} = 0,95 W/m^{2}K.

Zóny

Budova je pro účely výpočtu rozdělena do tří zón. Zóna 1 je obytná zóna domu včetně chodby, s upravovaným vnitřním prostředím. Zóna 2 a 3 jsou nevytápěné zóny – suterén a veranda.

5.1.2 Reálná potřeba tepla na vytápění přepočítaná na referenční klimatické podmínky

Fakturovaná spotřeba plynu je společná za vytápění a ohřev teplé vody. K získání relativní hodnoty spotřeby plynu na vytápění je proveden výpočet spotřeby tepla na ohřev TV, který je získán výpočtem objemu spotřebované TV podle užívání kuchyní a koupelen v tomto domě. Z vypočítané hodnoty spotřebované TV lze pomocí účinnosti výroby tepla a tepelných ztrát zásobníku a rozvodů získat separátní hodnoty spotřeby plynu na ohřev TV, resp. spotřebu tepla na vytápění.

Tab. 6: RD 1930 – Výpočet reálné potřeby tepla na vytápění přepočítané na referenční klimatické podmínky z fakturované spotřeby tepla na vytápění a ohřev TV

Začátek účtovacího období	Konec účtovacího období	Dodané množství tepla (zemního plynu) [kWh]	Vypočítaná spotřeba tepla na ohřev TV [kWh/rok]	Reálná spotřeba plynu na VYT [kWh/rok]	Denostupňů v daném období	Denostupňů při ref klimatu	Reálná potřeba tepla na VYT pro referenční rok [kWh/rok]	**Průměrná reálná potřeba tepla na VYT pro ref. rok [kWh/rok]**
04.08.2020	09.08.2021	31 565	2 677	28 851	3 776	3 750	28 654	**23 929**
13.08.2019	03.08.2020	25 733		23 122	3 336		25 991	
15.08.2018	12.08.2019	22 465		19 810	3 387		21 930	
01.08.2017	14.08.2018	22 979		20 206	3 140		24 133	
07.08.2016	31.07.2017	24 846		22 220	3 659		22 773	
08.08.2015	06.08.2016	20 815		18 146	3 387		20 090	

Dodané množství plynu je stanovené z faktur od dodavatele plynu. Reálná spotřeba plynu na vytápění je stanovena z rozdílu dodaného množství plynu a vypočítané spotřeby plynu na ohřev teplé vody. Spotřeba plynu na ohřev TV je stanovena z předpokládané denní spotřeby TV – 4x za den sprcha (3,5 min s průtokem 6,5 l/min) + 3x denně významnější mytí nádobí (spotřeba vody 10 l) (ve 2NP je myčka nádobí). Studenou vodu předpokládám o teplotě 10 °C, teplou vodu o teplotě 55 °C a teplotu odebírané vody 38 °C. Do výpočtu je také zahrnuta tepelná ztráta zásobníku TV a tepelná ztráta rozvodů tepla. Ta je do výpočtu zohledněna jako ochlazení vody na teplotu okolí po každém mytí nádobí a po každé druhé sprše – celoročně v nevytápěných místnostech a ve vytápěných místnostech pouze mimo otopné období. V otopném období se tepelná ztráta z rozvodů teplé vody ve vytápěných místnostech podílí na vytápění místnosti. Celková vypočítaná spotřeba tepla na ohřev TV je tedy 7 334 Wh/den (viz Tab. 7), tedy 2 677 kWh/rok (viz Tab. 6). Spotřeba tepla na ohřev TV je záměrně na spodní hranici reálného stavu z důvodu získání maximální reálné potřeby tepla na vytápění v rámci reálného užívání.

Tab. 7: RD 1930 – Stanovení spotřeby tepla na ohřev TV

	Počet odběrů za den	Spotřeba vody [l/den]	Spotřeba TV [l/den]	Spotřeba tepla [Wh/den]
Mytí nádobí	3	30	18,6667	975
Sprcha	4	91	57	2958
			Potřeba tepla na ohřev TV	3933
			Tepelné ztráty zásobníku	1800
			Tepelné ztráty rozvodů	501
			Celková spotřeba tepla na ohřev TV [Wh/den]	**7334**

Hodnota vypočítané spotřeby tepla na vytápění v daném období je dále přepočítána pomocí denostupňů na reálnou potřebu tepla na vytápění v referenčním klimatickém roce. Teploty venkovního vzduchu v daném fakturovaném období jsou určeny podle Českého hydrometeorologického ústavu pro Prahu a Středočeský kraj [6] a počet dnů otopného období z webu tzb.info [10]. Teoreticky by reálná potřeba tepla na vytápění po přepočtu na referenční rok měla být konstantní, v tomto případě se ale hodnoty liší až o 20 % (viz předposlední sloupec v Tab. 6). Tato odchylka je dána především nerovnoměrným užíváním budovy. Výsledná průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok je tedy 23 929 kWh/rok (viz Tab. 6). [7]

5.1.3 Výsledná skutečná potřeba tepla na vytápění pro dané způsoby výpočtu

Obecný výpočet „A.1“

Tab. 8: RD 1930, A.1 – Výpočet teoretické potřeby tepla při obecných vstupních parametrech, plošném zadání F_{hor} a poměru zasklení oken

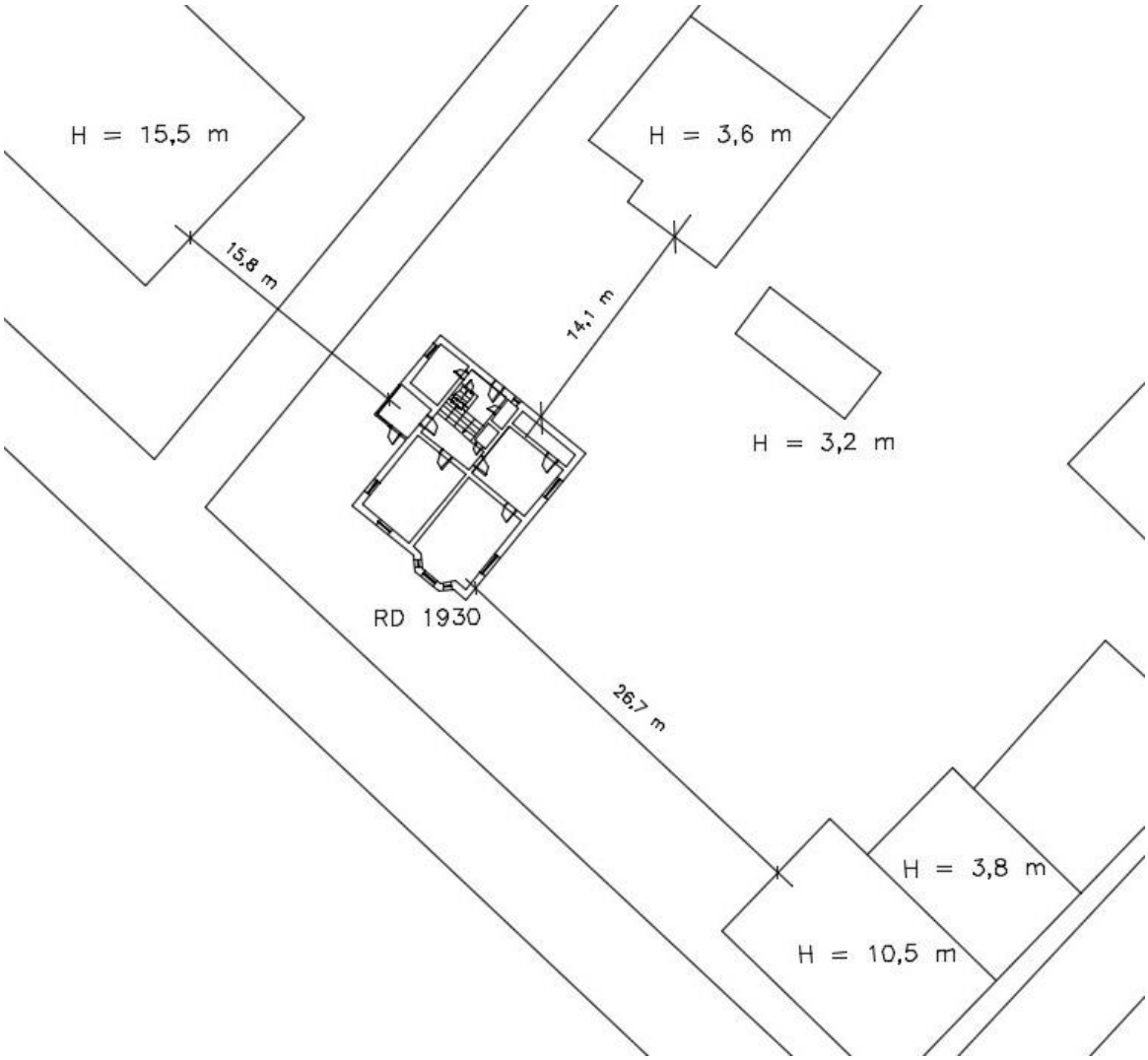
Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	8,725	0,385	--------	0,041	0,426	1	100	8,299
2	7,44	0,336	--------	0,24	0,576	0,999	100	6,865
3	6,693	0,339	--------	0,53	0,869	0,996	100	5,828
4	4,747	0,313	--------	0,865	1,178	0,981	100	3,592
5	2,794	0,306	--------	0,99	1,297	0,924	100	1,595
6	1,605	0,294	--------	0,978	1,271	0,803	100	0,584
7	0,888	0,302	--------	0,905	1,207	0,607	100	0,156
8	0,929	0,306	--------	0,929	1,236	0,615	100	0,168
9	2,626	0,315	--------	0,611	0,926	0,958	100	1,739
10	4,824	0,338	--------	0,437	0,776	0,993	100	4,054
11	6,674	0,351	--------	0,123	0,474	0,999	100	6,201
12	7,994	0,383	--------	-0,008	0,375	1	100	7,619
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					**46,700**

Při obecném výpočtu popsaném na začátku kapitoly 5, vyšla celková teoretická potřeba tepla 46 700 kWh/rok. Pro tento výpočet byla zadána průvzdušnost obálky n_{50} = *4,5 1/h* dle ČSN 73 0540-2 pro budovu s přirozeným větráním, úroveň I. Při uvažování účinnosti distribuce tepla (dle normy ČSN 73 0331-1, tabulka A.20) 90 % a účinnosti sdílení tepla (tabulka A.24) 88 %, dostáváme celkovou skutečnou potřebu tepla na vytápění 68 807 kWh. Hodnota je o 188 % vyšší, než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok (23 929 kWh/rok), tedy téměř trojnásobná.

Přesnější výpočet „B.1“

Faktor stínění horizontu F_{hor} je stanoven ze situace RD 1930. Na JV a SV straně domu jsou rodinné domy. Na SZ straně je vyšší budova mateřské školky. Ve výpočtu je také snížena průvzdušnost obálky budovy na přirozeně větranou budovu, úroveň II – na n_{50} = *3 1/h*.

Při výpočtu s uvažováním okolní zástavby a přesným poměrem zasklení oken se je teoretická potřeba tepla na vytápění nižší o 1 871 kWh, tedy o 4 %. Solární tepelné zisky jsou zvýšené o 863 kWh, tedy o 13 %.



Obr. 2: RD 1930 - Situace pro určení F_{hor}

Tab. 9: RD 1930, B.1 – Teoretická potřeba tepla při přesnějším zadávání vstupních hodnot

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	8,521	0,385	--------	0,079	0,464	1	100	8,057
2	7,267	0,336	--------	0,289	0,625	0,999	100	6,642
3	6,538	0,339	--------	0,601	0,94	0,995	100	5,603
4	4,638	0,313	--------	0,956	1,269	0,977	100	3,399
5	2,732	0,306	--------	1,089	1,395	0,911	100	1,460
6	1,57	0,294	--------	1,072	1,365	0,776	100	0,510
7	0,87	0,302	--------	1	1,301	0,571	30,5	0,127
8	0,909	0,306	--------	1,032	1,338	0,577	41	0,137
9	2,567	0,315	--------	0,687	1,002	0,949	100	1,616
10	4,714	0,338	--------	0,505	0,843	0,992	100	3,878
11	6,519	0,351	--------	0,167	0,517	0,999	100	6,002
12	7,808	0,383	--------	0,027	0,41	1	100	7,398
	Celkové roční solární tepelné zisky [MWh]			**7,504**	**Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]**			**44,829**

Celková teoretická potřeba tepla je tedy 44 829 kWh. Ta je oproti obecnému výpočtu (A.1) vlivem zvýšení tepelných zisků a snížení průvzdušnosti obálky budovy nižší. Oproti reálnému stavu je ale při použití obecných účinností distribuce a sdílení tepla stále o 174 % vyšší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok. Pokud bychom použili přesnější výpočet účinností se zanedbáním tepelných ztrát rozvodů ve vytápěné zóně (viz kapitola 4), pak bude výsledná spotřeba 61 033 kWh za rok. Tato hodnota je o 155 % vyšší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

Přesnější výpočet s rozdělením na obytné prostory a domovní komunikace „B.2“

Tab. 10: RD 1930, B.2 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla obytných prostor

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	5,662	0,265	--------	0,119	0,384	0,999	100	5,278
2	4,83	0,231	--------	0,286	0,518	0,998	100	4,313
3	4,349	0,233	--------	0,534	0,768	0,993	100	3,587
4	3,09	0,215	--------	0,796	1,011	0,967	100	2,111
5	1,825	0,211	--------	0,886	1,097	0,882	100	0,857
6	1,054	0,202	--------	0,853	1,056	0,73	100	0,283
7	0,589	0,208	--------	0,803	1,011	0,518	1,2	0,065
8	0,615	0,211	--------	0,863	1,074	0,511	20,3	0,066
9	1,715	0,217	--------	0,596	0,812	0,926	100	0,963
10	3,14	0,233	--------	0,472	0,705	0,987	100	2,445
11	4,336	0,241	--------	0,195	0,436	0,998	100	3,901
12	5,189	0,264	--------	0,078	0,341	0,999	100	4,848
		Roční potřeba tepla na vytápění obytné zóny [MWh]						**28,717**

Při tomto výpočtu jsou přebrány veškeré vstupní hodnoty z předcházejícího výpočtu. Jedinou změnou je rozdělení obytných prostorů a nebytových prostorů (domovních komunikací) na dvě samostatné zóny s odlišným profilem využívání. Touto úpravou lze předpokládat snížení teoretické potřeby tepla. Vstupní údaje do výpočtu ale nejsou korektní z pohledu vnitřních výpočtových teplot – viz úvod kapitoly 5.

Tab. 11: RD 1930, B.2 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla domovních komunikací

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	2,447	0,011	--------	-0,086	-0,075	1	100	2,521
2	2,057	0,009	--------	-0,004	0,005	1	100	2,052
3	1,741	0,008	--------	0,104	0,112	0,999	100	1,630
4	1,085	0,006	--------	0,237	0,243	0,978	100	0,847
5	0,389	0,005	--------	0,302	0,307	0,781	50	0,149
6	-0,004	0,005	--------	0,308	0,312	1	0	--------
7	-0,271	0,005	--------	0,27	0,275	1	0	--------
8	-0,257	0,005	--------	0,243	0,249	1	0	--------
9	0,349	0,007	--------	0,13	0,136	0,932	50	0,222
10	1,093	0,008	--------	0,054	0,062	0,999	100	1,031
11	1,753	0,009	--------	-0,058	-0,048	1	100	1,802
12	2,193	0,011	--------	-0,106	-0,095	1	100	2,287
		Roční potřeba tepla na vytápění neobytné zóny[MWh]						**12,541**

Celková teoretická potřeba tepla na vytápění je tedy 41 258 kWh, o 3 571 kWh (8 %) nižší než v předchozím případě (B.1). Při výpočtu s přesnějšími účinnostmi distribuce a sdílení tepla získáme celkovou skutečnou potřebu tepla 56 172 kWh za rok. Hodnotu o 135 % vyšší, než je průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

Výpočet obálkovou metodou s reálným profilem užívání „C.1“

Tab. 12: RD 1930, C.1 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla s reálným profilem užívání

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	7,801	0,426	--------	0,079	0,505	1	100	7,296
2	6,648	0,376	--------	0,289	0,666	0,999	100	5,983
3	5,963	0,392	--------	0,601	0,993	0,994	100	4,975
4	4,21	0,369	--------	0,956	1,324	0,973	100	2,922
5	2,486	0,368	--------	1,09	1,458	0,893	100	1,184
6	1,558	0,355	--------	1,072	1,427	0,768	100	0,463
7	0,934	0,365	--------	1,005	1,37	0,585	30,4	0,133
8	0,971	0,368	--------	1,037	1,405	0,59	41	0,142
9	2,316	0,37	--------	0,688	1,058	0,936	100	1,326
10	4,274	0,392	--------	0,505	0,897	0,99	100	3,387
11	5,948	0,396	--------	0,167	0,563	0,999	100	5,385
12	7,139	0,425	--------	0,027	0,452	1	100	6,687
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					**39,883**

Při tomto výpočtu jsou použity vstupní údaje s přesnějším stanovením vstupních hodnot, ale se zachováním jedné zóny pro vytápěné prostory. Změnou při tomto výpočtu je použitý profil užívání budovy, který je upraven tak, aby byl co nejblíže reálnému užívání. Teplota v zóně je dle naměřených hodnot 20,32 °C, intenzita výměny vzduchu 0,1 1/h a obsazenost je 77 m2/os s přítomností osob 80 %. Zároveň je snížena průvzdušnost obálky budovy na n_{50} = 2,5 1/h dle tabulek z TNI 73 0329 za účelem maximálního snížení teoretické potřeby v rámci korektnosti dle aktuálních norem. Výpočet teoretické potřeby tepla s reálným profilem užívání není v praxi možný (viz vyhláška č. 264/2020, Sb.). [12] [19]

Výsledné hodnoty teoretické potřeby tepla jsou o 4 946 kWh (11 %) nižší, než ve výpočtu s přesnějším faktorem stínění horizontu s jednou vytápěnou zónou (B.1). Celková skutečná potřeba tepla je 54 299 kWh. Tedy o 127 % vyšší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

Výpočet obálkovou metodou s reálným profilem užívání pro klimatické podmínky v roce 2016–2017 „C.2“

Pro zvýšení přesnosti, resp. eliminaci případné chyby přepočtu spotřeby tepla na referenční klimatické podmínky, jsem výpočet provedl s průměrnými měsíčními hodnotami pro rok 2016–2017 dle Českého hydrometeorologického ústavu pro Prahu a Středočeský kraj [10].

Tab. 13: RD 1930, C.2 – Výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění s reálným profilem a klimatickými daty v roce 2016-2017

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	9,159	0,426	--------	0,079	0,505	1	100	8,653
2	6,013	0,376	--------	0,289	0,666	0,998	100	5,348
3	4,857	0,392	--------	0,601	0,993	0,99	100	3,874
4	4,348	0,369	--------	0,956	1,324	0,974	100	3,058
5	2,103	0,368	--------	1,087	1,455	0,853	92,4	0,862
6	0,616	0,355	--------	1,041	1,396	0,441	0	--------
7	1,115	0,365	--------	1,013	1,378	0,654	62	0,214
8	1,299	0,368	--------	1,048	1,417	0,703	100	0,303
9	1,287	0,37	--------	0,68	1,05	0,806	100	0,441
10	4,307	0,392	--------	0,505	0,897	0,99	100	3,419
11	5,979	0,396	--------	0,167	0,563	0,999	100	5,417
12	7,135	0,425	--------	0,027	0,452	1	100	6,683
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					**38,272**

Fakturovaná spotřeba plynu za vytápění je v tomto roce 22 220 kWh (Tab. 6, pátý sloupec). Celková skutečná potřeba tepla na vytápění je při zadaných venkovních teplotách v tomto období 52 106 kWh za rok 2016-2017. To je o 134 % více než fakturovaná spotřeba tepla snížená o spotřebu tepla na ohřev TV.

Obecný výpočet se sníženým součinitelem prostupu tepla pálených cihel „A.2“

Tab. 14: RD 1930, A.2 – Výpočet teoretické potřeby tepla při snížení součinitele prostupu tepla pálených cihel o 20 %

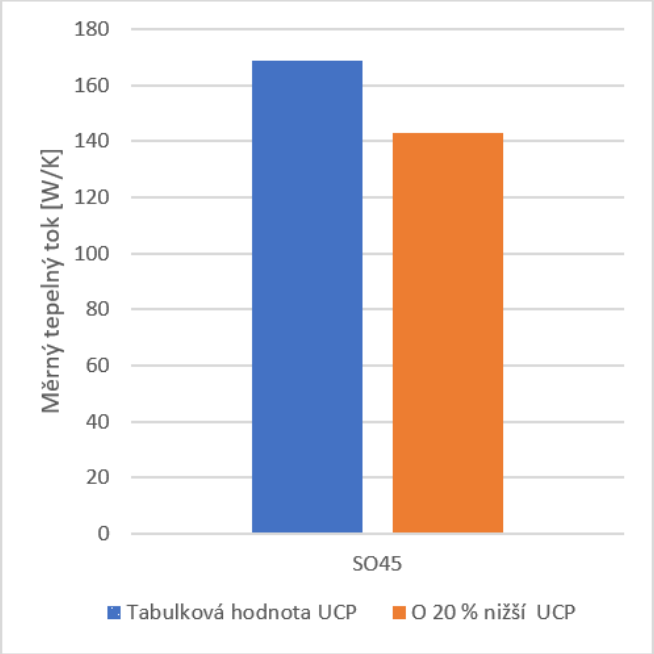
Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	8,139	0,385	--------	0,053	0,438	1	100	7,702
2	6,941	0,336	--------	0,23	0,566	0,999	100	6,375
3	6,245	0,339	--------	0,492	0,831	0,997	100	5,417
4	4,431	0,313	--------	0,793	1,106	0,983	100	3,343
5	2,61	0,306	--------	0,906	1,212	0,931	100	1,481
6	1,501	0,294	--------	0,892	1,186	0,813	100	0,537
7	0,833	0,302	--------	0,831	1,133	0,613	100	0,139
8	0,871	0,306	--------	0,855	1,161	0,621	100	0,150
9	2,453	0,315	--------	0,565	0,881	0,961	100	1,607
10	4,503	0,338	--------	0,409	0,748	0,994	100	3,760
11	6,227	0,351	--------	0,126	0,477	0,999	100	5,751
12	7,458	0,383	--------	0,009	0,392	1	100	7,066
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					**43,328**

Často se můžeme setkat s názorem, že starší budovy mají nižší spotřebu energie na vytápění z důvodu „opatrného“ stanovení součinitele prostupu tepla stavebního materiálu v době jejich uvedení na trh (například pálených cihel). V současné době je na výrobce silný tlak na zlepšování parametrů stavebních konstrukcí, aby budovy vyhovovaly aktuálním požadavkům, a aby byli výrobci konkurenceschopní. Tento výpočet vychází z obecného výpočtu. Jedinou změnou je snížení součinitele prostupu tepla u pálených cihel, ze kterých jsou obvodové stěny, o 20 %. V případě ochlazované stěny se značením SO45 o tloušťce 450 mm, která je použita na hranici obytných místností s venkovním prostředím, z U_{CP} = 0,78 W/m^{2}K na U_{CP} = 0,624 W/m^{2}K.

Tab. 15: RD 1930 - Měrný tepelný tok ochlazovanou stěnou SO45 před a po snížení součinitele prostupu tepla pálených cihel o 20 %

	Tabulková hodnota U_{CP}		O 20 % nižší U_{CP}	
	Měrný tok [W/K]	Podíl z celku [%]	Měrný tok [W/K]	Podíl z celku [%]
SO45	168,65	30,43	142,81	27,61

Teoretická potřeba tepla na vytápění při původním obecném výpočtu je 46 700 kWh/rok (viz Tab. 8). Po snížení součinitele prostupu tepla je teoretická potřeba tepla 43 328 kWh/rok. O 3 372 kWh/rok (7 %) nižší. Z Obr. 3 je zřetelné snížení měrného tepelného toku již zmíněné obvodové stěny z pálených cihel (označení SO45). Měrný tepelný tok touto konstrukcí se snížil o 15 %. Vypočítaná spotřeba tepla je ale stále o 147 % vyšší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.



Obr. 3: RD 1930 – Měrný tepelný tok ochlazovanou stěnou SO45 při uvažování tabulkových hodnot součinitele prostupu tepla jednotlivých materiálů a při snížení součinitele prostupu tepla pálených cihel o 20 %

5.2 RD 2005

Druhým domem k porovnání je členitý třípodlažní rodinný dům ve svahu, který má uspokojivé tepelně technické vlastnosti. Vytápěný je pomocí tepelného čerpadla země – voda. Dům byl postaven v roce 2005 podle lepšího tepelně-technického standardu ve své době (viz popis níže v části Konstrukce) a nebyly u něj provedeny žádné stavební změny. Součástí 1NP je vytápěná garáž pro dvě auta.

5.2.1 Analýza domu

Dům je v posledních letech využíván pouze dvěma dospělými osobami, které tráví většinu dne v práci.

Technická zařízení

V domě je tepelné čerpadlo Viessmann Vitocal 300 země – voda o jmenovitém tepelném výkonu 10,6 kW (průměrný sezónní faktor *COP* = 4,4) s akumulační nádobou 200 litrů, které zajišťuje teplo pro vytápění. Ohřev teplé vody zajišťuje plynový kondenzační kotel Viessmann Vitodens 200 o výkonu 11 kW a účinnosti 103 % (94 % vztaženo ke spalnému teplu) s akumulační nádobou 300 l. V domě jsou také krbová kamna 6 kW (účinnost 68 %) bez výměníku tepla, která jsou většinu otopného období schopna pokrýt tepelnou ztrátu většiny 2NP.

Vytápění domu je zajištěno pomocí kombinace litinových otopných těles a podlahového vytápění. Otopná voda je v budově rozvedena pomocí dvoutrubkové uzavřené otopné soustavy s čerpadlem se skokovou změnou otáček (3 stupně). Rozvod teplé vody je vzhledem ke vzdálenosti odběrů opatřen cirkulací, která je vypnuta, pokud je dům zabezpečený.

Dům je částečně vytápěný otopnými tělesy a částečně podlahovým vytápěním. Z toho důvodu je zvolena průměrná účinnost hodnot pro otopná tělesa a plošné vytápění. Při určení účinnosti distribuce a sdílení tepla přímo z tabulek je zvolena pro otopná tělesa $\eta_{H,dis}$ = 0,9 a $\eta_{H,em}$ = 0,88 a pro plošné vytápění $\eta_{H,dis}$ = 0,92

Tab. 16: RD 2005 – Výpočet souhrnné účinnosti výroby tepla

	TČ			Krb		
	Spotřeba tepla [kWh]	Účinnost distribuce	Účinnost sdílením	Spotřeba tepla [kWh]	Účinnost výroby tepla	Celková účinnost
Obecný výpočet	12 940	0,91	0,86	3 486	0,68	0,76
Podrobný výpočet		1,00	0,87			0,83

a $\eta_{H,em}$ = 0,83. Při přesnějším výpočtu je vzhledem k umístění technické místnosti ve vytápěné prádelně, délka rozvodů mimo vytápěnou zónu nulová. Účinnost distribuce tepla je tedy $\eta_{H,dis}$ = 1, neboť tepelné ztráty potrubí slouží k vytápění místností. Pro otopná tělesa je účinnost sdílení tepla $\eta_{H,em}$ = 0,885 a pro plošné vytápění $\eta_{H,em}$ = 0,851. Výsledná účinnost sdílení tepla je tedy $\eta_{H,em}$ = 0,868. Pro přepočet teoretické potřeby tepla na vytápění na skutečnou potřebu tepla na vytápění musíme teoretickou potřebu tepla podělit souhrnnou účinností výroby tepla, určenou váženým průměrem podle spotřebovaného tepla. Výsledné celkové účinnosti pro obecný „A“ a podrobný „B, C“ výpočet jsou uvedeny v Tab. 16.

Konstrukce

Obvodová konstrukce je složená z broušených cihel 440 mm a polystyrenových desek o tloušťce 60 mm (účinná tepelná kapacita 165 kJ/m^{2}K). V 1NP, kde je v okolí garáže kamenný obklad, je tloušťka izolace pouze 30 mm. Obvodovou konstrukcí ve styku se zeminou je broušená cihla bez tepelné izolace. Střecha a strop pod půdou je složený ze dřeva či sádrokartonu, 40 mm minerální vaty mezi krokvemi a 160 mm minerální vaty v celé ploše. V podlaze na terénu je 30 mm polystyrenu a v podlaze v kontaktu s venkovním vzduchem 100 mm polystyrenu umístěného mezi betonem. Okna jsou dřevěná se součinitelem prostupu tepla 1,5 W/m^{2}K. Vstupní dveře mají součinitel prostupu tepla 1,5 W/m^{2}K a garážová vrata 1,6 W/m^{2}K. Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} je 0,39 W/m^{2}K.

Zóny

Dům byl rozdělen pro účely výpočtu na dvě zóny. Zóna 1 je obytná zóna s upravovaným vnitřním prostředím včetně chodeb a vytápěné garáže. Zóna 2 je prostor půdy, která nemá upravované vnitřní prostředí a je tepelně izolovaná od venkovního prostředí i od zóny 1.

5.2.2 Reálná potřeba tepla na vytápění přepočítaná na referenční klimatické podmínky

U tohoto domu jsou k dispozici mimo faktury za elektřinu také hodnoty celkových motohodin a průměrná doba chodu kompresoru. Tyto údaje výrazně pomohou se zpřesněním výpočtu, protože odhadovat spotřebu elektrické energie by bylo velmi náročné a nepřesné. Ze zapsaných motohodin za dané období je tedy možné pomocí

výkonu TČ stanovit spotřebu tepla pro otopnou soustavu. Z počtu startů za dané období je do výpočtu vložena také korekce, která zohledňuje dobu náběhu TČ do plného výkonu (cca 90 s).

Dalším zdrojem zajišťujícím vytápění jsou krbová kamna. Spotřeba dřeva je stanovena odhadem majitele domu. Tato informaci byla následně ověřena přeměřením objemu skladovacích míst, která se podle majitele v průběhu zimy uvolní. Odhad majitele byl 2 m^3/rok. Přeměřením jsem došel k objemu 2,4 m^3. S prostorovým plněním 70 % se dostáváme na hodnotu 1,68 m^3 plného dřeva za rok. Ve výpočtu tedy budu uvažovat 1,8 m^3 plného smrkového dřeva za otopné období. Při 20 % vlhkosti smrkového dřeva je dodané teplo do budovy ve formě kusového dřeva 3 230 kWh/rok.

Tab. 18: RD 2005 – Spotřeba dřeva

Dřevo					
Datum dodání	Spotřeba dřeva [m3]	Druh	Hmotnost (při 20% vlhkosti) [kg/rok]	Spotřeba tepla [kWh/rok]	**Spotřeba tepla při referenčních klimatických podmínkách [kWh/rok]**
Každý rok	1,8	Smrk	819	3 230	**3 486**

Tab. 17: RD 2005 –Přepočet spotřeby tepla tepelným čerpadlem na průměrnou reálnou potřebu tepla pro referenční klimatické podmínky

Datum	Délka chodu kompresoru v daném období [h]	Počet startů kompresoru v daném období	Dodané teplo TČ v daném období [kWh/obd]	Spotřeba EE v daném období [kWh/obd]	Denostupňů v daném období	Denostupňů při referenčních klimatických podmínkách	Reálná potřeba tepla na VYT pro referenční rok [kWh/rok]	Odchylka [%]	**Průměrná reálná potřeba tepla na VYT pro ref. rok [kWh/rok]**
13.10.2021	416	608	4 329	984	1 501	1 321	3 810	-13,6	
28.02.2021	2 185	3 354	22 692	5 157	5 667	6 293	25 198	9,9	
05.10.2019	2 515	3 999	26 082	5 928	6 225	7 258	30 407	14,2	
09.10.2017	779	1 105	8 113	1 844	2 230	2 176	7 916	-2,5	**12 940**
04.01.2017	408	729	4 210	957	1 424	1 453	4 295	2,0	
18.09.2016	1 024	1 669	10 610	2 411	3 280	3 692	11 944	11,2	
20.06.2015	1 144	1 744	11 884	2 701	2 899	3 566	14 620	18,7	
15.10.2014	839	1 352	8 696	1 976					

Stejně jako u RD 1930 musíme spotřeby tepla na vytápění v jednotlivých otopných obdobích přepočítat na referenční klimatické podmínky. Po přepočtu je reálná potřeba tepla vyrobeného tepelným čerpadlem pro referenční klimatický rok 12 940 kWh/rok (viz Tab. 18). Reálná potřeba tepla ve dřevě spáleném v krbu je pro referenční klimatický rok 3 486 kWh/rok (viz Tab. 17). Výsledná reálná potřeba tepla v referenčním klimatickém roce dodaného do RD 2015 je tedy 16 426 kWh/rok. [7]

5.2.3 Výsledná skutečná potřeba tepla na vytápění pro dané způsoby výpočtu

Obecný výpočet „A“

Průvzdušnost obálky je stanovena opět dle ČSN 73 0540-2 na n_{50} = 4,5 1/h, neboť se jedná o přirozeně větranou budovu.

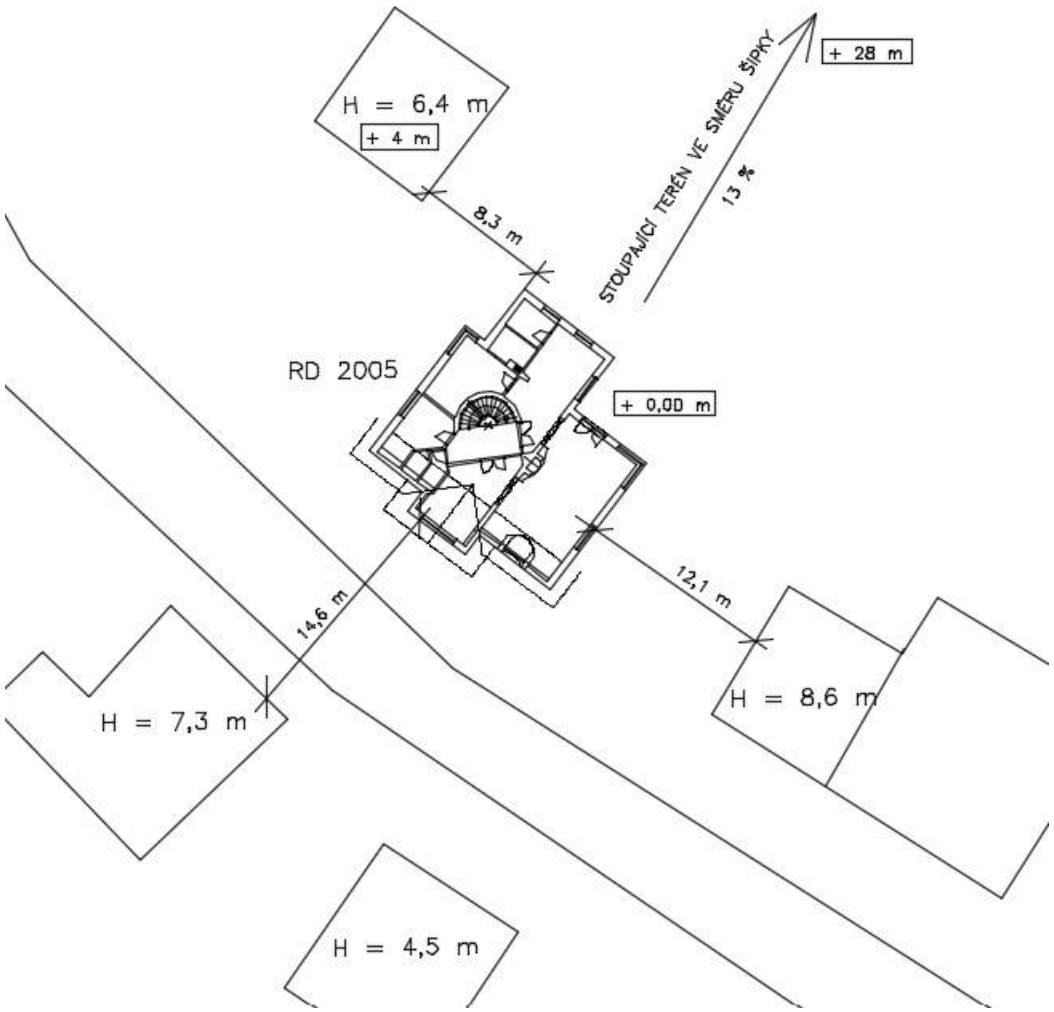
Tab. 19: RD 2005, A – Výpočet teoretické potřeby tepla obecným způsobem

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	7,458	0,794	--------	0,147	0,941	0,999	100	6,518
2	6,369	0,693	--------	0,404	1,097	0,997	100	5,274
3	5,76	0,699	--------	0,827	1,526	0,99	100	4,249
4	4,131	0,645	--------	1,323	1,968	0,952	100	2,258
5	2,514	0,632	--------	1,583	2,214	0,813	100	0,715
6	1,523	0,606	--------	1,577	2,183	0,615	26,7	0,180
7	0,937	0,622	--------	1,504	2,125	0,441	0	--------
8	0,971	0,632	--------	1,49	2,122	0,457	0	--------
9	2,368	0,649	--------	0,961	1,611	0,888	91,5	0,938
10	4,202	0,697	--------	0,676	1,373	0,983	100	2,852
11	5,739	0,723	--------	0,244	0,967	0,998	100	4,775
12	6,847	0,79	--------	0,077	0,867	0,999	100	5,981
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					**33,740**

Při obecném výpočtu vychází teoretická potřeba energie 33 740 kWh/rok. Při přepočtu na skutečnou potřebu s obecnou souhrnnou účinností (viz Tab. 16) se dostáváme na celkovou skutečnou potřebu energie 44 556 kWh/rok. Tato hodnota je o 171 % vyšší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok (16 426 kWh/rok).

Přesnější výpočet „B.1“

Při tomto výpočtu jsou stanoveny přesnější hodnoty F_{hor}. Na SZ, JV a JZ (přes ulici) sousedí budova s rodinnými domy a na SV straně je zvyšující se terén (13 %) s lesním porostem za hranicí pozemku. Součinitel průvzdušnosti obálky je stanoven z tabulky dle ČSN 73 0540-2 pro budovu s přirozeným větráním, úroveň II – n_{50} = *3 1/h*. Zároveň je stanoven přesný podíl prosklené plochy oken.



Obrázek 4: RD 2005 - Situace pro určení F_{hor}

Tab. 20: RD 2005, B.1 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla při podrobněji zadávaném parametru F_{hor}

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	1,56	0,024	--------	-0,007	0,018	1	100	1,542
2	1,32	0,02	--------	0,019	0,039	1	100	1,280
3	1,148	0,017	--------	0,053	0,07	1	100	1,078
4	0,76	0,014	--------	0,095	0,108	0,997	100	0,652
5	0,357	0,011	--------	0,111	0,122	0,969	100	0,238
6	0,122	0,01	--------	0,111	0,121	0,742	50	0,032
7	-0,031	0,01	--------	0,104	0,114	1	0	--------
8	-0,022	0,011	--------	0,107	0,119	1	0	--------
9	0,329	0,014	--------	0,064	0,078	0,987	50	0,252
10	0,769	0,017	--------	0,042	0,059	0,999	100	0,710
11	1,151	0,02	--------	0,004	0,024	1	100	1,127
12	1,412	0,024	--------	-0,013	0,011	1	100	1,400
				Roční potřeba tepla na vytápění neobytných prostorů [MWh]				**8,311**

Teoretická potřeba tepla vyšla 32 191 kWh/rok, tedy o 1 549 kWh/rok (4,6 %) nižší než v obecném případě (A) a tepelné solární zisky se zvýšily o 2 911 kWh (27 %). Je tedy jasně vidět vliv parametru F_{hor} na tepelné solární zisky, ale zároveň se snižuje jejich využitelnost, takže výsledná změna není tak výrazná. Při použití přesnější souhrnné účinnosti (viz Tab. 16) se dostáváme na hodnotu skutečné potřeby tepla 38 873 kWh/rok. Tato hodnota je stále o 137 % vyšší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

Přesnější výpočet s rozdělením na obytné prostory a domovní komunikace „B.2“

Tab. 21: RD 2005, B.2 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla obytných prostorů

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	7,458	0,794	--------	0,232	1,026	0,999	100	6,434
2	6,369	0,693	--------	0,54	1,233	0,996	100	5,140
3	5,76	0,699	--------	1,057	1,756	0,986	100	4,030
4	4,131	0,645	--------	1,655	2,3	0,929	100	1,995
5	2,514	0,632	--------	1,965	2,596	0,754	91,9	0,557
6	1,523	0,606	--------	1,957	2,563	0,594	0	--------
7	0,937	0,622	--------	1,87	2,491	0,376	0	--------
8	0,971	0,632	--------	1,858	2,49	0,39	0	--------
9	2,368	0,649	--------	1,216	1,865	0,848	79,1	0,786
10	4,202	0,697	--------	0,876	1,573	0,975	100	2,668
11	5,739	0,723	--------	0,35	1,072	0,997	100	4,670
12	6,847	0,79	--------	0,148	0,938	0,999	100	5,911
	Celkové roční solární tepelné zisky [MWh]			**13,724**	**Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]**			**32,191**

Tab. 22: RD 2005, B.2 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla nebytových prostorů

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	4,821	0,552	--------	0,263	0,815	0,999	100	4,007
2	4,104	0,482	--------	0,532	1,014	0,995	100	3,095
3	3,679	0,486	--------	0,996	1,482	0,978	100	2,230
4	2,61	0,449	--------	1,524	1,973	0,878	100	0,877
5	1,542	0,439	--------	1,797	2,237	0,622	24,7	0,150
6	0,892	0,421	--------	1,79	2,212	0,403	0	--------
7	0,503	0,433	--------	1,712	2,145	0,235	0	--------
8	0,525	0,439	--------	1,702	2,142	0,245	0	--------
9	1,449	0,452	--------	1,133	1,585	0,748	56,1	0,263
10	2,653	0,485	--------	0,836	1,321	0,958	100	1,387
11	3,668	0,503	--------	0,366	0,869	0,996	100	2,803
12	4,405	0,55	--------	0,189	0,738	0,999	100	3,667
				Roční potřeba tepla na vytápění obytné zóny [MWh]				**18,479**

Tento výpočet přebírá veškeré vstupní hodnoty z předchozího výpočtu. Jedinou změnou je rozdělení vytápěné zóny na obytné a nebytové prostory.

Celková vypočítaná teoretická potřeba tepla vychází na 26 790 kWh/rok. Po přepočtu vychází skutečná potřeba tepla 32 351 kWh/rok. Tato hodnota je o 97 % vyšší, než je průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok, tedy stále téměř dvojnásobná.

Výpočet obálkovou metodou s reálným profilem užívání „C“

Vstupními hodnotami pro tento výpočet jsou teplota vnitřního vzduchu 19,8 °C, intenzita výměny vzduchu n_{50} = 0,05 1/h, obsazenost 200 m^2/osobu a časový podíl přítomnosti osob 50 %.

Vypočítaná teoretická potřeba tepla je oproti podrobnému výpočtu pouze s jednou vytápěnou zónou (B.1) především díky výrazně snížené intenzitě výměny vzduchu o 8 695 kWh/rok (27 %) nižší. Vypočítaná skutečná potřeba tepla 28 373 kWh/rok je ale stále o 73 % vyšší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

Tab. 23: RD 2005 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla při výpočtu s reálným profilem užívání

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	5,91	0,714	--------	0,232	0,946	0,999	100	4,964
2	5,04	0,627	--------	0,54	1,168	0,996	100	3,876
3	4,534	0,644	--------	1,057	1,702	0,983	100	2,862
4	3,239	0,601	--------	1,655	2,255	0,902	100	1,204
5	2,037	0,595	--------	1,964	2,559	0,69	51,8	0,272
6	1,23	0,572	--------	1,957	2,529	0,486	0	--------
7	0,753	0,588	--------	1,869	2,457	0,307	0	--------
8	0,78	0,595	--------	1,858	2,453	0,318	0	--------
9	1,907	0,604	--------	1,216	1,82	0,805	64,5	0,442
10	3,276	0,643	--------	0,876	1,519	0,968	100	1,806
11	4,519	0,658	--------	0,35	1,007	0,997	100	3,515
12	5,413	0,711	--------	0,148	0,859	0,999	100	4,555
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					**23,496**

5.3 RD 2015

Třetím a posledním domem v porovnání je dvoupodlažní rodinný dům s nuceným větráním postavený podle pasivního standardu, u kterého je zdrojem tepla pro vytápění

kondenzační kotel. Pro dosažení pasivity je na střeše umístěný solární kolektor a v obývacím pokoji krbová kamna s vnitřním výměníkem tepla.

5.3.1 Analýza domu

V domě bydlí mladá čtyřčlenná rodina, která často cestuje.

Technická zařízení

V domě je kondenzační kotel na zemní plyn o jmenovitém tepelném výkonu 9,5 kW a účinností 104 % (94 % vztažená ke spalnému teplu) s ekvitermní regulací, který zajišťuje vytápění a ohřev teplé vody. Vytápění je v budově zajištěno kombinací podlahového vytápění, podlahových konvektorů (2x v obývacím pokoji) a otopných těles (trubkový registr v koupelnách). Teplo, primárně pro ohřev TV, je také přiváděno ze solárních kolektorů umístěných na střeše směrem na jihozápad, se sklonem 20° o ploše 6,49 m^2. Teplo ze solární soustavy a krbových kamen (5 kW) s tepelným výměníkem je akumulováno do nádoby o objemu 500 litrů (stálá tepelná ztráta 78 W). Nepřímo ohřívaný zásobník teplé vody má 150 litrů (stálá tepelná ztráta 55 W). Dům má také nucené větrání se zpětným získáním tepla (75 %) s maximálním průtokem vzduchu 400 m^3/h.

Dům je z většiny vytápěn podlahovým vytápěním. Tabulkové účinnosti distribuce a sdílení tepla tedy jsou $\eta_{H,dis}$ = 0,93 a $\eta_{H,em}$ = 0,83. Při podrobnějším výpočtu dle normy ČSN 73 0331-1 získáme účinnost sdílením tepla $\eta_{H,em}$ = 0,85 a vzhledem k umístění technologie a veškerých rozvodů ve vytápěných místnostech je účinnost distribuce tepla $\eta_{H,dis}$ = 1. Pro přepočet teoretické potřeby tepla na skutečnou potřebu tepla musíme vypočítanou hodnotu teoretické potřeby tepla podělit souhrnnou účinností výroby tepla, určenou váženým průměrem podle spotřebovaného tepla. Výsledné celkové účinnosti pro obecný a podrobný výpočet jsou uvedeny v Tab. 24. K vypočítané skutečné potřebě tepla dále musíme přičíst tepelnou ztrátu akumulační nádrže. Ta je vypočítána pro každý případ zvlášť, aby bylo možné uvažovat proměnnou délku vytápění f_H v daných případech.

Tab. 24: RD 2015 – Výpočet souhrnné účinnosti výroby tepla

	Plynový kotel				Krb		
	Spotřeba tepla [kWh]	Účinnost výroby tepla	Účinnost distribuce	Účinnost sdílením	Spotřeba tepla [kWh]	Účinnost výroby tepla	**Celková účinnost**
Obecný výpočet	7 660	0,94	0,93	0,83	3 963	0,75	0,76
Podrobný výpočet			1,00	0,85			0,82

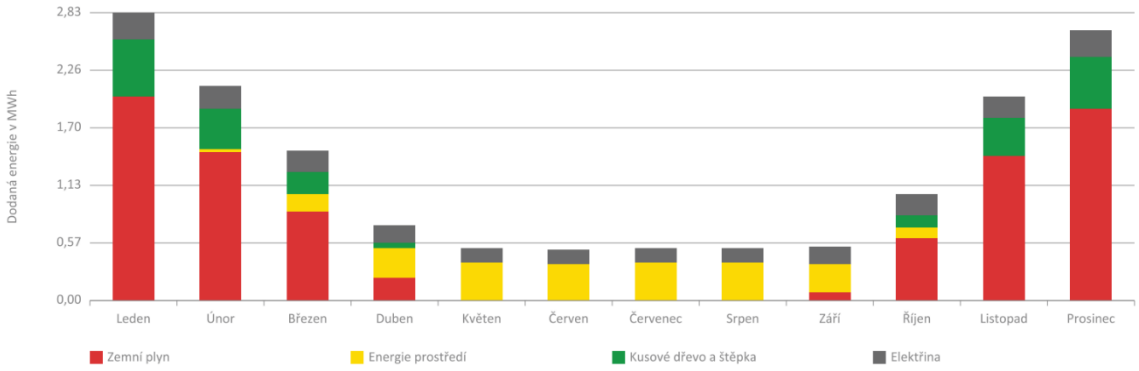
Konstrukce

Obvodové stěny jsou složeny z vápenopískových cihel a polystyrenových desek tloušťky 300 mm, nebo 250 mm v místě obkladu (účinná tepelná kapacita 165 kJ/m^{2}K). Strop pod střechou je složen ze sádrokartonu, vzduchové mezery, dřevovláknitých desek a 500 mm minerální vaty. Podlaha v kontaktu se zeminou je z betonové mazaniny, 250 mm polystyrenu, asfaltové pásy a opět betonová mazanina. Podlaha v kontaktu s venkovním vzduchem je složena z betonové mazaniny, betonových tvárnic a 300 mm polystyrenu. Okna jsou trojskla se součinitelem prostupu tepla 0,75 W/m^{2}K a vstupní dveře 0,9 W/m^{2}K.

Zóny

V domě je pouze jedna zóna – obytná zóna s upravovanými vnitřními podmínkami.

5.3.2 Reálná potřeba tepla na vytápění přepočítaná na referenční klimatické podmínky



Obr. 5: RD 2015 – Roční průběh dodané energie dle energonositelů

Tab. 25: RD 2015 - Výpočet spotřeby tepla na vytápění přepočítané na referenční klimatické podmínky z fakturované spotřeby tepla na vytápění a ohřev TV

Začátek účtovacího období	Konec účtovacího období	Dodané množství tepla (zemního plynu) [kWh]	Využitelný zisk solárními kolektory [kWh/rok]	Spotřeba tepla na ohřev TV [kWh/rok]	Reálná spotřeba tepla na VYT [kWh/rok]	Denostupňů v daném období	Denostupňů při ref klimatu	Reálná potřeba tepla na VYT pro referenční rok [kWh/rok]	**Průměrná reálná potřeba tepla na VYT pro ref. rok [kWh/rok]**
29.09.2014	29.06.2015	11 820	1 208	2 099	10 250	3 267	3 927	12 323	**7 660**
30.06.2015	09.07.2016	5 128			2 972	3 653	4 007	3 260	
10.07.2016	12.08.2017	6 002			3 714	3 914	4 007	3 802	
13.08.2017	13.08.2018	5 291			3 192	3 356	4 007	3 811	
14.08.2018	11.08.2019	7 082			5 000	3 649	4 007	5 491	
12.08.2019	08.08.2020	8 744			6 662	3 604	4 007	7 407	
09.08.2020	15.08.2021	10 993			8 859	4 049	4 007	8 766	

Obdobně jako u RD 1930 je fakturovaná spotřeba plynu rozdělena mezi vytápění a ohřev TV. Vyhodnocení spotřeby tepla na ohřev TV je opět stanoven výpočtem spotřebované teplé vody se započítáním tepelné ztráty akumulace tepla. U tohoto domu je ale výpočet složitější kvůli instalovaným solárním kolektorům a krbovým kamnům s tepelným výměníkem. Nejprve jsou určeny využitelné zisky ze solárních kolektorů. Ty jsou podle výpočtu v průkazu ENB 2 400 kWh/rok. Tato hodnota ale počítá s vyšší než reálnou spotřebou TV. Pokud se sníží spotřeba TV, sníží se také využitelné zisky, které v průběhu letních měsíců plně hradí spotřebu tepla na ohřev TV. Podle grafu ročního průběhu dodané energie dle energonositelů (viz Obr. 5) můžeme předpokládat, že v měsících listopad, prosinec a leden jsou zisky ze solárních kolektorů prakticky zanedbatelné. Od dubna do září lze předpokládat, že spotřeba tepla na ohřev TV je plně hrazena solárními kolektory. Ve zbylých třech měsících je hrazena průměrně z jedné třetiny. Využitelné tepelné zisky dodané solárními kolektory jsou tedy 1 208 kWh/rok.

Spotřebu teplé vody jsem stanovil obdobným způsobem, jako u RD 1930. Po rozhovoru s majitelem byla vypočítána spotřeba TV na mytí nádobí, sprchování a napouštění vany. V RD je používána myčka, takže je snížený objem vody na jedno mytí nádobí na 6 l. Vana je podle majitele napouštěna cca 10x za rok (objem 90 l) a využití sprchy je průměrně jedna sprcha na osobu na den. Průtok vody sprchovou hlavicí je zvýšen na 8 l/min, s délkou sprchy 3,5 min. Ve výpočtu je dále počítáno s tepelnou ztrátou zásobníku 55 W. Teplota studené přiváděné vody je 10 °C, teplé vody v zásobníku 55 °C a smíšená výstupní voda má teplotu 38 °C. Celková spotřeba tepla na ohřev TV je 5 750 Wh/den (viz Tab. 26), tedy 2 099 kWh/rok (viz Tab. 25).

Tab. 26: RD 2015 – Výpočet spotřeby tepla na ohřev TV

	Počet odběrů za den	Spotřeba vody [l/den]	Spotřeba TV [l/den]	Spotřeba tepla [Wh/den]
Mytí nádobí	2	12	7	390
Vana	0,03	2,5	2	80
Sprcha	4	111	69	3615
	Potřeba tepla na ohřev TV			4085
	Tepelné ztráty zásobníku			1320
	Celková spotřeba tepla na ohřev TV [Wh/den]			**5750**

Energie potřebná na ohřev TV je odečtena z celkové spotřeby plynu v daném období. Výsledná hodnota spotřeby energie je následně převedena pomocí denostupňů na referenční klimatické podmínky a jsou přičteny využitelné zisky ze solárních kolektorů stanoveny pro referenční klimatický rok, které se podílely na pokrytí spotřeby tepla na ohřev TV. Fakturovaná spotřeba tepla je tedy snížená pouze o rozdíl spotřeby tepla na

ohřev TV a využitelných zisků ze solárních kolektorů (1 208 kWh/rok v referenčním klimatickém roce). Výsledná spotřeba tepla je dále sečtena se spotřebou energie dodané do krbových kamen. Nemusím tedy určovat množství tepla, které bylo dodáno na ohřev TV z krbových kamen. Tepelné ztráty rozvody TV se v otopném období podílejí na vytápění místností a v letních je zanedbávám z důvodu přebytků ze solárních kolektorů. Počítám tedy celoročně pouze s tepelnou ztrátou akumulace TV. Výsledná průměrná reálná potřeba tepla na vytápění v referenčním klimatickém roce je 7 660 kWh/rok (viz Tab. 25). [7]

5.3.3 Výsledná skutečná potřeba tepla na vytápění pro dané způsoby výpočtu

Obecný výpočet, n_{50} = 0,6 „A.1“

Při tomto výpočtu je opět použitý konstantní poměr zasklení 0,75 a faktor stínění horizontu F_{hor} = 0,75. Průvzdušnost obálky budovy je možné zadat dle ČSN 73 0540-2 jako pro pasivní dům, nebo pro RD s nuceným větráním. V tomto výpočtu uvažujeme průvzdušnost obálky budovy pro pasivní domy n_{50} = 0,6 1/h, neboť v tomto standardu byl dům postaven.

Tab. 27: RD 2015, A.1 – Obecný výpočet teoretické potřeby tepla s průvzdušností n_{50} = 0,6

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	2,204	0,43	--------	0,265	0,695	0,998	100	1,510
2	1,884	0,375	--------	0,455	0,83	0,992	100	1,061
3	1,711	0,379	--------	0,783	1,162	0,952	100	0,604
4	1,232	0,35	--------	1,137	1,487	0,75	47,5	0,117
5	0,752	0,342	--------	1,295	1,637	0,459	0	--------
6	0,455	0,328	--------	1,287	1,615	0,281	0	--------
7	0,278	0,337	--------	1,234	1,571	0,177	0	--------
8	0,288	0,342	--------	1,256	1,599	0,18	0	--------
9	0,708	0,352	--------	0,865	1,217	0,582	0	--------
10	1,253	0,378	--------	0,685	1,063	0,898	89,7	0,299
11	1,703	0,392	--------	0,344	0,736	0,993	100	0,973
12	2,027	0,428	--------	0,214	0,642	0,998	100	1,386
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					5,95

Výsledná teoretická potřeba tepla je 5 950 kWh/rok. Po přepočítání na skutečnou potřebu pomocí obecné souhrnné účinnosti (viz Tab. 24) získáme hodnotu

8 146 kWh/rok. Tato hodnota je o 30 % nižší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok (7 660 kWh/rok).

Obecný výpočet, n_{50} = 1,0 „A.2“

V tomto a následujících výpočtech budu uvažovat průvzdušnost obálky vyšší, z důvodu vyšší výsledné energetické náročnosti oproti hodnotě v průkazu ENB vyhotoveném před výstavbou. Pro budovy s nuceným větráním (úroveň I) je průvzdušnost n_{50} = 1,0 1/h.

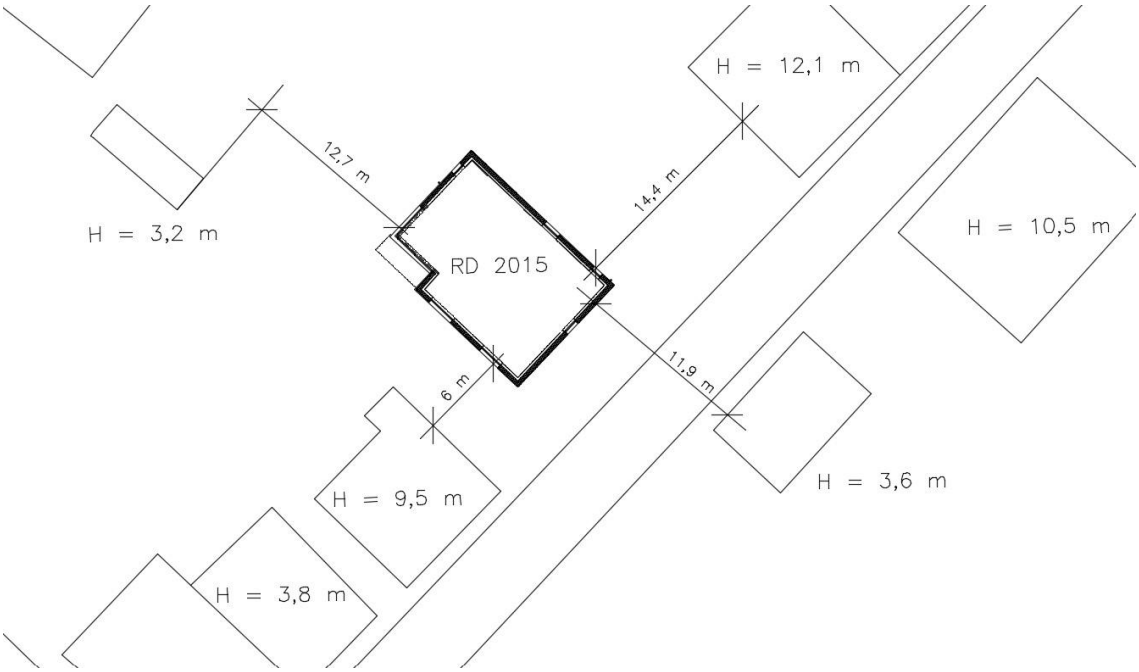
Tabulka 28: RD 2015, A.2 – Vypočítaná teoretická potřeba tepla pro obecné vstupní údaje, n_{50} = 1,0

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	2,266	0,43	--------	0,265	0,695	0,998	100	1,571
2	1,937	0,375	--------	0,455	0,83	0,992	100	1,113
3	1,758	0,379	--------	0,783	1,162	0,955	100	0,649
4	1,266	0,35	--------	1,137	1,487	0,761	52,4	0,134
5	0,772	0,342	--------	1,295	1,637	0,471	0	--------
6	0,466	0,328	--------	1,287	1,615	0,288	0	--------
7	0,283	0,337	--------	1,234	1,571	0,18	0	--------
8	0,294	0,342	--------	1,256	1,599	0,184	0	--------
9	0,727	0,352	--------	0,865	1,217	0,597	0	--------
10	1,287	0,378	--------	0,685	1,063	0,904	93,8	0,327
11	1,751	0,392	--------	0,344	0,736	0,993	100	1,021
12	2,083	0,428	--------	0,214	0,642	0,998	100	1,443
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					**6,258**

Teoretická potřeba tepla při zvýšení průvzdušnosti obálky stoupla o 5 % (308 kWh/rok) oproti předchozímu výpočtu (A.1). Výsledná skutečná potřeba tepla je tedy 8 553 kWh/rok. O 26 % nižší než průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

Přesnější výpočet „B“

V tomto případě je opět zadán konkrétní poměr zasklení oken a faktor stínění horizontu. RD 2015 sousedí na SV a JZ straně s rodinnými domy, na JV straně (přes ulici) je samostatná garáž a na SZ je zděná kůlna, viz. Obr. 6.



Obr. 6: RD 2015 – Situace pro určení F_{hor}, H je výška okolních budov

Tab. 29: RD 2015, B – Vypočítaná teoretická potřeba tepla při přesnějším zadání vstupních hodnot

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	2,266	0,43	--------	0,172	0,602	0,999	100	1,664
2	1,937	0,375	--------	0,318	0,693	0,997	100	1,246
3	1,758	0,379	--------	0,584	0,962	0,978	100	0,817
4	1,266	0,35	--------	0,897	1,246	0,841	75,3	0,217
5	0,772	0,342	--------	1,067	1,409	0,548	0	--------
6	0,466	0,328	--------	1,889	2,217	0,21	0	--------
7	0,283	0,337	--------	1,815	2,152	0,132	0	--------
8	0,294	0,342	--------	1,864	2,206	0,133	0	--------
9	0,727	0,352	--------	1,297	1,649	0,441	0	--------
10	1,287	0,378	--------	0,484	0,861	0,953	83	0,467
11	1,751	0,392	--------	0,224	0,616	0,997	100	1,137
12	2,083	0,428	--------	0,131	0,559	0,999	100	1,525
	Celkové roční solární tepelné zisky [MWh]			**10,742**	**Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]**			**7,073**

Vypočítaná teoretická potřeba tepla je o 815 kWh/rok (13 %) nižší než v předešlém případě při stejné hodnotě n_{50} (A.2). Zpřesněním výpočtu jsme dosáhli zvýšení slunečních tepelných zisků o 9 %, ale jejich využitelnost je celkově o 1 % nižší. Výsledná skutečná potřeba tepla je 9 626 kWh/rok, tedy o 17 % nižší, než je průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

Výpočet obálkovou metodou s reálným profilem užívání „C“

Tab. 30: RD 2015, C – Vypočítaná teoretická potřeba tepla s přesnějším zadáváním vstupních hodnot a reálným profilem užívání

Měsíc	Q,H,ht [MWh]	Q,int [MWh]	Q,tec [MWh]	Q,sol [MWh]	Q,gn [MWh]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd [MWh]
1	2,083	0,387	--------	0,172	0,559	0,999	100	1,524
2	1,779	0,34	--------	0,318	0,658	0,997	100	1,124
3	1,613	0,349	--------	0,584	0,933	0,976	100	0,703
4	1,199	0,326	--------	0,897	1,222	0,832	69,4	0,182
5	0,733	0,322	--------	1,067	1,389	0,527	0	--------
6	0,444	0,31	--------	1,889	2,198	0,202	0	--------
7	0,272	0,318	--------	1,815	2,134	0,127	0	--------
8	0,282	0,322	--------	1,864	2,186	0,129	0	--------
9	0,69	0,327	--------	1,297	1,624	0,425	0	--------
10	1,185	0,348	--------	0,484	0,832	0,948	79,5	0,396
11	1,603	0,356	--------	0,224	0,581	0,997	100	1,024
12	1,912	0,385	--------	0,131	0,517	0,999	100	1,396
			Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					6,349

Při tomto výpočtu byly ponechány vstupní hodnoty z předchozího výpočtu. Došlo pouze k upravení profilu užívání – teplota vnitřního vzduchu 21,44 °C, obsazenost 55 m^2/osobu a podíl přítomnosti osob 70 %. Intenzita větrání je obdobná jako v předchozích výpočtech (A.1, A.2, B), z důvodu automatického řízení větrání VZT jednotkou.

Výsledná potřeba tepla je 6 349 kWh/rok. Skutečná potřeba tepla je tedy 8 673 kWh/rok. To je o 25 % méně, než je průměrná reálná potřeba tepla pro referenční klimatický rok.

6 POROVNÁNÍ VYPOČÍTANÝCH HODNOT

Nejprve bych rád uvedl, že porovnávám mezi sebou pouze výsledky pro jednotlivé budovy. Porovnání budov mezi sebou není přímo možné vzhledem k jejich odlišné

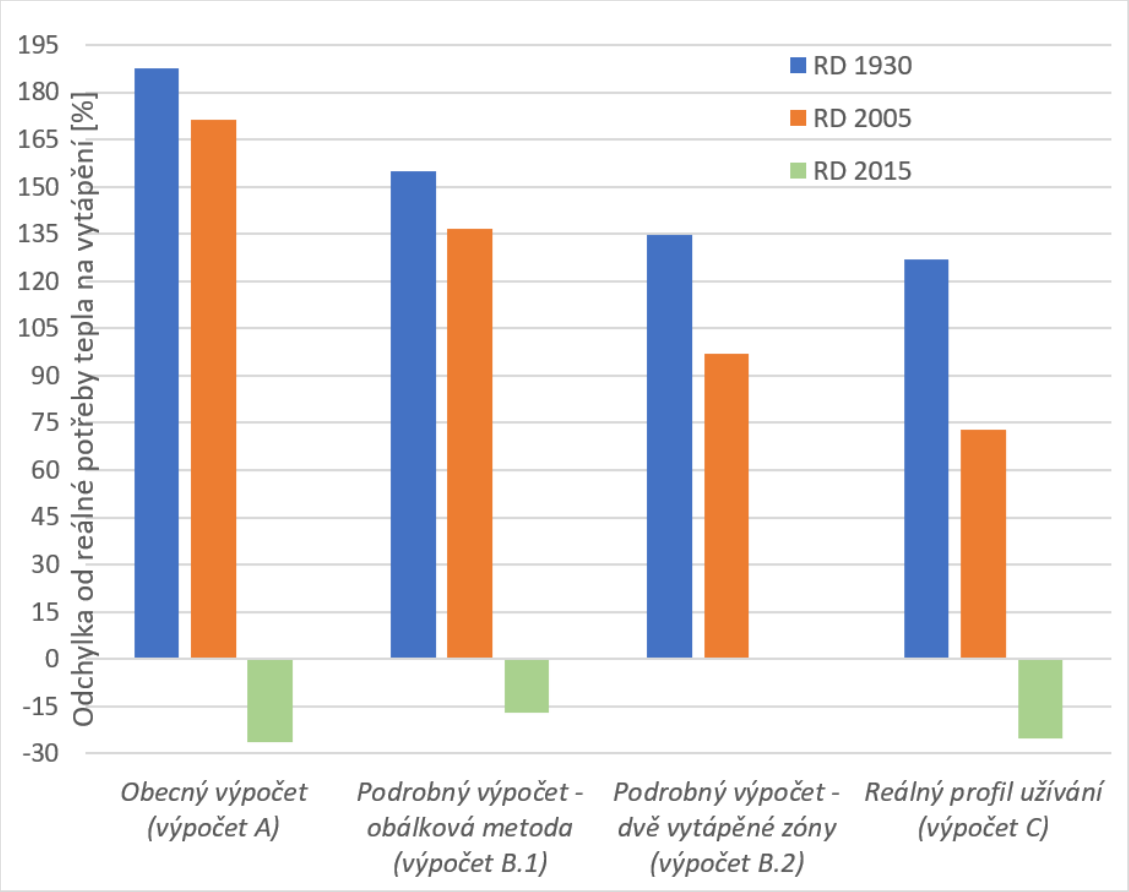
geometrii, užívání budovy, okolní zástavbě atd. Z toho důvodu se budovy porovnávají s referenční budovou, která přejímá velkou část vlastností řešené budovy.

Spotřeby energie na vytápění v daném roce (období) jsou pro každý RD přepočítány na referenční klimatické podmínky. U RD 1930, ve výpočtu C.2 *„Výpočet obálkovou metodou s reálným profilem užívání pro klimatické podmínky v roce 2016–2017“* jsem provedl výpočet se zadanými klimatickými podmínkami v daném fakturovaném období, tedy v roce 2016–2017. Odchylka skutečné potřeby tepla na vytápění v porovnání s reálnou spotřebou tepla na vytápění v roce 2016–2017 je 134 %. Odchylka výpočtu s reálným profilem užívání (C.1) a průměrnou reálnou potřebou tepla pro referenční klimatický rok je 127 %. Rozdíl mezi zmíněnými odchylkami je tedy pouze 7 %. Z toho je možné usuzovat, že je vnesena relativně nízká chyba přepočtem reálné spotřeby tepla na vytápění v daném roce na průměrnou reálnou potřebu tepla na vytápění pro referenční klimatický rok. Reálná potřeba tepla na vytápění v daném období přepočítána na referenční klimatické podmínky by ale měla teoreticky vycházet stejně v každém roce. Ve všech třech případech v průběhu uvažovaných let je ale odchylka až 20 % od průměrné reálné potřeby tepla na vytápění při referenčních klimatických podmínkách (viz Tab. 17, předposlední sloupec). Ta je dána především rozdílným způsobem užívání. V případě budov s větším počtem osob (bytové či administrativní budovy) bychom měli teoreticky dosahovat odchylek nižších, protože změna chování u jedné osoby je v porovnání s celkovou spotřebou energií zanedbatelná.

Vypočítaná skutečná potřeba tepla na vytápění je u RD 2005 a RD 1930 výrazně vyšší než průměrná reálná potřeba tepla na vytápění pro referenční klimatický rok. Úpravami výpočtu je sice možné odchylku snížit, ale v případě výpočtu B.2 s obětováním správných vstupních hodnot. V případě rozdělení budovy na obytné a nebytové zóny dojde ke snížení průměrné vnitřní teploty vzduchu pod reálný stav. Dle naměřených údajů

Tab. 31: Výsledné vypočítané hodnoty a odchylky od reálné potřeby tepla na

		Obecný výpočet (výpočet A)		Podrobný výpočet - obálková metoda (výpočet B.1)		Podrobný výpočet - dvě vytápěné zóny (výpočet B.2)		Reálný profil užívání (výpočet C)	
	Reálná potřeba tepla na vytápění [MWh]	Teoretická potřeba tepla [MWh]	Odchylka od reálné hodnoty [%]	Teoretická potřeba tepla [MWh]	Odchylka od reálné hodnoty [%]	Teoretická potřeba tepla [MWh]	Odchylka od reálné hodnoty [%]	Teoretická potřeba tepla [MWh]	Odchylka od reálné hodnoty [%]
RD 1930	23,929	68,807	188	61,033	155	56,171	135	54,299	127
RD 2005	16,426	44,556	171	38,873	137	32,351	97	28,373	73
RD 2015	11,623	8,553	-26	9,626	-17	-	-	8,673	-25



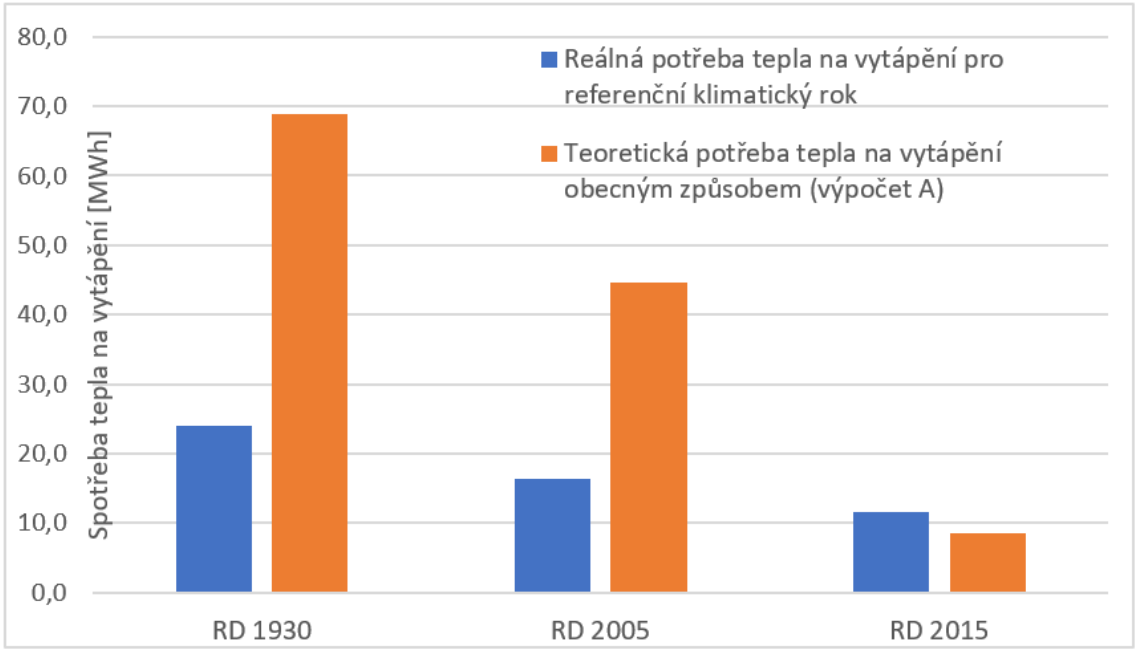
Obr. 7: Odchylka od reálné spotřeby tepla na vytápění posuzovaných domů pro dané typy výpočtu

je v RD 1930 a RD 2005 průměrná vnitřní teplota vzduchu velice blízko teplotě udávané v typickém profilu užívání, tj. 20 °C. V případě použití reálného profilu užívání (výpočet C) bychom se měli dostat do blízkosti reálné spotřeby tepla, ale i při této úpravě, kterou vyhláška 264/2020, Sb. nepovoluje, je výsledná skutečná potřeba tepla na vytápění vyšší oproti reálnému stavu o 73 % u RD 2005 a o 127 % u RD 1930 (viz přehled v Tab. 31). U RD 2015 je situace odlišná. Při každém výpočtu vyšla skutečná potřeba tepla na vytápění nižší, než je reálný stav. Odchylka je ale v absolutní hodnotě výrazně nižší, než u RD 2005 a RD 1930, a to „pouze“ 26 % v případě obecného výpočtu (výpočet A.2). V případě přesnějšího výpočtu (výpočet B) pak dokonce jen 17 %, ale pokud bychom v budově uvažovali reálný profil užívání (výpočet C), skutečná potřeba se z důvodu vyšší vnitřní teploty zvýší a vzhledem k nucenému větrání nedojde ke snížení tepelných ztrát větráním. Odchylka tohoto výpočtu je 25 %.

Z první a druhé sady sloupců v Obr. 7 je patrný vliv stanovení konkrétního faktoru stínění horizontu, přesného zadávání poměru zasklení jednotlivých oken a nižší průvzdušnosti obálky budovy (výpočet B). Ve většině případů je faktor stínění horizontu

vyšší, než při plošném zadání (více tepelných zisků) a přesný poměr zasklení je povětšinou nižší, než plošně zadaná hodnota 0,75 (méně tepelných zisků). V případě RD 2005 a RD 1930 je vidět významné snížení skutečné potřeby tepla na vytápění – v budovách je více využitelných tepelných zisků a nižší tepelná ztráta způsobená průvzdušností obálky. V případě RD 2015 zůstala stejná průvzdušnost obálky budovy, pouze se změnily parametry oken. Vidíme zvýšení skutečné potřeby tepla na vytápění (opět snížení absolutní hodnoty odchylky od reálné hodnoty z 26 % na 17 %). Vliv tepelných zisků v tomto případě není tak významný, protože se výrazně sníží jejich využití. Stanovení F_{hor} je ale velmi zdlouhavé a pracné, a i přes snížení vypočítané hodnoty je skutečná potřeba tepla na vytápění u RD 2005 a RD 1930 stále více než dvojnásobná oproti průměrné reálné potřebě tepla pro referenční rok.

Z Obr. 7 a Obr. 8 je vidět snížení absolutní hodnoty odchylky výpočtu se zvyšujícím se rokem výstavby, resp. se snižujícím se součinitelem prostupu tepla konstrukcí. V této práci je malý počet vzorků, aby bylo možné deklarovat, že by bylo dosaženo podobných výsledků i při porovnání většího počtu budov. Podobných výsledků je ale dosaženo také v práci [1], která porovnává významný počet rodinných domů ve Švýcarsku a ve své práci odkazuje na publikace z Dánska, kde došlo také k porovnání značného počtu budov. V obou zemích došli autoři k výsledku, že se zhoršující se třídou hodnocení budovy (např. F) je odchylka vyšší než u lepších tříd (např. B). Tato skutečnost může být dána nepřesným stanovením součinitele prostupu tepla stavebních materiálů, jejich stavu při



Obr. 8: Reálná a vypočítaná potřeba tepla na vytápění u řešených budov

reálném užívání (např. vliv vlhkosti) a také schopností akumulace těchto materiálů. V případě obvodové stěny z pálených cihel je schopnost akumulace konstrukce výrazně vyšší než akumulace vápenocementových cihel s vrstvou izolačního polystyrenu. Tato akumulace je ve výpočtu zahrnována pouze při stanovení stupně využití tepelných zisků, ale neuvažuje s akumulací tepla při zvyšování vnitřní teploty vzduchu vlivem tepelných zisků (viz *kapitola 3.2*).

Výpočet také udává u RD 1930 vytápění 100 % dnů v roce. V budově se samozřejmě v průběhu letních měsíců nevytápí. Tepelné zisky ale ve výpočtu nejsou dostatečně vysoké, aby pokryly tepelnou ztrátu budovy. Pokud by se do celkové teoretické potřeby tepla na vytápění v obecném případě (výpočet A) nezapočítaly hodnoty od května až do září (včetně) (viz Tab. 32) – v těchto měsících je budova nevytápěná, sníží se vypočítaná spotřeba tepla na vytápění o 6,3 kWh/rok, tedy 10 %. Odchylka od reálné hodnoty se sníží ze 188 % na 161 %. Dostaneme tedy přesnější výpočty, ale odchylka je stále velmi vysoká a v reálném výpočtu pro účely průkazu ENB tento krok stejně není možné provést.

Tab. 32: Celková roční potřeba tepla na vytápění s a bez uvažování vytápění v letních měsících

Měsíc	Q,H,nd [MWh]	Q,H,nd [MWh]
1	8,299	8,299
2	6,865	6,865
3	5,828	5,828
4	3,592	3,592
5	1,595	-
6	0,584	-
7	0,156	-
8	0,168	-
9	1,739	-
10	4,054	4,054
11	6,201	6,201
12	7,619	7,619
Celková roční potřeba tepla na vytápění [MWh]	**46,700**	**42,458**

U RD 1930, výpočtu A.2, je snaha o dosažení nižší odchylky snížením součinitele prostupu tepla pálených cihel, ze kterých jsou veškeré ochlazované stěny. Je možné se setkat s názory, že tepelné vlastnosti starších stavebních konstrukcí nejsou tak „špatné“, jak se uvádí. Součinitel prostupu tepla je tedy snížen o 20 %. Výsledná hodnota potřeby tepla je o 3 372 kWh/rok nižší, tedy o 7 %, než v obecném výpočtu. Po této úpravě má vypočítaná skutečná potřeba tepla odchylku 147 % od reálné hodnoty. Tento názor tedy může být pravdivý, ale nevnáší zásadní chybu do výpočtu.

U obecného výpočtu RD 2015 je viditelný vliv stanovení průvzdušnosti obálky budovy. Při zvýšení parametru n_{50} z 0,6 na 1,0 se zvýší teoretická potřeba tepla na vytápění o 308 kWh/rok, tedy o 5 %. Parametr n_{50} udává intenzitu výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa. Do průkazu ENB se volí hodnota n_{50} například podle tabulek v ČSN 73 0540-2. Ta ale nabízí pouze velmi omezenou volbu hodnot. Hodnotu n_{50} je

možné změřit pomocí blower-door testu, nemůžeme ale požadovat provedení testu při stanovení průkazu ENB.

7 VÝPOČET DENOSTUPŇOVOU METODOU

Denostupňová metoda je vhodná pro stanovení hrubé teoretické potřeby tepla, nebo když máme omezené informace o budově, ale vzhledem k jejím nedostatkům není vhodné její použití pro přesnější výpočty. Více viz *kapitola 3.1*. Výsledná hodnota výrazně závisí na korekčním faktoru ε, který se obvykle volí podle typu budovy. Pro domy postavené v běžném standardu se volí hodnota 0,75, pro nízkoenergetické domy 0,6 a pro pasivní domy 0,5.

Ve většině případů se používá výpočet po měsících, který dává dostatečně přesné hodnoty. Respektive nepřidává vysokou chybu v porovnání s nedostatky celé metody, jejíž největší předností je jednoduchost, která se při denním či hodinovém výpočtu ztrácí. Průměrné teploty v měsíci jsou stanovené dle normy ČSN 73 0331-1.

Ve výpočtu je uvažována intenzita výměny vzduchu 0,3 1/h (v případě RD 2015 je uvažován průtok VZT jednotkou 240 m^3/h), vnitřní teplota vzduchu 20 °C a venkovní výpočtová teplota vzduchu pro danou oblast -13 °C. Celková tepelná ztráta budovy je tedy 6,2 kW pro RD 2015, 26,8 kW pro RD 2005 a 23,5 kW pro RD 1930. U žádného

Tab. 33: Výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění denostupňovou metodou

Měsíc	počet dnů	Střední venkovní teplota	Potřeba tepla RD 2015	Potřeba tepla RD 2005	Potřeba tepla RD 1930
	den	°C	kWh	kWh	kWh
leden	31	-1,3	2 965	12 743	11 450
únor	28	-0,1	2 709	10 855	9 768
březen	31	3,7	2 470	9 723	8 802
duben	30	8,1	1 797	6 838	6 264
květen	31	13,3	1 133	3 925	3 719
červen	30	16,1	-	-	-
červenec	31	18	-	-	-
srpen	31	17,9	-	-	-
září	30	13,5	-	-	-
říjen	31	8,3	1 830	6 945	6 367
listopad	30	3,2	2 458	9 702	8 775
prosinec	31	0,5	2 915	11 656	10 497
		Celkem	**18 278**	**72 386**	**65 641**

z domů se neuvažuje vytápění od měsíce června do září (včetně), kdy průměrná denní teplota přesahuje 13 °C, která obecně určuje začátek a konec otopného období.

Na konci Tab. 33 vidíme vypočítané hodnoty teoretické potřeby tepla na vytápění bez použití korekčního faktoru. Vypočítané hodnoty skutečné potřeby tepla na vytápění s použitím tabulkového korekčního součinitele dle typu domu, skutečné potřeby tepla vypočítané v průkazu ENB a reálné potřeby tepla jsou uvedeny v Tab. 34. Na konci této tabulky jsou uvedeny hodnoty korekčních součinitelů, které bychom museli použít pro získání stejné hodnoty jako při výpočtu průkazu energetické náročnosti budov a pro získání hodnot reálné spotřeby tepla v budovách. Reálná potřeba tepla byla vypočítána z přesnějších účinností sdílení a distribuce tepla (Tab. 16 a Tab. 24). Je možné si všimnout, že u RD 2015 tabulkový korekční činitel velmi přesně odpovídá reálné potřebě tepla. U RD 2005 a RD 1930 vychází korekční činitel potřeby tepla pro získání reálných hodnot obdobně: 0,23, resp. 0,24. Korekční činitel je tedy nižší u budov s horšími tepelně technickými vlastnostmi, tedy přesně naopak než předepsané hodnoty. Pro přepočet na skutečnou potřebu tepla vypočítanou v průkazu ENB vychází u RD 2005 hodnota korekčního faktoru vyšší, než tabulková (0,88) a nižší u RD 2015 (0,34) a RD 1930 (0,59). [5] [9] [2]

Tab. 34: Vypočítané hodnoty denostupňovou metodou s měsíčním krokem

	RD 2015	RD 2005	RD 1930
Korekční činitel del tabulky [-]	0,50	0,60	0,75
Vypočítaná potřeba tepla [kWh/rok]	9 139	43 431	49 231
Potřeba energie na vytápění - PENB [kWh/rok]	6 258	32 191	44 829
Reálná potřeba energie [kWh/rok]	9 491	13 603	17 576
Korekční součinitel pro získání stejných hodnot jako v PENB [-]	0,34	0,88	0,59
Korekční součinitel pro získání reálných hodnot [-]	0,52	0,23	0,24

8 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá porovnáním tří budov s odlišným rokem výstavby, a tudíž také s odlišnými tepelně technickými vlastnostmi. V teoretické části se věnuje popisu způsobu výpočtu a určení vstupních hodnot. Dále jsou zmíněny způsoby výpočtu potřeby tepla, které se využívají při výpočtu průkazu ENB a výpočet teoretické potřeby tepla denostupňovou metodou. Druhá polovina práce se věnuje právě porovnání způsobů výpočtu potřeby tepla zmíněných budov (budovy mezi sebou porovnávat nemůžeme z důvodu odlišných geometrií a užívání budov). Nejdříve jsou analyzovány jednotlivé budovy, ke kterým jsou následně provedeny výpočty teoretické potřeby tepla prostřednictvím softwaru *Energie 2021*. Výpočet je proveden s tzv. obecnými vstupními hodnotami (výpočet A), s přesnějšími hodnotami (především faktor stínění horizontu, poměr zasklení oken a průvzdušnosti oken) (výpočet B) a ve třetím výpočtu je upraven profil užívání budovy (výpočet C). Cílem bylo zadávání korektních vstupních údajů, aby bylo možné vyhodnotit odchylku vypočítané skutečné potřeby tepla na vytápění od průměrné reálné potřeby tepla na vytápění pro referenční klimatický rok. Průměrná reálná potřeba tepla na vytápění je určena z fakturovaných spotřeb energií, které jsou dále přepočítány na referenční klimatické podmínky. Vypočítaná skutečná potřeba tepla je přepočítána pomocí účinnosti zdroje (případně zdrojů) tepla z technických podkladů výrobce a účinnosti sdílení a distribuce tepla je určena z tabulek uvedených v ČSN 73 0331-1 (při obecném výpočtu A) či výpočtem (při přesnějším výpočtu B, C) uvedeným ve stejné normě.

Odchylka výsledných hodnot je v případě RD 1930 při obecném výpočtu (A) 188 %. U přesnějšího výpočtu (B) je odchylka 155 % při zachování jedné vytápěné zóny a 135 % při rozdělení vytápěných zón na bytové a nebytové prostory. Nejnižší odchylka, na kterou se bylo možné dostat se zachováním korektnosti vstupních hodnot, je u výpočtu s reálným profilem užívání (C) 127 %. Vypočítaná hodnota skutečné potřeby tepla na vytápění je tedy více než dvojnásobná oproti reálné potřebě u každého typu výpočtu.

U RD 2005 je odchylka při obecném výpočtu (A) 171 %. Při přesnějším výpočtu s reálným profilem užívání (C) je odchylka nejnižší, 73 %, především z důvodu výrazného snížení intenzity větrání. Na nejnižší hodnoty dosažené v souladu s vyhláškou č. 264/2020, Sb, je možné se dostat v případě rozdělení budovy na obytné a nebytové

prostory s vlastním typickým profilem užívání (B.2). Rozdělení ale není plně korektní vzhledem k razantnímu snížení průměrné teploty vnitřního vzduchu oproti reálné hodnotě. Při této úpravě je dosaženo odchylky „pouze“ 97 %. Tedy hodnoty skutečné potřeby tepla téměř dvojnásobné. Při přesnějším výpočtu se zachováním jedné vytápěné zóny (B.1) je odchylka 135 %.

V případě RD 2015 je vypočítaná skutečná potřeba tepla naopak nižší než reálná o 26 % v případě obecného výpočtu (A) a o 17 % nižší v případě přesnějšího výpočtu (B). Při upravení typického profilu užívání (C) je vypočítaná hodnota nižší o 25 %.

Další část práce se věnuje porovnání vypočítaných hodnot. Jsou nastíněny možné příčiny nepřesnosti výpočtu, vliv několika vstupních hodnot na výslednou hodnotu a byl proveden výpočet k porovnání vlivu součinitele prostupu tepla pálených cihel na teoretickou potřebu tepla u RD 1930 (výpočet A.2).

V poslední části je proveden výpočet teoretické potřeby tepla na vytápění denostupňovou metodou s měsíčním krokem. U každého domu jsou následně vypočítány korekční činitele pro získání reálné potřeby tepla a skutečné potřeby tepla vypočítané v průkazu ENB. Korekční činitel pro získání reálné potřeby tepla na vytápění je nejvyšší u RD 2015 – 0,51, tedy s velmi malou odchylkou od tabulkové hodnoty pro pasivní domy, která je 0,50. U RD 2005 a RD 1930 jsou korekční činitele téměř shodné – 0,24. Platí tedy opačná posloupnost oproti doporučeným tabulkovým hodnotám, které jsou pro pasivní domy 0,50, pro nízkoenergetické domy 0,60 a pro starší zástavbu 0,75. Pokud by byl použitý výpočet jednoduchou a rychlou denostupňovou metodou s korekčním činitelem 0,5, bylo by v tomto případě dosaženo u všech budov přesnějších hodnot, než v případě pracnějšího výpočtu dle ČSN EN 52016-1. To neznamená, že bychom měli začít počítat teoretickou potřebu tepla na vytápění budov pomocí denostupňové metody. Bylo by ale na místě poskytnout zpřesnění výpočtu, ať už korekcí ze statistických údajů, úpravou postupu výpočtu, nebo používáním odlišného postupu pro starší budovy, které mají alespoň v tomto případě výrazně vyšší odchylku než nová zástavba.

Chyba výpočtu je tedy na základě zjištění provedeného v této práci komplexnějšího charakteru, než pouze chybné zadání jedné či dvou vstupních hodnot.

Závěrem je možné uvést, že nepřesnost výpočtu teoretické potřeby tepla na vytápění je na uvedeném vzorku budov závislá na době výstavby, resp. na tepelně

technickém stavu budovy a zvyšuje se u starších domů s vyšším průměrným součinitelem prostupu tepla U_{em}. Vzhledem k malému vzorku budov není možné posoudit, zda je snižující se odchylka se stářím budov obecným jevem, nebo zda jde o ojedinělý případ. Výpočet potřeby tepla na vytápění nehraje roli pouze u průkazů ENB, ale rozhodujeme se na jeho základě například na finančně výhodné volbě technologie pro výrobu tepla či zateplení domu. V případě nižší, než vypočítané potřebě tepla budovy nám stoupá doba návratnosti investice. U RD 1930 a RD 2005 více než dvojnásobně, v závislosti na reálné potřebě energie domu po provedení úprav.

9 LITERÁRNÍ ZDROJE

[1] COZZA, Stefano, et al. Do energy performance certificates allow reliable predictions of actual energy consumption and savings? Learning from the Swiss national database. Energy and Buildings, 2020, 224: 110235.

[2] GALÁD, V. (2016). Patří denostupňová metoda do archivu? tzb info. Citováno duben 27, 2022, from https://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/14332-patri-denostupnova-metoda-do-archivu

[3] Jak se stát energetickým specialistou? | MPO. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 27.04.2022]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/odborne-cinnosti/jak-se-stat-energetickym-specialistou---36333/

[4] Kontroly průkazů energetické náročnosti ze strany Státní energetické inspekce | *iMaterialy. Portál pro odborníky ve stavebnictví – projektanty, stavaře z praxe, architekty i řemeslníky* | iMaterialy [online]. Copyright © [cit. 27.04.2022]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/legislativa/kontroly-prukazu-energeticke-narocnosti-ze-strany-statni-energeticke-inspekce_44967.html

[5] MATUŠKA, Tomáš, Výukové materiály k předmětu Alternativní zdroje energie, FS ČVUT, Ústav Techniky prostředí

[6] Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Územní teploty. Portál ČHMÚ : Home [online]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#

[7] SCHWARZER, Jan, Výukové materiály k předmětu Energeticá náročnost budov, FS ČVUT, Ústav Techniky prostředí

[8] SVOBODA, Zbyněk. Energie 2020. Https://kcad.cz [online]. 2020 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/

[9] VAVŘIČA, Roman, Výukové materiály k předmětu Zdravotně technické instalace, FS ČVUT, Ústav Techniky prostředí

[10] Výpočet denostupňů – tabulky [online]. Dostupné z: https://ww.vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu

Soupis použitých zákonů

[11] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 17. 5. 2021]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406

Soupis použitých vyhlášek

[12] 264/2020 Sb. Vyhláška o energetické náročnosti budov. Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 27.04.2022]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264

Soupis použitých norem

[13] ČSN EN 15316-1. *Energetická náročnost budov - Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav - Část 1: Obecné požadavky a vyjádření energetické náročnosti, Modul M3-1, M3-4, M3-9, M8-1, M8-4*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 72 p.

[14] ČSN EN 15316-2. *Energetická náročnost budov - Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav - Část 2: Části soustav pro sdílení (vytápění a chlazení), Modul M3-5, M4-5*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 48 p.

[15] ČSN EN 15316-3. *Energetická náročnost budov - Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav - Část 3: Části soustav pro rozvod (teplé vody, vytápění a chlazení), Modul M3-6, M4-6, M8-6*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 36 p.

[16] ČSN EN ISO 52016-1. Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 200 p.

[17] ČSN 73 0331-1. *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. 88 p.

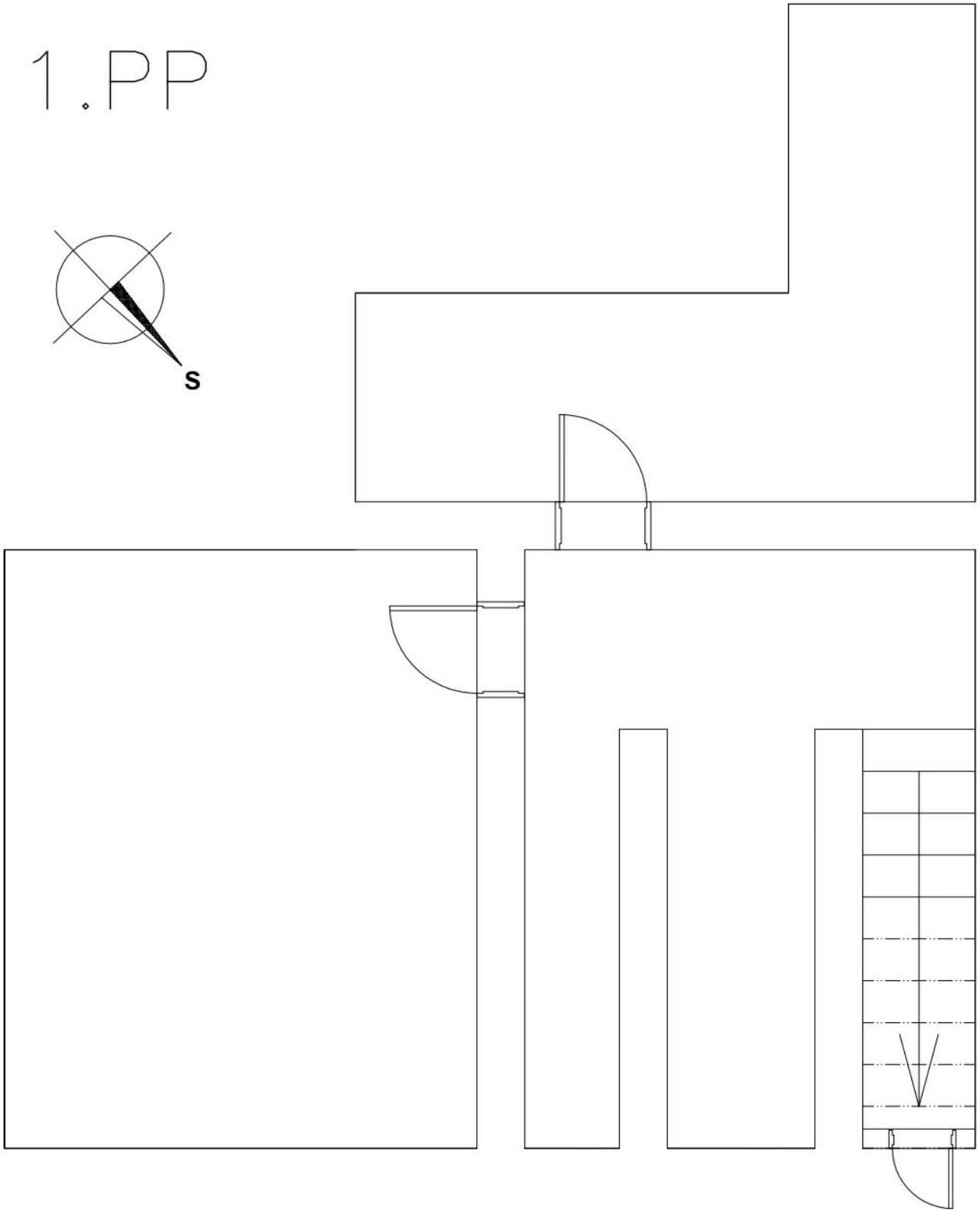
[18] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 p.

[19] TNI 73 0329. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 16 p.

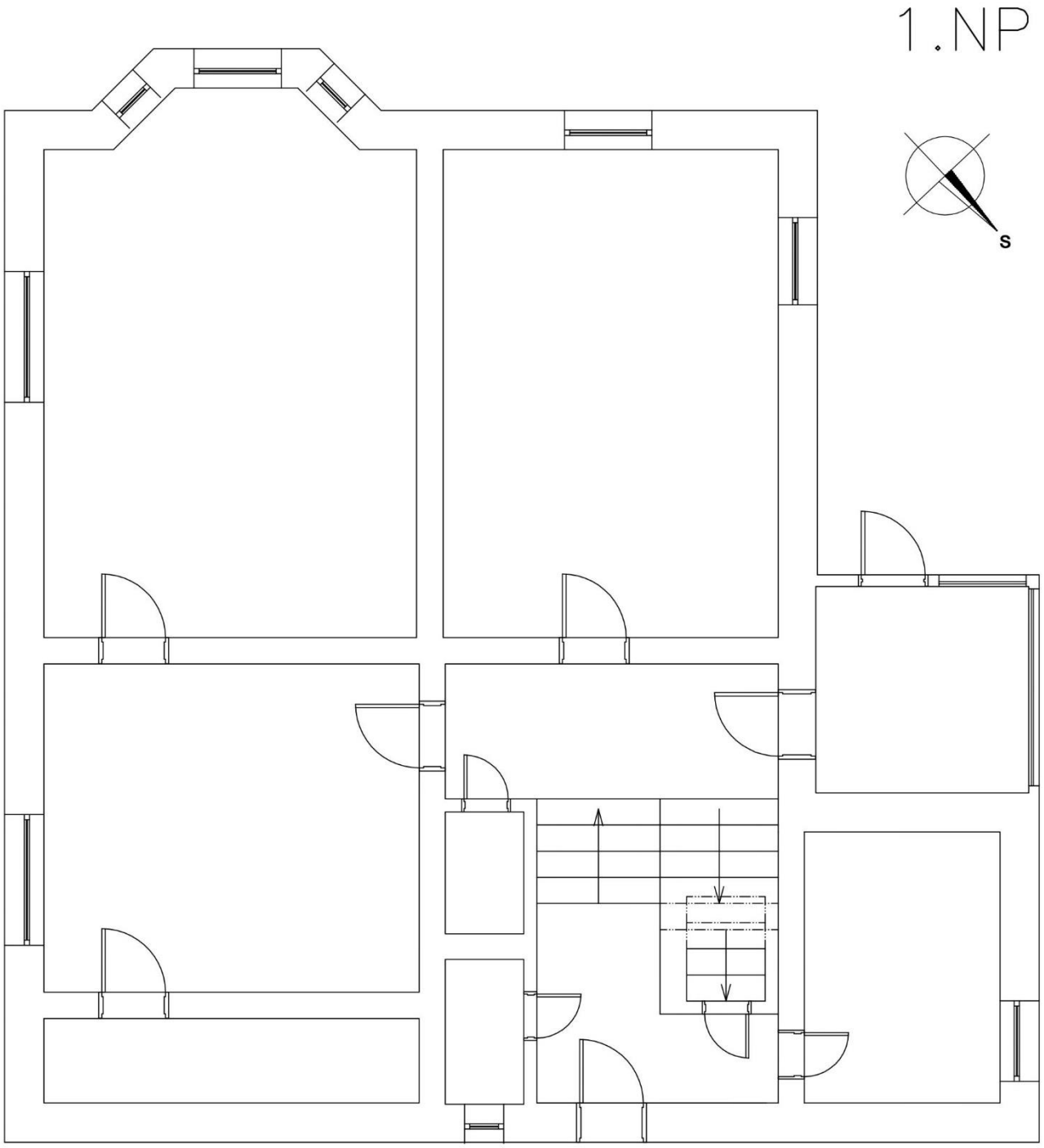
10 SEZNAM PŘÍLOH

1. RD 1930 – půdorys 1.PP
2. RD 1930 – půdorys 1.NP
3. RD 1930 – půdorys 2.NP
4. RD 2005 – půdorys 1.NP
5. RD 2005 – půdorys 2.NP
6. RD 2005 – půdorys 3.NP
7. RD 2015 – půdorys

Příloha č. 1: RD 1930 - půdorys 1.PP

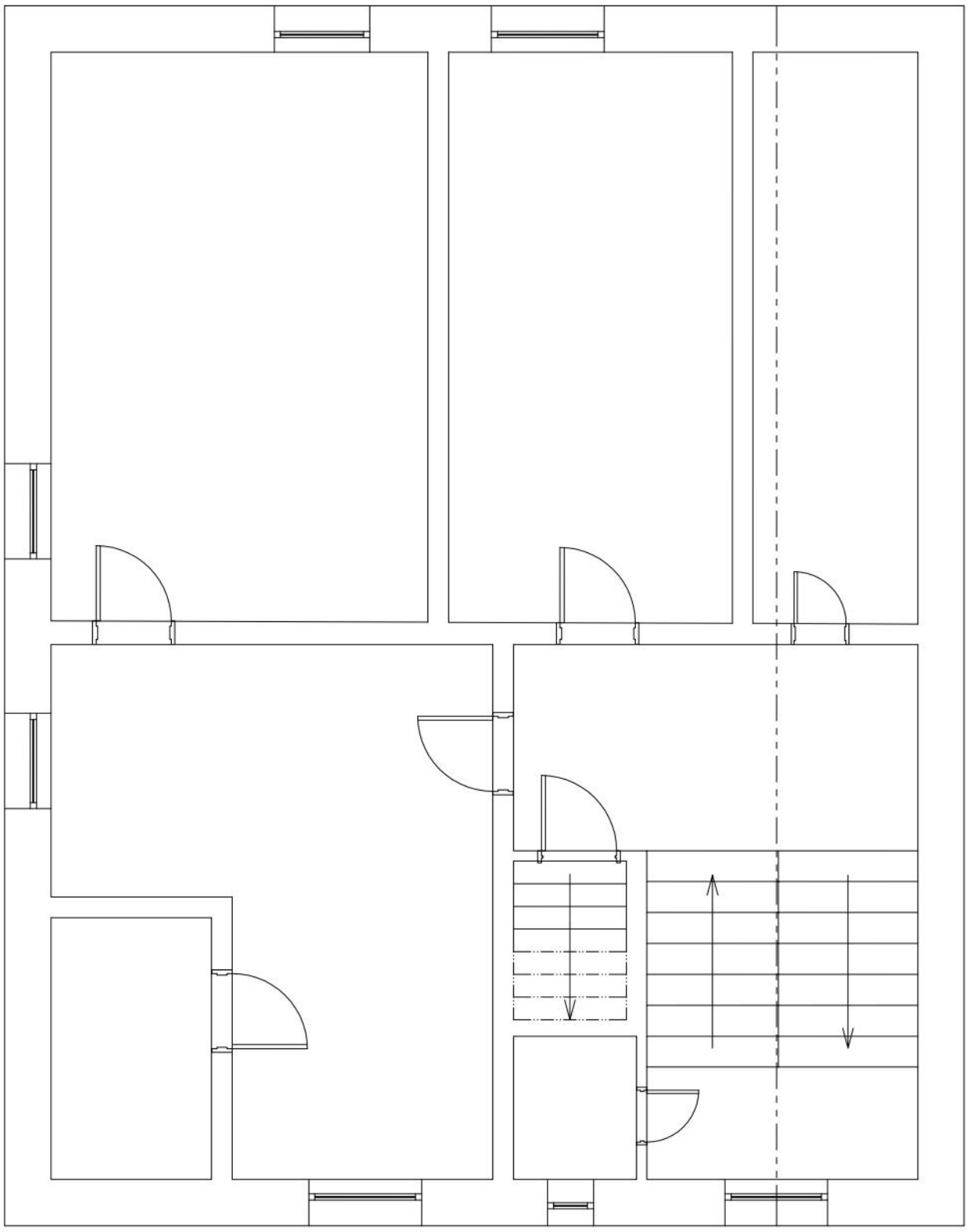


Příloha č. 2: RD 1930 - půdorys 1.NP

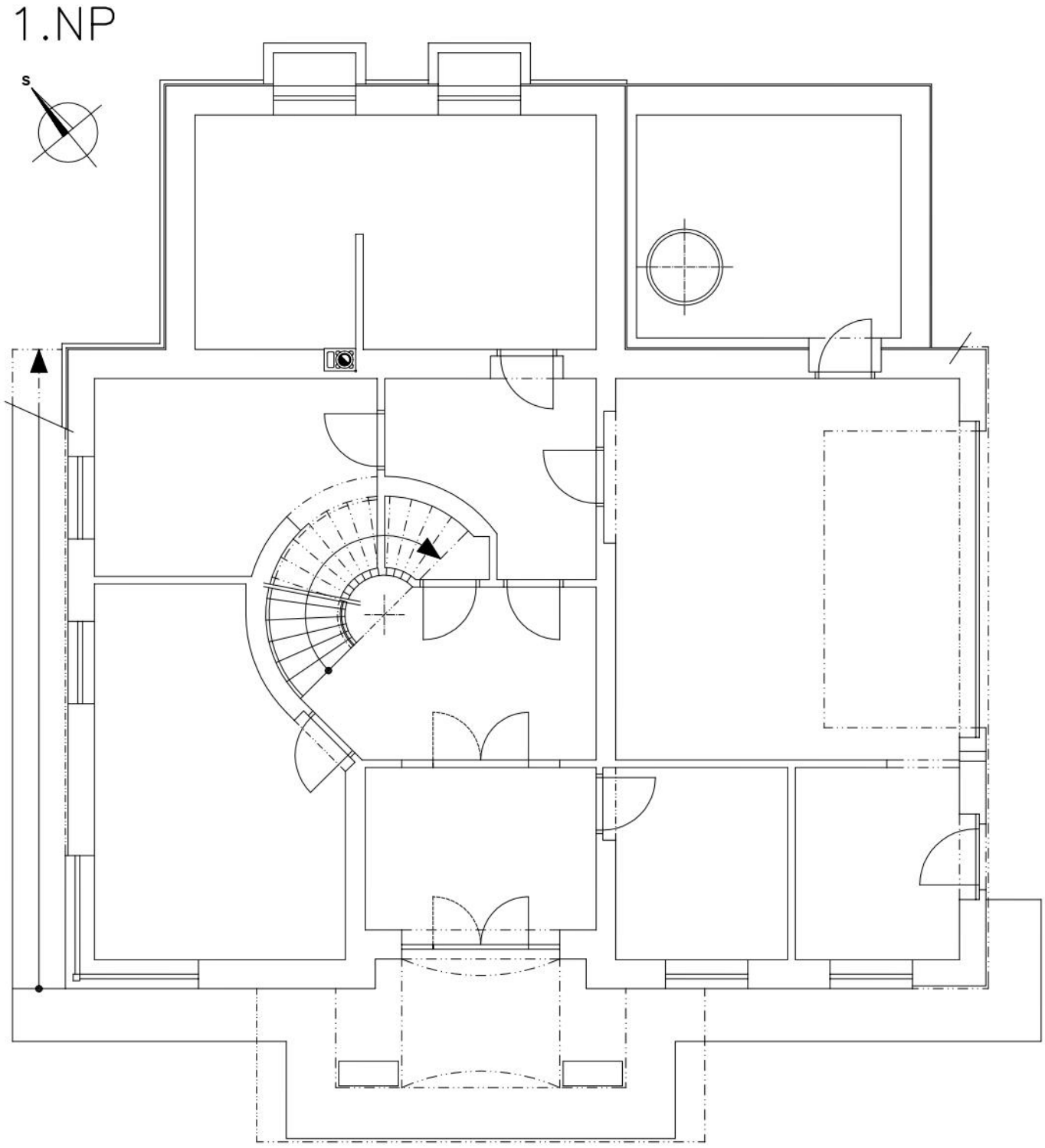


Příloha č. 3: RD 1930 - půdorys 2.NP

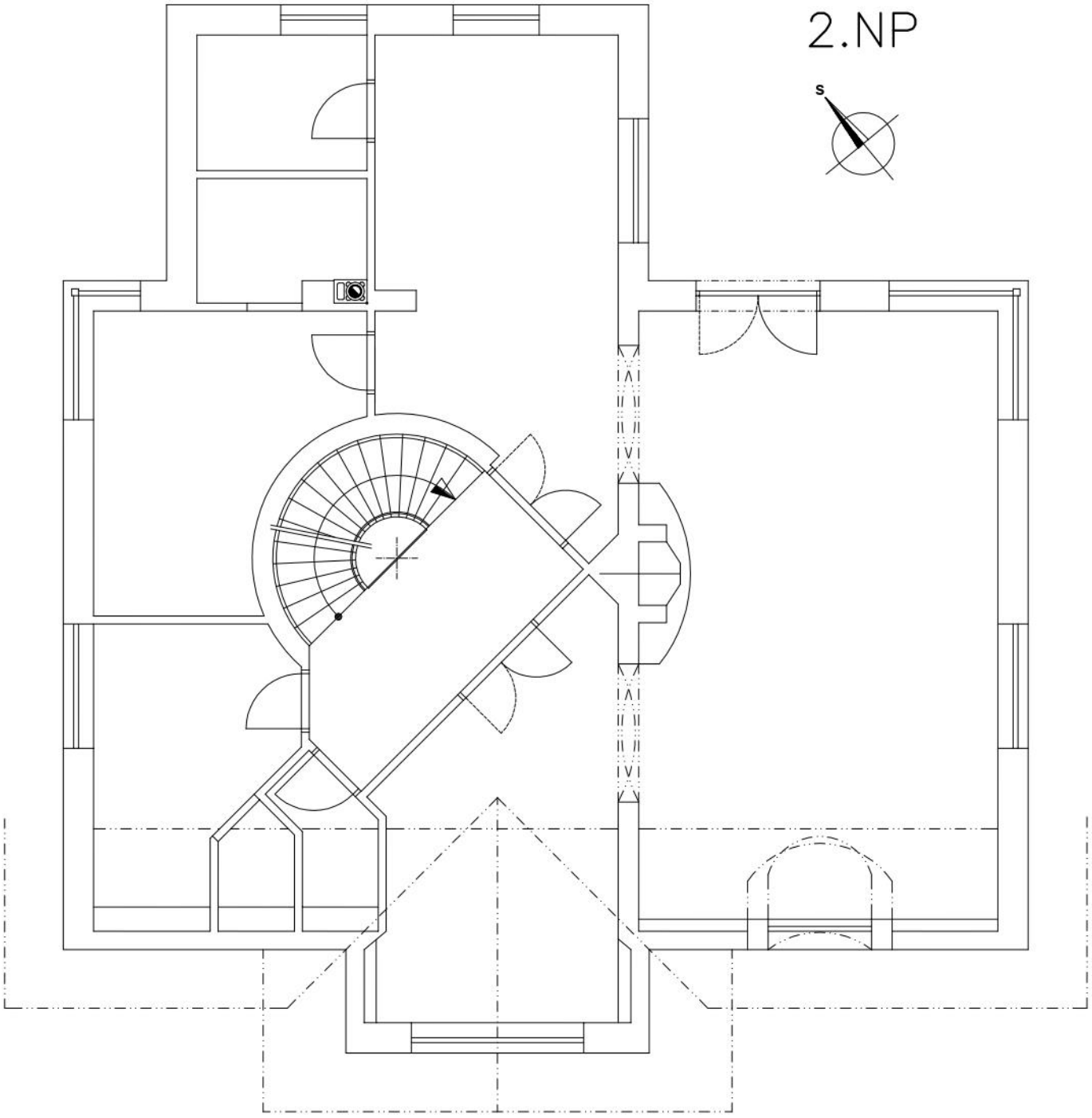
2.NP



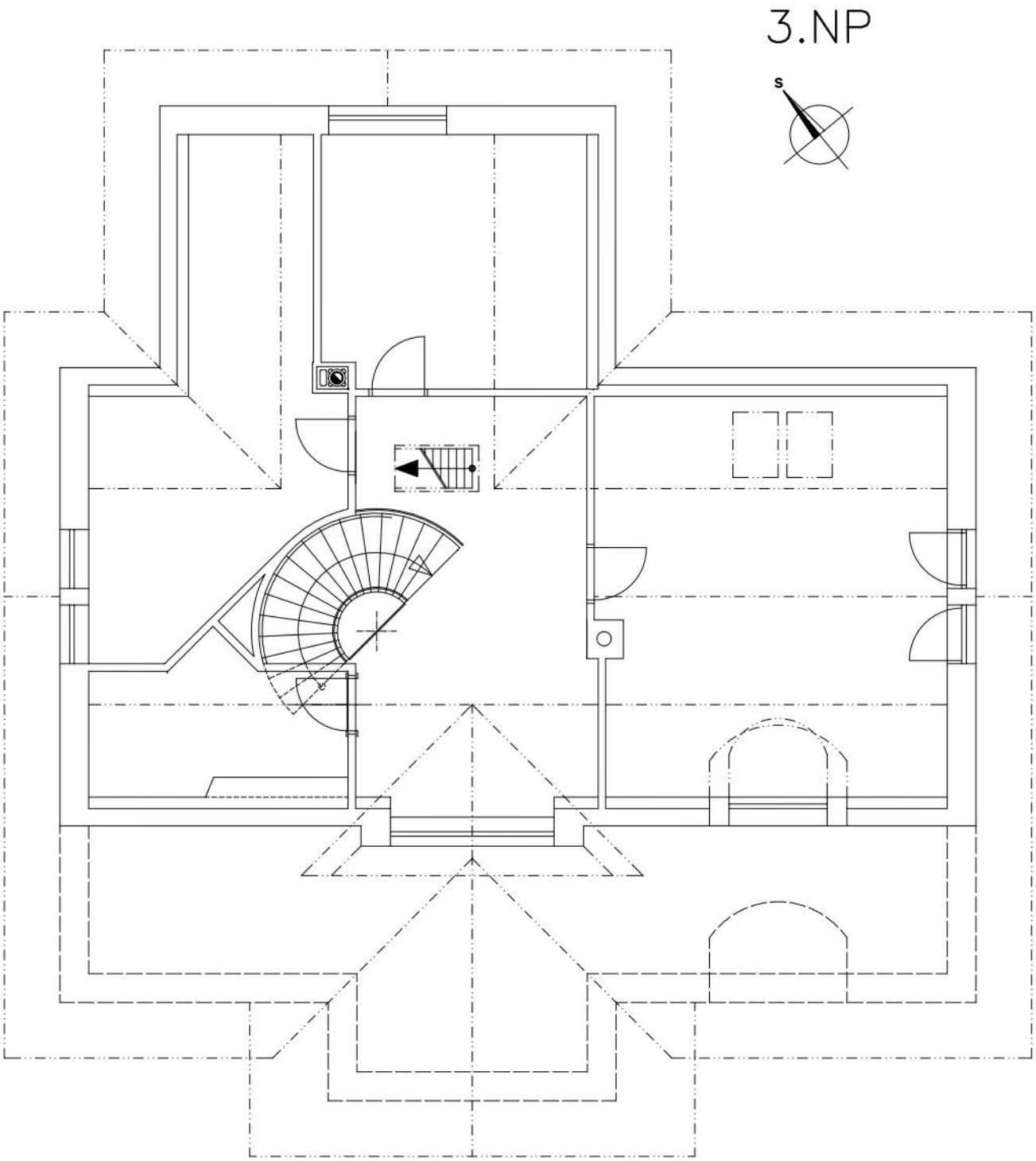
Příloha č. 4: RD 2005 - půdorys 1.NP



Příloha č. 5: RD 2005 - půdorys 2.NP

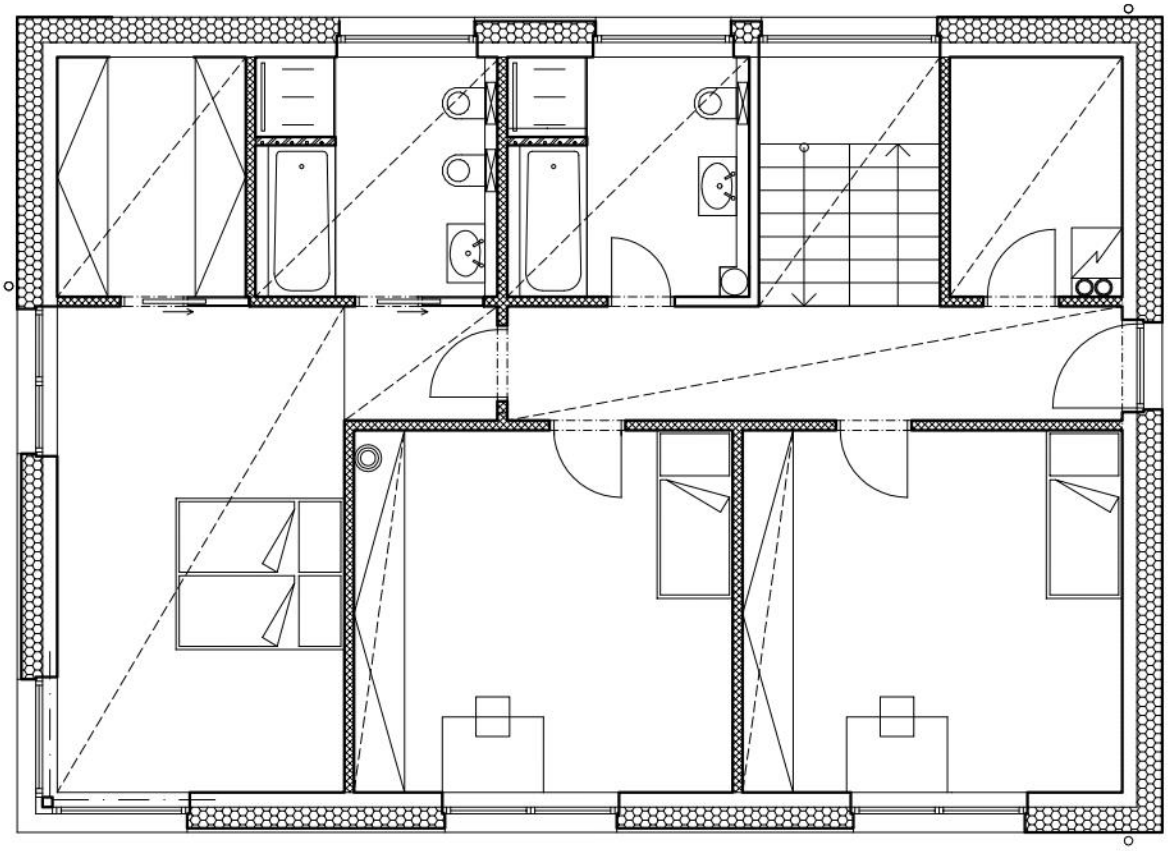
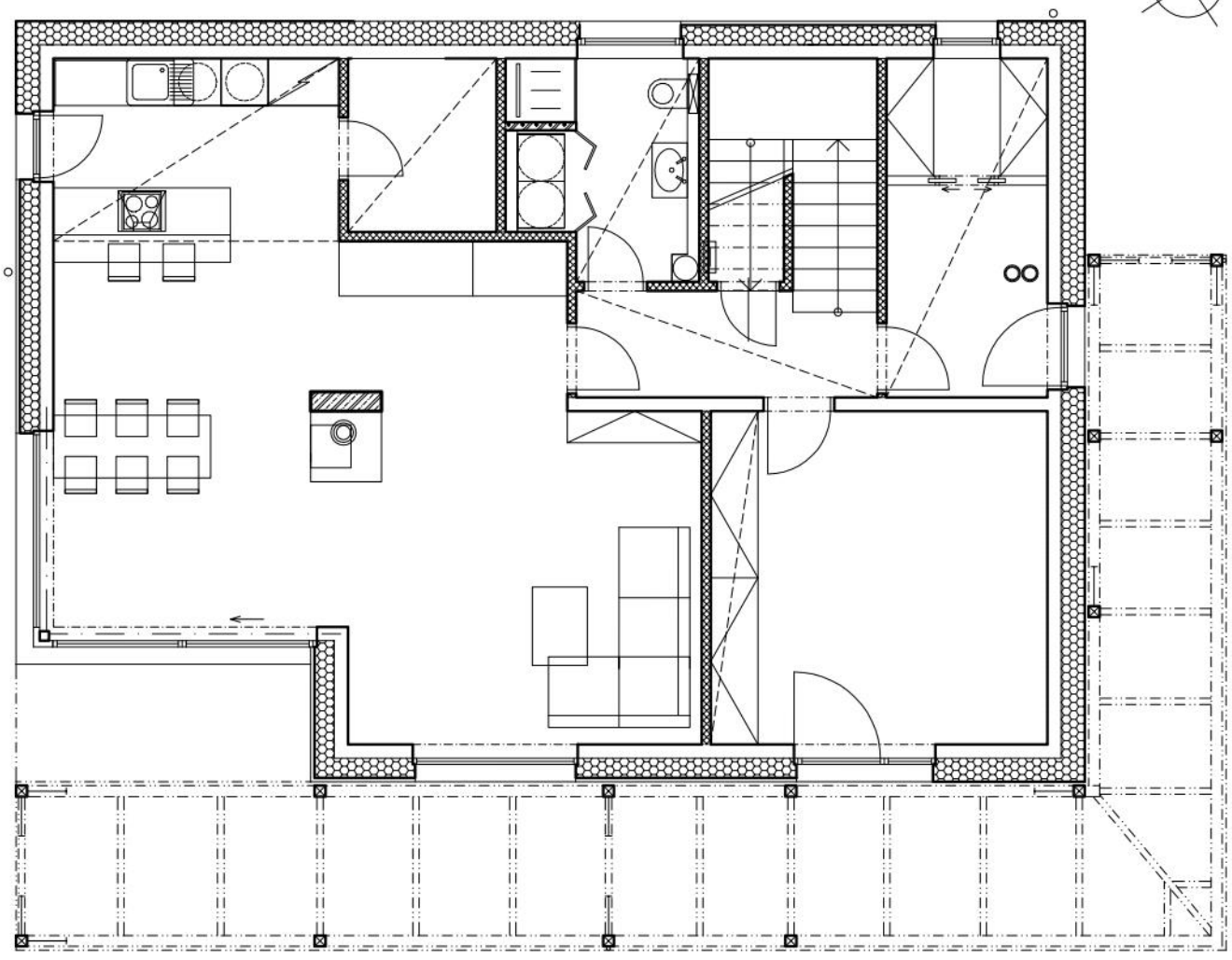


Příloha č. 6: RD 2005 - půdorys 3.NP



Příloha č. 7: RD 2015 - půdorys 1.NP + 2.NP

2.NP



1.NP