



Porovnání výsledků energetického auditu a průkazu energetické náročnosti při hodnocení energetické náročnosti budov

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Petr Gažo**
Vedoucí práce: Ing. Miloš Müller, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Comparison of results of Energy audit and Energy Performance Certificate for the rating of the energy efficiency of buildings

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Petr Gažo**
Supervisor: Ing. Miloš Müller, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr Gažo
Osobní číslo: S15000452
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Název tématu: Porovnání výsledků energetického auditu a průkazu energetické náročnosti při hodnocení energetické náročnosti budov
Zadávací katedra: Katedra energetických zařízení

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracování přehledu současných přístupů pro hodnocení energetické náročnosti budov
2. Přehled zásadních rozdílů při využití energetického auditu a průkazu energetické náročnosti při hodnocení energetické náročnosti budov
3. Vyhodnocení energetické náročnosti budovy pro vybraný objekt s využitím energetického auditu a průkazu energetické náročnosti
4. Porovnání obou přístupů a vysvětlení zásadních rozdílů

Rozsah grafických prací: 10
Rozsah pracovní zprávy: 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií
2. Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov
3. Vyhláška č. 480/2012 Sb. Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku
4. HORÁK, P.; UHER, P.; FORMÁNEK, M.; RUBINA, A.; RUBINOVÁ, O.; VRÁNA, J.; KALOUSEK, M.; KUKLÍNKOVÁ, H., Energetické hodnocení budov, spec. publikace, ISBN 978-80-214-5274-9, VUTIUM - Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2015

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miloš Müller, Ph.D.**
Katedra energetických zařízení
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Hujer**
Katedra energetických zařízení

Datum zadání bakalářské práce: **21. listopadu 2016**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. února 2018**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. února 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 19.06.2018

Podpis: 

Anotace

Tato práce je zaměřena na porovnání výsledků při hodnocení energetické náročnosti budov pomocí energetického auditu a průkazu energetické náročnosti budov. V prvním kroku jsou popsány principy obou metod. V další části je naznačena metodika fyzikálního přístupu k výpočtu energetické náročnosti budov. Pro vlastní porovnání energetického auditu a PENB byl zvolen bytový dům. Pro výpočet energetické náročnosti budovy bylo nutné definovat všechny potřebné parametry. Pomocí programu NKN byl sestaven PENB a následně dopočítány hodnoty nutné pro energetický audit. Výsledky PENB a energetického auditu jsou porovnány pomocí grafů a tabulek. V závěru práce jsou shrnuty nejdůležitější rozdíly.

Klíčová slova: PENB, Průkaz energetické náročnosti budovy, energetický audit, NKN, Energetická náročnost bytového domu

Annotation

This thesis is focused on comparison of results of Energy audit and Energy Performance Certificate for the rating of the energy efficiency of buildings. In the first step it describes principles of both methods. Next part indicates physical approach to calculation of energy efficiency of buildings. Apartment building was chosen for the actual comparison of Energy audit and Energy Performance Certificate for the rating of the energy efficiency of buildings. For the calculation of energy efficiency was necessary to determine parameters of chosen building. After that thesis shows creation of Energy Performance Certificate with help of the software NKN and it determines necessary values for Energy audit. Results of Energy audit and Energy Performance Certificate for the rating of the energy efficiency of buildings are compared in charts and tables. Final part summarizes the most important differences.

Keywords: Energy audit, Performance Certificate for the rating of the energy efficiency of buildings, NKN, Energy efficiency of buildings

Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam grafů.....	10
Seznam tabulek.....	11
Použité symboly.....	12
1. Úvod.....	14
2. Vysvětlení základních pojmů.....	15
3. Přehled současných přístupů k hodnocení energetické náročnosti budov.....	16
3.1 Zákon o hospodaření s energiemi.....	16
3.2 Průkaz energetické náročnosti budovy.....	16
3.3 Energetický audit.....	16
3.4 Energetický posudek.....	17
4. Přehled rozdílů v přístupu k hodnocení energetické náročnosti budov.....	18
4.1 Průkaz energetické náročnosti budovy.....	18
4.2 Energetický audit.....	19
4.3 Přehled rozdílů mezi oběma přístupy.....	20
5. Hodnocení energetické náročnosti.....	21
5.1 Zóny budovy.....	21
5.2 Určení energetické náročnosti budovy.....	22
5.2.1 Definování parametrů pro referenční budovu.....	23
5.3 Metodika určení dílčích energií.....	25
5.3.1 Metodika výpočtu energie potřebné pro vytápění dle ČSN EN 13 790.....	26
6. Vyhodnocení energetické náročnosti budovy pomocí výpočtového modulu NKN.....	29
6.1 Představení výpočetního nástroje NKN.....	29
6.1.1 Stavební část.....	29
6.1.2 Definování technických systémů.....	30
6.1.3 Výsledková část.....	30
6.2 Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí PENB.....	31
6.2.1 Popis objektu.....	31
6.2.2 Rozčlenění do zón.....	32
6.2.3 Identifikace konstrukcí.....	33
6.2.4 Popis zón budovy.....	34

6.2.5	Konstrukce budovy.....	36
6.2.6	Příprava teplé vody.....	36
6.2.7	Energetická bilance pomocí PENB pro bytový dům.....	36
6.3	Výpočet energetické náročnosti pro bytový dům pomocí EA.....	37
6.3.1	Stanovení spotřeby jednotlivých technologií.....	37
6.3.2	Celková účinnost systému na vytápění.....	38
6.3.3	Ztráty systémů na vytápění a ohřev vody.....	38
6.3.4	Energetická bilance budovy hodnocené pomocí EA.....	39
6.4	Porovnání výsledků EA a PENB pro bytový dům.....	40
6.4.1	Popis grafického průkazu PENB.....	40
6.4.2	Rozdíly v poměrném zastoupení dílčích energií u PENB a EA.....	43
6.4.3	Rozdíly v poměrném zastoupení energonositelů u PENB a EA.....	44
7.	Porovnání obou přístupů.....	45
8.	Shrnutí a závěr.....	46
9.	Použité informační zdroje.....	47

Seznam obrázků

Obrázek	1	Vzor PENB.....	16
Obrázek	2	Princip určení rozměrů jednotlivých zón u vícezónových budov.....	21
Obrázek	3	Výpočtové schéma energetické bilance na systémové hranici.....	22
Obrázek	4	Schéma ztrát tepla prostupem nevytápěným podlažím.....	28
Obrázek	5	Úvodní obrazovka výpočtového modulu NKN.....	30
Obrázek	6	Suterén.....	32
Obrázek	7	První patro.....	32
Obrázek	8	Patra 2- 12.....	32
Obrázek	9	Metodika určování jednotlivých rozměrů zón.....	34
Obrázek	10	Vyhodnocení energetické náročnosti podle vyhlášky 78/2013 část 1.....	42
Obrázek	11	Vyhodnocení energetické náročnosti podle vyhlášky 78/2013 část 2.....	43

Seznam grafů

Graf 1	Poměrné zastoupení jednotlivých dílčích energií u PENB.....	44
Graf 2	Poměrné zastoupení jednotlivých spotřeb energií u EA.....	44
Graf 3	Poměrné zastoupení jednotlivých energonositelů u PENB.....	45
Graf 4	Poměrné zastoupení jednotlivých energonositelů u EA.....	45

Seznam tabulek

Tabulka 1	Energetická bilance sestavená podle metodiky EA.....	19
Tabulka 2	Souhrnný přehled rozdílů mezi EA a PENB.....	20
Tabulka 3	Určení parametrů pro rozřazení do jednotlivých tříd.....	23
Tabulka 4	Součinitele prostupu tepla.....	33
Tabulka 5	Objemy a plochy.....	34
Tabulka 6	Přehled účinností pro obě zóny.....	35
Tabulka 7	Specifické hodnoty větrání.....	35
Tabulka 8	Energetická bilance PENB stanovená výpočtovým modulem NKN.....	36
Tabulka 9	Spotřeba elektrické energie v bytech.....	37
Tabulka 10	Přibližné určení spotřeby plynu.....	37
Tabulka 11	Celková spotřeba spotřebičů v budově.....	38
Tabulka 12	Celkové ztráty při ohřevu vody a vytápění.....	38
Tabulka 13	Energetická bilance budovy hodnocené pomocí EA.....	39
Tabulka 14	Porovnání výsledků EA a PENB.....	40

Použité symboly

Zkratka	Význam	Jednotka
A_j	Plocha konstrukce určená z vnějších rozměrů	[m ²]
A_k	Plocha stavebních částí dotýkajících se zeminy	[m ²]
A_G	Plocha konkrétní podlahové konstrukce	[m ²]
$A_{a,z}$	Energeticky vztažná plocha	[m ²]
$A_{f,z}$	Užitná plocha	[m ²]
b_j	Teplotní redukční činitel pro j-tou konstrukci	[-]
b_u	Teplotní redukční činitel zohledňující teplotní rozdíl mezi nevytápěnou místností a venkovním prostředím	[-]
B'	Charakteristický parametr	[-]
ΔU_{emR}	Přirážka na vliv tepelných vazeb	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
ΔU_{tb}	Korekční součinitel závislý na druhu stavební části	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
e_k	Korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům	[-]
EA	Energetický audit	[-]
E_R	Měrná dodaná energie pro referenční budovu	[kWh / (m ² rok)]
η_{Hem}	Účinnost sdílení tepla systému vytápění	[-]
η_{Hdis}	Účinnost rozvodů tepla pro vytápění	[-]
f_r	Redukční činitel hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	[-]
f_{g1}	Korekční činitel dán roční změnou venkovní teploty	[-]
f_{g2}	Teplotní redukční činitel reflektující rozdíl roční průměrné venkovní a výpočtové venkovní teploty	[-]
F_{gli}	korekční činitel rámu průsvitného prvku	[-]
F_D	Součinitel závislosti na denním světle	[-]
F_o	Součinitel závislosti na obsazenosti	[-]
$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla pro vytápěnou zónu	[kW]
g_{gli}	Součinitel propustnosti slunečního záření	[-]

Zkratka	Význam	Jednotka
G_W	Korekční činitel postihující vliv spodní vody	[-]
H_{tie}	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěné zóny do venkovního prostředí obálkou budovy	[W . K ⁻¹]
H_{tue}	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěné zóny do venkovního prostředí nevytápěnou zónou	[W . K ⁻¹]
$H_{T,ie}$	Součinitel tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí	[W . K ⁻¹]
$H_{T,iue}$	Součinitel tepelné ztráty nevytápěnou zónou	[W . K ⁻¹]
$H_{T,ig}$	Součinitel tepelné ztráty do přilehlé zeminy	[W . K ⁻¹]
nOZE	Neobnovitelné zdroje energie	[-]
n_{50}	Součinitel intenzity výměny vzduchu za 1 hodinu	[h ⁻¹]
OZE	Obnovitelné zdroje energie	[-]
P	Obvod uvažované podlahové konstrukce	[m]
PENB	Průkaz energetické náročnosti budov	[-]
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru	[°C]
θ_{im}	Převažující návrhová vnitřní teplota v zóně	[°C]
θ_e	Výpočtová venkovní teplota	[°C]
$U_{N\ 20\ R\ j}$	Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla teplosměnné konstrukce pro $\theta_{im}=20^\circ\text{C}$	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
$U_{em\ R\ j}$	Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla j-té zóny budovy	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
$U_{em\ R}$	Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla vícezónové budovy	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
$U_{em,N\ 20\ R}$	Základní průměrná hodnota součinitele prostupu tepla jednozónové budovy	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
U_k	Součinitel prostupu tepla stavební části	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
U_{equiv}	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
U_{kc}	Korigovaný součinitel prostupu tepla stavební částí	[W . m ⁻² . K ⁻¹]
$V_{a,z}$	Vnější objem zóny	[m ³]
$V_{V,z}$	Intenzita výměny vzduchu v zóně	[m ³ . h ⁻¹]

1. Úvod

Podle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov tvoří spotřeba budov přibližně 40% z celkové spotřeby energie v EU. Snížení spotřeby energie spolu se zvýšením podílu energie z obnovitelných zdrojů v sektoru budov hraje důležitou roli ve snižování energetické závislosti a produkce skleníkových plynů. Z tohoto důvodu bylo přijato usnesení o snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020 o 20%. Stanovení minimálních požadavků na energetickou náročnost budov bylo ponecháno v kompetenci jednotlivých členských států s tím, že by mělo být dosaženo optimální úrovně mezi vyšší investice a energií ušetřenou během životního cyklu budovy [1]. Energetickou náročností budovy rozumíme dle zákona č. 406/2000 Sb. vypočtené množství energie potřebné pro zajištění provozu budovy (vytápění, ohřev vody, chlazení, četnost výměny vzduchu, úpravu vlhkosti vzduchu a osvětlení) [2]. Snížení spotřeby energie v rodinných či obytných domech lze dosáhnout tepelnou izolací obálky budovy, výměnou nevyhovujících oken, nákupem energeticky úspornějších spotřebičů, výměnou kotle apod. Snížení tepelných ztrát obálkou u stávajících budov se může provést buďto kontaktním zateplením (pěnový polystyren, minerální vata atd.) nebo speciální izolační omítkou. Kontaktní zateplení (obzvláště polystyrenem) s sebou nese rizika v podobě plísní v budově, jelikož v kombinaci s výměnou oken dojde k "utěsnění" obálky objektu a v budově se vlivem nedostatečného větrání začne držet vlhkost. U novostaveb lze použít zdivo, které už samo o sobě splňuje požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla bez nutnosti dalšího zateplení. Na základě zákona č. 406/2000 Sb. od 01.01.2020 bude muset žadatel o stavební povolení doložit téměř nulovou spotřebu u budov s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 50 m² [2]. Cesta ke splnění tohoto požadavku u rodinných domů vede hlavně přes stavební materiály s velmi nízkým součinitelem prostupu tepla resp. dodatečné zateplení, kde se dostáváme až na hranici pasivního domu, jelikož ne vždy je možné či výhodné využít alternativní zdroje energie tak, aby došlo k dosažení požadované hodnoty primární neobnovitelné energie [3]. S tím jsou spojené zvyšující se nároky na projektování a zhotovení stavby či dodatečné rekonstrukce. Dalším krokem ke snižování energetické náročnosti budov je používání kotlů s vysokou účinností. Snižování energetické náročnosti se samozřejmě týká i průmyslu. Zde ale nějaké plošné opatření lze zavést jen obtížně, jelikož spotřeba energie na vytápění nemusí nutně znamenat hlavní energetickou zátěž konkrétního objektu.

2. Vysvětlení základních pojmů

- vnitřní prostředí je definované výpočtovými parametry uvnitř zóny (dáno teplotou, relativní vlhkostí vzduchu a četností výměny vzduchu uvnitř zóny a požadovanou intenzitou osvětlení uvnitř zóny [3])
- vnějším prostředím se rozumí prostředí mimo hodnocenou budovu [3]
- standardizovaným užíváním rozumíme provoz budovy či její části, který odpovídá vnitřním a vnějším podmínkám, který je stanoven za účelem výpočtu energetické náročnosti budovy [3]
- přirozené větrání je větrání založené na principu tlakového a teplotního rozdílu vnějšího a vnitřního vzduchu [3]
- energonositel je medium sloužící k výrobě mechanické práce nebo jako zdroj energie pro výrobu tepelné či elektrické energie [3]
- spotřeba energie udává množství energie, které je nutné pro umožnění standardizovaného užívání, jsou zde zohledněny i účinnosti jednotlivých systémů [3]
- primární energie je energie, která neprošla žádným zpracovatelským procesem [3]
- faktorem neobnovitelné primární energie zohledňujeme efektivitu zisku energie z daného energonositele [3]
- referenční budova je budova stejné velikosti, tvaru, orientace ke světovým stranám, a se shodným standardizovaným užíváním, vnitřním uspořádáním, zastíněním od okolní zástavby a stejnými klimatickými údaji jako budova hodnocená, ale s referenčními tepelně technickými vlastnostmi budovy (součinitele prostupu tepla, účinnosti technických systémů atd.) [3]
- budovou navrženou na nákladově optimální úrovni rozumíme budovu, u které hodnoty celkové dodané energie, neobnovitelné primární energie a součinitele prostupu tepla nepřesahují referenční hodnotu
- obálkou budovy rozumíme stavební prvek, který odděluje vnitřní prostředí hodnocené budovy od venkovního prostředí [2]
- větší změnou budovy rozumíme změnu, která se týká alespoň 25 % plochy obálky budovy a nebo ovlivní minimálně 25 % celkové spotřeby energie budovy [2]
- technické systémy jsou zařízení, která slouží k vytápění, úpravě vzduchu a větrání, ohřevu vody a k osvětlení v budově [2]

3.Přehled současných přístupů k hodnocení energetické náročnosti budov

3.1 Zákon o hospodaření s energiemi

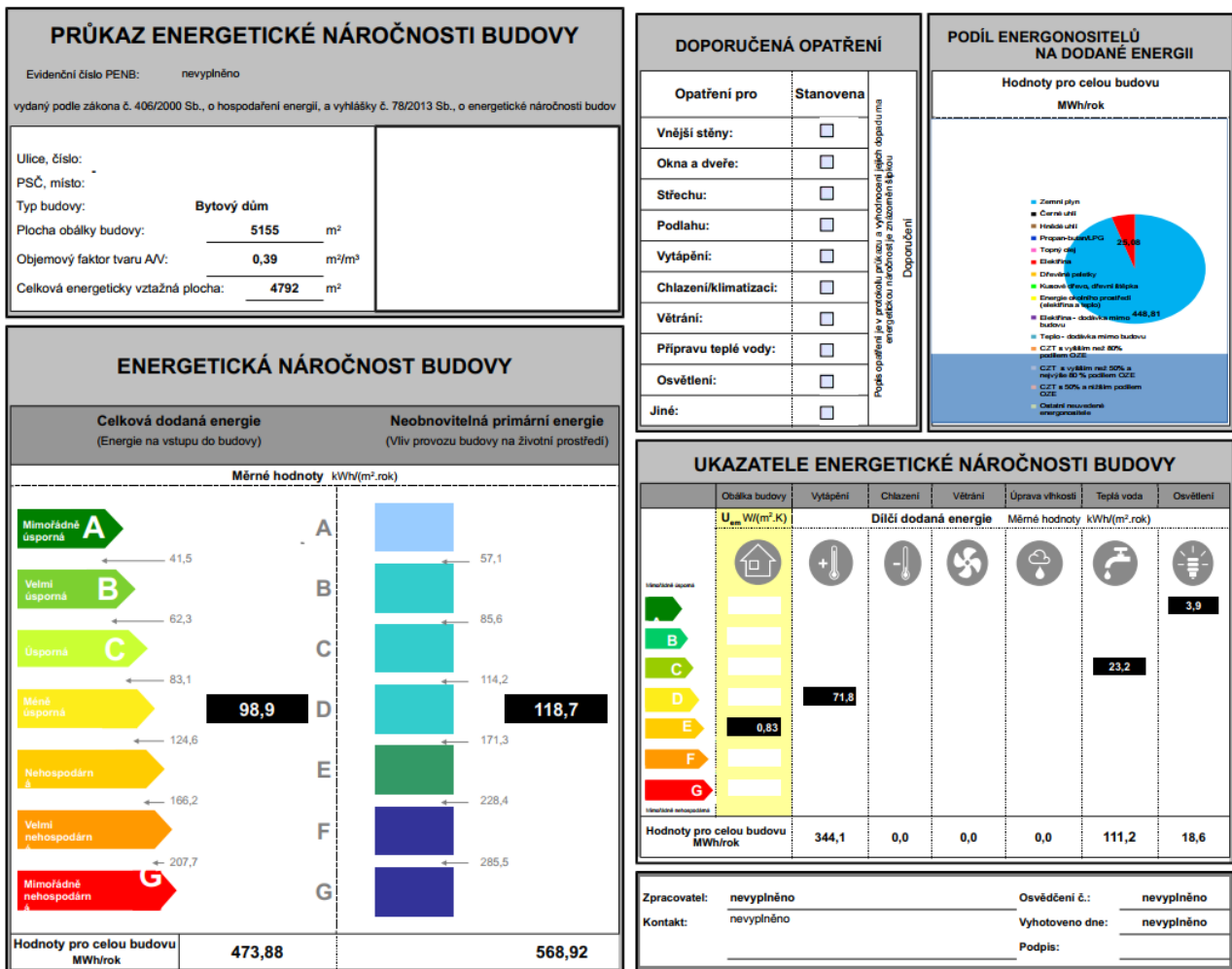
Energetické hodnocení budov v ČR vychází ze zákona č. 406/2000 sb. o hospodaření s energiemi. Z tohoto zákona vychází vyhláška č. 78/2013 Sb., podle které se vyhotovuje průkaz energetické náročnosti budov a vyhláška č. 480/2012 Sb., která definuje vypracování energetického auditu a energetického posudku [2].

3.2 Průkaz energetické náročnosti budovy

Jedná se o dokument, který slouží jako vyhodnocení energetické náročnosti budovy nebo samostatně fungující části budovy [2]. Hodnocení energetické náročnosti zohledňuje způsob užívání budovy, její technický stav a i použité technické systémy. Průkaz zahrnuje dvě části a to grafický průkaz (zobrazen na obrázku 1), který sumarizuje podstatné výstupy a protokol, kde jsou uvedeny detaily výpočtu. Dokument nemusí vždy zohledňovat skutečnou spotřebu energie, ale spíše ukazuje, zda je hodnocená budova z pohledu užití energie lepší nebo horší než referenční budova. Platnost je 10 let od data vyhotovení a nebo, dokud nedojde k provedení větší změny budovy, případně do změny způsobu hospodaření s energií (změna technických systémů na výrobu energií) [3].

3.3 Energetický audit

Energetickým auditem se rozumí dokument obsahující informace o skutečném nebo předpokládaném využití energie v rámci energetického hospodářství. Energetickým hospodářstvím mohou být budovy nebo jejich části, technologické procesy a postupy a mnohé další [2]. Energetický audit představuje detailní analýzu využívání energie a její vyhodnocení, na základě kterého lze stanovit opatření vedoucí ke snížení spotřeby energie. Energetický audit je podrobnější i časově náročnější než Průkaz energetické náročnosti budovy, protože zahrnuje teoreticky veškeré spotřeby energie.



Obrázek 1: Vzor PENB

3.4 Energetický posudek

Dalším opatřením může být energetický posudek, který slouží k posouzení plnění předem stanovených parametrů (mohou být technického, ekologického nebo ekonomického rázu). Požadavky a vyhodnocení výsledků určuje zadavatel [4].

4. Přehled rozdílů v přístupu k hodnocení energetické náročnosti budov

4.1 Průkaz energetické náročnosti budovy

PENB vyhodnocuje energetickou náročnost za základě celkem dodané energie za rok. Ta je dána součtem jednotlivých dílčích energií potřebných pro zajištění navrženého standardizovaného užívání. Z hodnoty dodané energie získáme na základě použitých energonositelů hodnotu neobnovitelné primární energie. Tyto dvě hodnoty spolu s průměrným součinitelem prostupu tepla nesmějí překročit hodnotu vypočítanou pro referenční budovu, aby bylo možné budovu považovat za energeticky vyhovující, a tudíž navrženou na nákladově optimální úrovni [3].

Součástí PENB je posouzení technologické, ekonomické a ekologické proveditelnosti systémů dodávajících energii z obnovitelných zdrojů. Pod pojmem technologická proveditelnost se skrývá možnost instalace a provozu systému bez poškození stavby. Ekonomickým hlediskem se rozumí doba návratnosti nižší, než je předpokládaná životnost zařízení. Při ekologickém hodnocení projektu nesmí dojít k navýšení neobnovitelné primární energie oproti stávajícímu stavu. V případě, že dojde k odhalení nedostatků navrhne energetický specialista opatření pro snížení energetické náročnosti budovy. Jednotlivá opatření se týkají pouze snížení energetické náročnosti budovy. Platí zde podobné požadavky jako u proveditelnosti alternativních systémů. Opatření musí být technicky realizovatelné a bez rizika poškození stavby s návratností kratší než je její předpokládaná životnost. Vhodnost navrhnutého řešení se vyhodnocuje na základě snížení celkové dodané a neobnovitelné primární energie [3].

Při zpracování PENB za účelem prodeje či pronájmu nemusí být jeho součástí posouzení realizovatelnosti alternativních systémů dodávek energie a ani nemusí obsahovat návrhy úsporných opatření. PENB pro novou budovu se vypracovává s posouzením proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie, ale návrhy úsporných opatření se vynechávají, jelikož se u nových staveb předpokládá dostatečná energetická úspornost [5 s. 21].

4.2 Energetický audit

Energetický audit vyhodnocuje účinnosti užití energie ve zdrojích energie, v rozvodech energie a ve významných spotřebičích. Posuzuje též tepelně technické vlastnosti budov [4].

Pro vypracování EA je nutné mimo technické dokumentace objektu dodat údaje o [4][6]:

- o dodaných energiích za předcházející 3 roky včetně průměrných výhřevností
- systémech určených na výrobu energie z vlastních zdrojů (konkrétní model, jmenovitý výkon, rok výroby, účinnost)
- rozvodech energie (rozměry, technický stav, parametry izolace)
- významných spotřebičích (stručný popis, jmenovitý výkon, délka a četnost provozu)
- tepelně technických vlastnostech budov (jejich účel, informace o provedených úpravách)
- zda je či není zaveden systém managementu hospodaření energií podle ČSN EN ISO 50001

Pokud nejsou některé údaje k dispozici, je nutné provést náležitá měření. Následně energetický auditor sestaví energetickou bilanci dle tabulky 1 [4]. Při jejím sestavování se vychází ze spotřeby spotřebičů a měla by být sestavena za období, kdy známe skutečnou spotřebu energie (z vyúčtování a nejlépe i vlastního měření), aby bylo možné odhalit případné nesrovnalosti. Na základě zjištěných nedostatků navrhne úsporná opatření [11].

Tabulka 1: Energetická bilance sestavená podle metodiky EA [4]

ř.	Ukazatel	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie			
2	Změna zásob paliv			
3	Spotřeba paliv a energie (ř. 1 + ř.2)			
4	Prodej energie cizím			
5	Konečná spotřeba paliv a energie (ř.3 - ř.4)			
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie (z ř.5)			
7	Spotřeba energie na vytápění (z ř.5)			
8	Spotřeba energie na chlazení (z ř.5)			
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody (z ř.5)			
10	Spotřeba energie na větrání (z ř.5)			
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti (z ř.5)			
12	Spotřeba energie na osvětlení (z ř.5)			
13	Spotřeba energie na technologické a ost. procesy (z ř.5)			

4.3 Přehled rozdílů mezi oběma přístupy

Tabulka 2: Souhrnný přehled rozdílů mezi EA a PENB

	EA	PENB
Povinnost vyhotovení	Při celkové spotřebě energie energetického hospodářství nad 35000 GJ a pouze pro budovy se spotřebou nad 700 GJ	Před výstavbou nové budovy, při prodeji či pronájmu budov nebo jejich částí
Stanovení vnitřních podmínek (vnitřní teplota, četnost výměny vzduchu, atd.)	Stanovují se měřením na základě skutečného užívání. U bytových domů lze též použít standardizované profily užívání.	Lze použít standardizovaných profilů užívání
Vnější podmínky (klimatická data)	Používají se klimatické údaje pro konkrétní lokalitu	Možnost použití standardizovaných hodnot dle TNI 730331
Spotřeba energie na provoz technologií	ANO - (na základě skutečných spotřeb jednotlivých spotřebičů, pokud jsou k dispozici)	NE
Ostatní	Může být proveden i pro technologický proces	-

V tabulce 2 vidíme, že použití PENB u obytných budov je podstatně běžnější než v případě EA. Největším rozdílem v sestavování energetické bilance je definování vnitřních a vnějších podmínek a potřeba energie na provoz spotřebičů či výrobních technologií.

5. Hodnocení energetické náročnosti

Hodnocení energetické náročnosti budov je velmi komplikovaný proces, který vyžaduje komplexní znalosti z oborů stavební fyziky, mechaniky, termodynamiky a dalších.

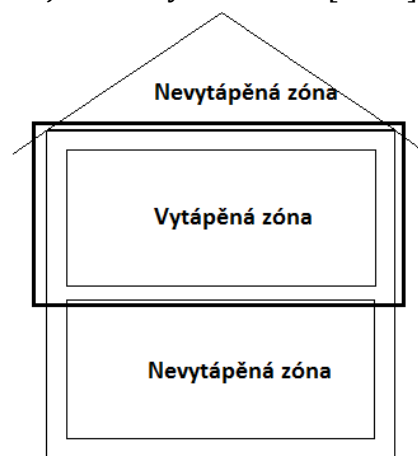
5.1 Zóny budovy

Vzhledem k různému způsobu využití (ať už se jedná o nároky na teplotu a častější výměnu vzduchu nebo třeba 24 hodinové provozu) budov nebo jejich částí nelze budovu při jejím hodnocení uvažovat jako celek, ale je nutné budovu rozdělit. Na začátku výpočtu je tedy nutné budovu rozdělit do zón. Zónou rozumíme část objektu, které je přiřazen konkrétní profil standardizovaného užívání. Jednotlivé profily užívání se liší vnitřními podmínkami (teplota, vlhkost vzduchu, četnost výměny vzduchu) a dále dobou a četností užívání místností [8 s. 47].

V bytových domech se nacházejí místnosti:

- vytápěné (obytné prostory)
- vytápěné částečně nebo nepřímo (společné prostory obklopené vytápěnými místnostmi)
- nevytápěné (půdní prostory s více ochlazovanými stěnami apod.)

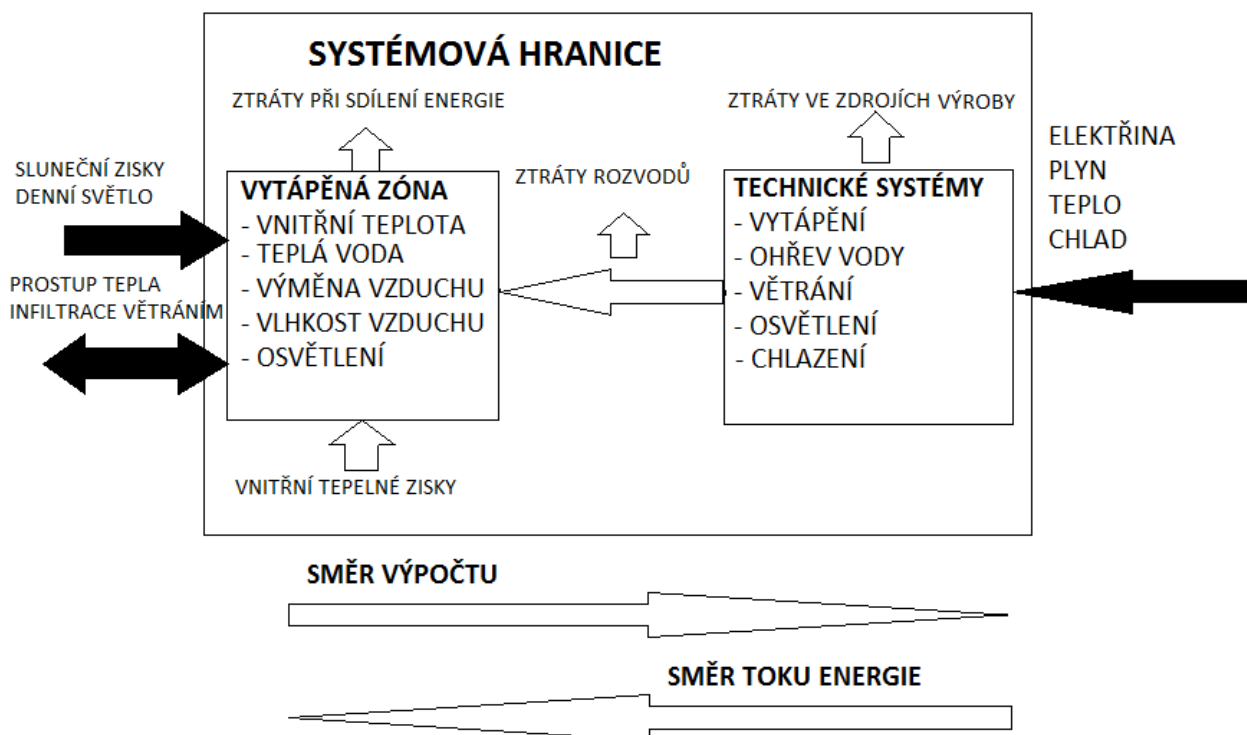
Za hranice zóny považujeme vnější rozměry místnosti nebo části objektu tak, že stěna oddělující vytápěnou a nevytápěnou místnost se celá přiřadí zóně vytápěné podle obrázku 2. Správné rozdělení budovy do zón může vzhledem k rozdílným provozním podmínkám značně ovlivnit výslednou energetickou náročnost. Výsledná dodaná energie do budovy se vypočítá jako součet spotřeby energií v jednotlivých zónách [7 s. 4].



Obrázek 2: Princip určení rozměrů jednotlivých zón u vícezónových budov [7 s. 5]

5.2 Určení energetické náročnosti budovy

Výpočet se provádí od potřeby energie k jejímu zdroji, což je proti toku energie (např. nejprve stanovíme požadovanou vnitřní teplotu, následně zjišťujeme celkovou dodanou energii nutnou k jejímu udržení, a až z této hodnoty získáme množství primární energie) na systémové hranici tak, jak je naznačeno na obrázku 3 [8 s. 7].



Obrázek 3: Výpočtové schéma energetické bilance na systémové hranici [8 s. 8]

Celková dodaná energie je součet spotřeby energie nutné k zajištění profilu užívání v hodnocené zóně a pomocné energie nutné pro provoz technických systémů. Započítáváme zde i zisky z obnovitelných zdrojů (slunce, vítr, geotermální energie). Do celkové hodnoty nezapočítáváme energii dodanou mimo budovu. Hodnota celkové dodané energie je dána součtem jednotlivých dílčích energií a udává se po jednotlivých energonositelích [3].

Energetickou náročnost počítáme za ustáleného stavu s délkou časového intervalu maximálně jednoho měsíce. Pro tento časový interval uvažujeme ustálený teplotní stav. Dynamické vlivy zavedeme vyčíslením využití tepelné kapacity budovy, účinností technických systémů a vyčíslením využití tepelných zisků. Ve výpočtu jsou zahrnuty jednotlivé prvky tepelné soustavy (výroba tepla, rozvod, sdílení, akumulace). Určujícím faktorem energetické

náročnosti jsou vnitřní podmínky. Na jejich základě budově přiřadíme profil nebo profily užívání. Vnější podmínky zahrnují klimatické vlivy (venkovní teplota, intenzita slunečního záření, atd.) [8 s. 7].

Výpočet provádíme na základě technické dokumentace budovy a jeho postup se řídí vyhláškou č. 78/2013 Sb. U dokončených budov (v případě větší rekonstrukce, apod.) je nutné, aby vstupní údaje odpovídaly skutečnému stavu. Energetickou náročnost posuzujeme podle hodnot vypočtených pro referenční budovu. Budova vyhovuje, pokud vypočtené hodnoty nejsou vyšší než hodnoty pro referenční budovu. Hodnocení náročnosti je rozděleno do 7 tříd, které se značí velkými písmeny od A do G. Rozřazení do jednotlivých tříd určených horní hranicí celkové dodané energie je provedeno dle tabulky 3 [3].

Tabulka 3: Určení parametrů pro rozřazení do jednotlivých tříd [3]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U _{em}	
A	0,5 × ER	0,65 × ER	Mimořádně úsporná
B	0,75 × ER	0,8 × ER	Velmi úsporná
C	ER		Úsporná
D	1,5 × ER		Méně úsporná
E	2 × ER		Nehospodárná
F	2,5 × ER		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

E_R je měrná hodnota energie dodané pro referenční budovu. S ohledem na přehlednost a srozumitelnost se při prodeji či pronájmu v reklamních a informačních materiálech používá zjednodušená varianta, která obsahuje pouze třídu energetické náročnosti a její měrnou hodnotu vztaženou na energeticky vztažnou plochu [3].

5.2.1 Definování parametrů pro referenční budovu

5.2.1.1 Průměrný součinitel prostupu tepla jednozónové budovy $U_{em,R}$

Jednozónové budovy nejsou běžné, ale tento postup se používá i pro konkrétní zónu u vícezónových budov [3].

a) pro $\theta_{i,m} = 18^\circ C - 22^\circ C$ včetně, $\theta_{i,m} \geq 18^\circ C$ u budov s nízkou spotřebou energie [3]:

$$U_{em,R} = U_{em,N.20.R} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (1)$$

b) pro ostatní hodnoty $\theta_{i,m}$ [3]:

$$U_{em.R} = U_{em.N.20.R} \cdot \frac{16}{\theta_{i,m} - 4} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2)$$

kde $U_{em,N.20.R}$ je základní průměrná hodnota součinitele prostupu tepla jednozónové budovy

kde θ_{im} je převažující návrhová vnitřní teplota v zóně podle ČSN 730540-2

5.2.1.2 Požadovaná základní hodnota průměrného součinitele prostupu tepla jednozónové budovy $U_{em,N.20.R}$

Stanoví se jako vážený průměr požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla $U_{N.20}$ všech konstrukcí obálky [3]:

$$U_{em.N.20.R} = f_r \cdot \frac{\sum_j (U_{N.20.R.j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum_j (A_j + \Delta U_{em.R})} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (3)$$

kde A_j je plocha konstrukce (z vnějších rozměrů) [m^2]

kde b_j je teplotní redukční činitel pro j-tou konstrukci [-]

kde f_r je redukční součinitel hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla podle předpokládané efektivity využití energií ($f_r=1$ pro dokončenou budovu) [-]

kde ΔU_{emR} je přírážka na vliv tepelných vazeb [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

kde $U_{N.20.Rj}$ je hodnota součinitele prostupu tepla pro $\theta_{i,m}=20^\circ\text{C}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

5.2.1.3 Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla vícezónové budovy

Tento postup se běžně používá u obytných budov, jelikož se v nich běžně vyskytuje

více zón [3]:

$$U_{em.R} = \frac{\sum_j (U_{em.R.j} \cdot V_j)}{\sum_j (V_j)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4)$$

kde U_{emRj} je hodnota součinitele prostupu tepla dle kapitol 5.2.1.1 a 5.2.1.2 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

5.3 Metodika určení dílčích energií

a) Energií potřebná na vytápění dle kombinace norem ČSN EN 13 790 a ČSN EN 15 316

Pro určení energií spojených s vytápěním se kombinují normy ČSN EN 13 790 (výpočet potřeby tepla pro budovu) a norma ČSN EN 15 316 (tepelné soustavy pro vytápění v budovách). Popisuje výpočtovou metodu pro stanovení energetických potřeb a účinností soustav. Podle svého určení norma ČSN EN 15 316 se dále dělí na [3]:

- ČSN EN 15316-1 - obsahuje všeobecné požadavky
- ČSN EN 15316-2 - slouží k definování sdíleného tepla při vytápění a určení ztrát rozvodů
- ČSN EN 15316-4 - tato část se zabývá :
 - výrobou tepla pro vytápění
 - zdroji tepla na vytápění (kotle, tepelná čerpadla)
 - kombinovanou výrobou elektřiny a tepla
 - dálkovým vytápěním a soustavami
 - fotovoltaickými systémy
 - spalováním biomasy
 - teplovzdušným a stropním sálavým vytápěním

b) Energie potřebná na chlazení dle ČSN EN 13 790 [3]

c) Energie potřebná na přípravu TUV dle ČSN EN 15 316- 3 [3]

d) Energie potřebná na větrání dle [3]:

- ČSN EN 15665 - výkonová kritéria pro větrací systémy obytných budov
- ČSN EN 15241 - energetické ztráty způsobené větráním a infiltrací v komerčních budovách
- ČSN EN 15242 - stanovení množství protékajícího vzduchu v budovách včetně filtrace
- ČSN EN 15243 - tepelná zátěž a teploty v místnostech s klimatizačními systémy

e) Energie potřebná na osvětlení dle ČSN EN 15193 -energetické požadavky na osvětlení [3]

5.3.1 Metodika výpočtu energie potřebné pro vytápění dle ČSN EN 13 790

5.3.1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla pro vytápěnou zónu

Jelikož vytápěný prostor má vyšší výpočtovou teplotu, musíme vypočítat tepelnou ztrátu. Součinitel tepelné ztráty pro místnosti vytápěné na jinou výpočtovou teplotu jsem v tomto výpočtu vynechal, protože v mém případě mám pouze jednu vytápěnou zónu [9]. Určíme podle vztahu [9 s. 29]:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

kde H_{tie} je součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěné zóny do venkovního prostředí obálkou budovy [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$]

kde H_{tue} je součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěné zóny do vnějšího prostředí nevytápěnou zónou [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$]

kde H_{tig} je součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěné zóny do zeminy [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$]

kde $\theta_{int,i}$ je vnitřní výpočtová teplota vytápěné zóny [$^{\circ}\text{C}$]

kde θ_e je výpočtová venkovní teplota [$^{\circ}\text{C}$]

5.3.1.2 Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie}$ pro stanovení tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

Jednotlivé zóny jsou v kontaktu s venkovním prostředím prostřednictvím obálky budovy, což znamená, že dochází ke ztrátám do venkovního prostředí, které určíme ze vztahu [9 s. 29 - 30]:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (6)$$

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (7)$$

kde U_{kc} je korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části včetně tepelných mostů

kde U_k je součinitel prostupu tepla stavební části [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

kde ΔU_{tb} je korekční součinitel (závisí na druhu stavební části) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

kde e_k je korekční činitel zohledňující povětrnostní vlivy [-]

5.3.1.3 Součinitel tepelné ztráty $H_{T,iue}$ pro stanovení tepelné ztráty nevytápěnou zónou

Vytápěná zóna přímo přiléhá k zóně nevytápěné, kde dochází k tepelným ztrátám vlivem uvažovaných rozdílných teplot, a důsledkem je její ohřev. Určíme podle vztahu [9 s. 30]:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (8)$$

kde b_u teplotní redukční činitel (ovlivněný teplotním rozdílem mezi nevytápěnou zónou a venkovním prostředím)

Teplotní redukční činitel b_u se stanoví z [9 s. 30]:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (9)$$

kde $\theta_{int,i}$ je vnitřní výpočtová teplota vytápěné zóny [°C]

kde θ_u je teplota nevytápěné zóny [°C]

kde θ_e je teplota venkovního prostředí [°C]

5.3.1.4 Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ig}$ pro stanovení tepelné ztráty zeminou

Podlahová deska suterénu leží na zemině, tudíž je nutné vypočítat ztráty do přilehlé zeminy podle vztahu [9 s. 30 - 31]:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_W \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (10)$$

kde f_{g1} je korekční součinitel, který je dán roční změnou venkovní teploty

kde f_{g2} je teplotní redukční činitel reflektující rozdíl roční průměrné venkovní a výpočtové venkovní teploty stanovený ze vztahu:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (11)$$

kde A_k je plocha stavebních částí přiléhajících k zemině [m²]

kde U_{equiv} je součinitel prostupu tepla stavební konstrukce, který je dán typologií podlahy [W · m⁻² · K⁻¹]

kde G_W je korekční činitel zahrnující vliv spodní vody. Uvažuje se při předpokládané vzdálenosti mezi vodní hladinou spodní vody a podlahou na zemině < 1 m, $G_W = 1,00$ pro předpokládanou vzdálenost větší než 1 m

Charakteristický parametr B' se stanoví podle vztahu [9 s.31]:

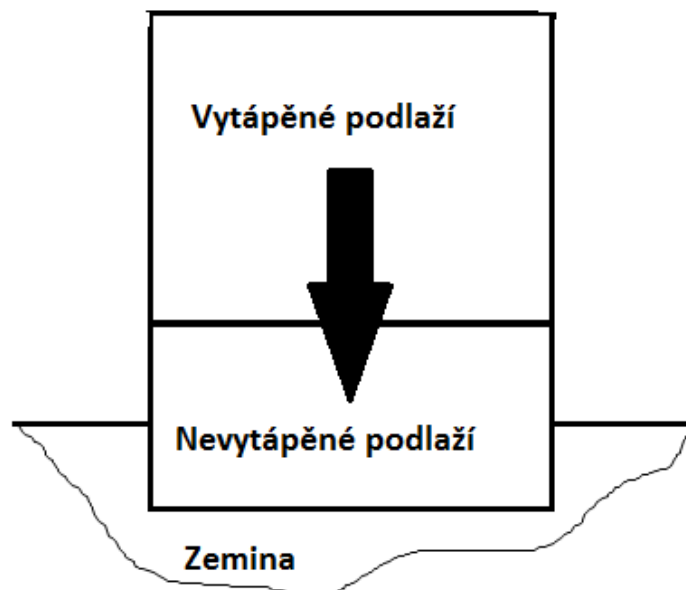
$$B' = \frac{A_G}{0,5 - P} \quad [-] \quad (12)$$

kde A_G je plocha konkrétní podlahové konstrukce [m^2]

kde P je obvod uvažované podlahové konstrukce [m]

5.3.1.5 Nevytápěné podzemní podlaží

Suterén mnou hodnocené budovy je částečně zapaštěný pod zem. Výpočet provedeme stejným způsobem jako při určení součinitele tepelné ztráty nevytápěnou místností. Hodnotu součinitele prostupu tepla pro strop vypočteme stejným způsobem, jako pro stropní konstrukci bez vlivu zeminy. Směr prostupu tepla nevytápěným podzemním podlažím je naznačen na obrázku 4 [9 s. 36].



Obrázek 4: Schéma ztrát tepla prostupem nevytápěným podlažím [9 s. 36]

6. Vyhodnocení energetické náročnosti budovy pomocí výpočtového modulu NKN

6.1 Představení výpočetního nástroje NKN

Výpočtový modul NKN byl vytvořen na Stavební fakultě ČVUT v programu MS Excel za účelem usnadnění výpočtu energetické náročnosti budov. Modul byl vytvořen tak, aby uživatel musel zadávat co nejméně hodnot, a tím se minimalizovala šance na chybu. Metodika výpočtu odpovídá požadavkům vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, a tudíž ji lze použít pro vystavení průkazu o energetické náročnosti budovy, díky čemuž jej mohou používat energetičtí auditoři a osoby oprávněné vyhotovovat PENB. Modul v sobě obsahuje klimatická data vycházející z normy TNI 730331 přílohy C (starší verze pracovaly se 4 teplotními oblastmi dle ČSN 73 0540-3). Pro libovolnou lokalitu je každému měsíci přiřazena průměrná hodnota (venkovní teplota, intenzita slunečního záření, apod.). Jsou zde předdefinované profily standardizovaného užívání za účelem. Modul je rozčleněn na 3 sekce - stavební prvky, energetické systémy a část s výsledky - které jsou dále rozděleny na listy, jejichž řazení a obsah odpovídají postupu výpočtu PENB. Jednotlivé listy jsou zobrazeny na obrázku 5 [13].

6.1.1 Stavební část

a) Identifikační údaje budovy

Uživatel zadá údaje o vlastníkovi a další formální údaje o hodnoceném objektu. Tento list nemá vliv na výpočet [13].

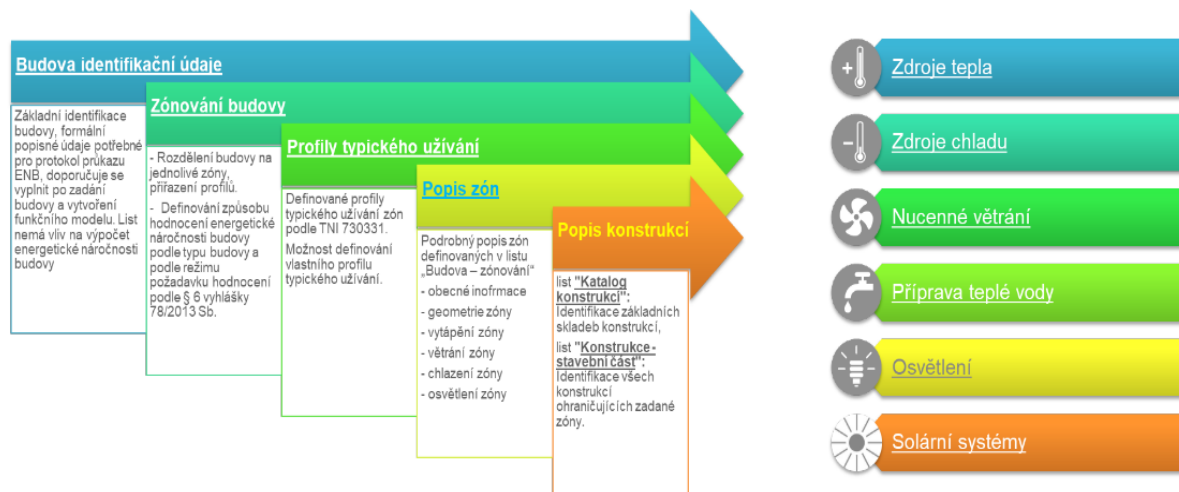
b) Katalog konstrukcí

Slouží k pojmenování jednotlivých konstrukcí a nadefinování jejich polohy a funkce v budově (funkce se volí z přednastaveného menu) [13].

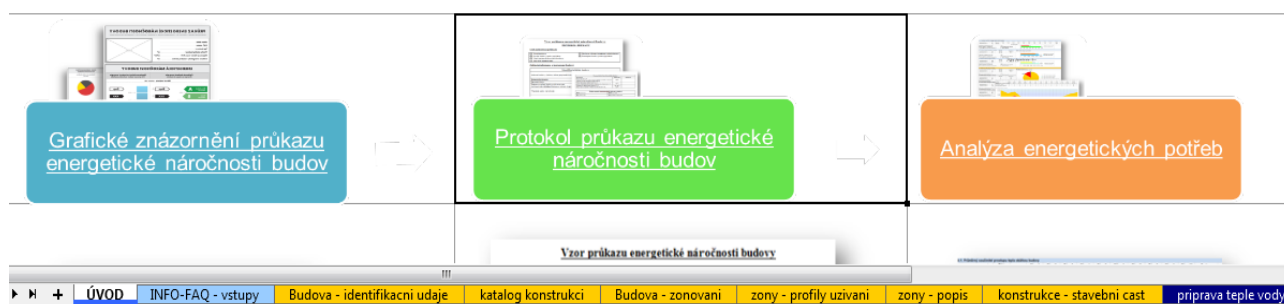
c) Zónování budovy a profily užívání

Jak už název napovídá, zde se budova rozdělí na zóny. Pro každou zónu je zde nutné zadat vnější objemy jednotlivých zón, energeticky vztažnou plochu a profil standardizovaného užívání. Profilů standardizovaného užívání je zde uloženo 48. Každý profil je přiřazen typu budovy, pro kterou je určen. Uživatel má možnost si nadefinovat 5 vlastních profilů [13].

NKN - navigace zadání modelu budovy



NKN - výstupy



Obrázek 5: Úvodní obrazovka výpočtového modulu NKN [13]

6.1.2 Definování technických systémů

Sekce technických systémů je rozdělena na 5 listů podle svého určení (příprava teplé vody, vzduchotechnika, zdroje tepla, zdroje chladu a solární systémy). Uživatel přiřadí jednotlivým zónám energonositel pro přípravu TUV a pro vytápění a definuje provozní parametry pro každý systém [13].

6.1.3 Výsledková část

Zde modul zobrazí průkaz energetické náročnosti a detailní rozpis energetických potřeb. Pro podrobnou analýzu provozu objektu je detailní rozpis nejdůležitějším výstupem, PENB slouží pouze pro uspokojení legislativy a jako srozumitelnější varianta výstupu pro veřejnost [13].

6.2 Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí PENB

6.2.1 Popis objektu

Bytový dům se nachází v Liberci v ulici Bezová 277. Panelový dům byl postaven v roce 1978, skládá se z 12 nadzemních podlaží, ve kterých se nachází 71 bytových jednotek. Objekt je podsklepen. Suterén je umístěn částečně pod zemí. Ve sklepních prostorách nalezneme 3 sušárny, z čehož pouze 2 slouží ke svému účelu, a 1 slouží jako technická místnost. Jednotlivé byty obklopují společné chodby a schodiště. K přemísťování osob či nákladů se zde využívají 2 výtahy (1 osobní pro 6 osob o nosnosti 450kg a 1 nákladní pro 13 osob použitelný do 1000 kg). Objekt je vytápěn plynem pomocí kotelny, která je umístěna mimo objekt. V kotelně dochází též k ohřevu teplé vody. Ohřev vody zprostředkovává kondenzační kotel [12]. Specifikace technických systémů jsem obdržel od pana Ing. Petr Novotného Csc., který v tomto objektu bydlí. Zásobování vody zajišťují čerpadla, která regulují své otáčky na konstantní tlak s nastavenou konstantní výtlačnou výškou 3 m, ale čerpadlo zvládá i 8 m. Maximálního hydraulického výkonu čerpadel tudíž není nikdy dosaženo. Čerpadla teplé vody pracují v přerušovaném režimu, to znamená, že plní 2 zásobníky o kapacitě 350 litrů. Rozvody vody určené k vytápění vedou byty a sklepy, mají odstupňované průměry i ve vratném potrubí, a většina není izolována. Teplota TV je nastavena v rozmezí 46 až 53 °C. Provozní hodnota se pohybuje kolem těchto hodnot dle okamžitého odběru vody a polohy teploměru. Teploměr není integrační a měří teplotu zhruba v polovině zásobníku tak, že teplota na hladině může překračovat při ohřevu 53 °C, a u dna může být menší než 46 °C. Výška každého podlaží je 2,8 m. Vnější stěny slouží jako nosná konstrukce budovy. Uprostřed železobetonových panelů nalezneme izolační vrstvu polystyrenu. Tloušťka jednotlivých vrstev se liší v závislosti na umístění panelu [12]:

- nadzemní nosná konstrukce – tloušťka 290 mm (150 mm železobeton, 80 mm polystyren , 60 mm vnější železobetonová vrstva)
- podzemní nosná konstrukce – tloušťka 240 mm (150 mm železobeton, 40 mm polystyren, 50 mm vnější železobetonová vrstva)

Střecha obsahuje mimo železobetonových desek ještě izolační vrstvu z minerální plsti (100 mm) a živičnou krytinu. Stropy a stěny jednotlivých bytů mají tloušťku 150 mm [12].

6.2.2 Rozčlenění do zón

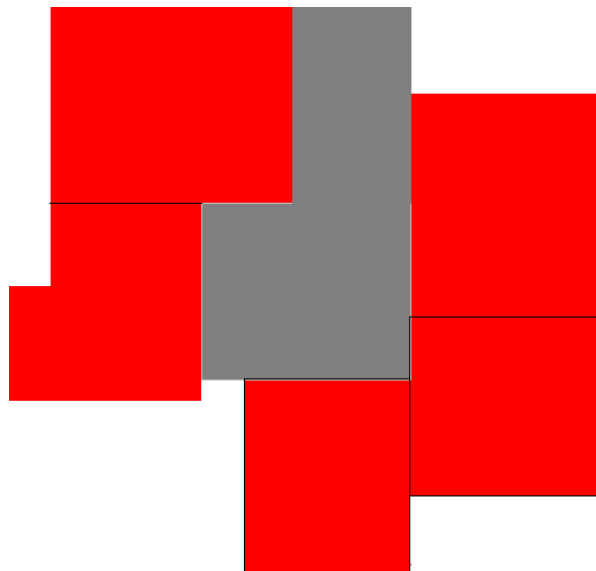
Pro porovnání jednotlivých přístupů jsem zvolil bytový dům. Vzhledem k rozdílným provozním teplotám v budově jsem objekt rozdělil na dvě zóny.

- Zóna 1 – Bytový dům - obytné jednotky. Pro tuto zónu se uvažuje vnitřní výpočtová teplota 20°C., patří sem všech 71 bytů.

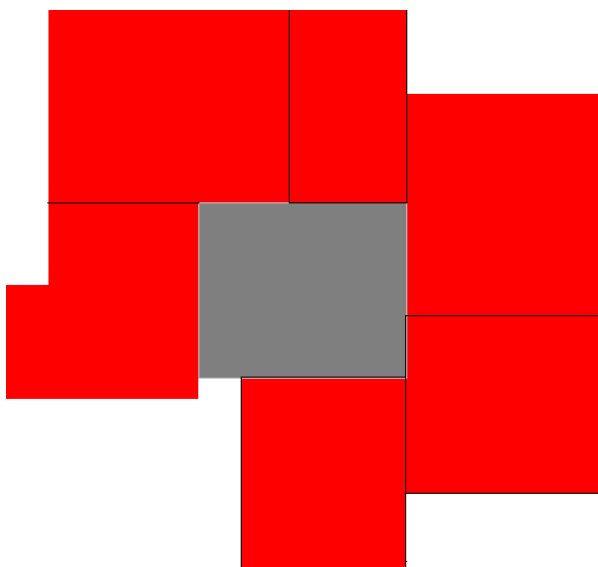
- Zóna 2 – Společné prostory, technické místnosti. Jedná se o společné chodby, schodiště a sklepní prostory, které uvažujeme pouze temperované na 16°C



Obrázek 7 [12]: Suterén



Obrázek 8 [12]: První patro



Obrázek 9 [12]: Patra 2 - 12

Na obrázcích 7 – 9 je znázorněno rozdělení budovy do zón. Červená značí vytápěnou zónu 1 a šedou je zastoupena nepřímou vytápěnou zónou 2. Suterén je uvažován celý jako nepřímou vytápěná zóna, což je vidět na obrázku 7. Z obrázku 8 je patrné, že v prvním patře je pouze 5 bytů. Místo 6. bytu je společná chodba. Patra 2 – 12 jsou totožná a každé obsahuje shodně 6 bytů.

6.2.3 Identifikace konstrukcí

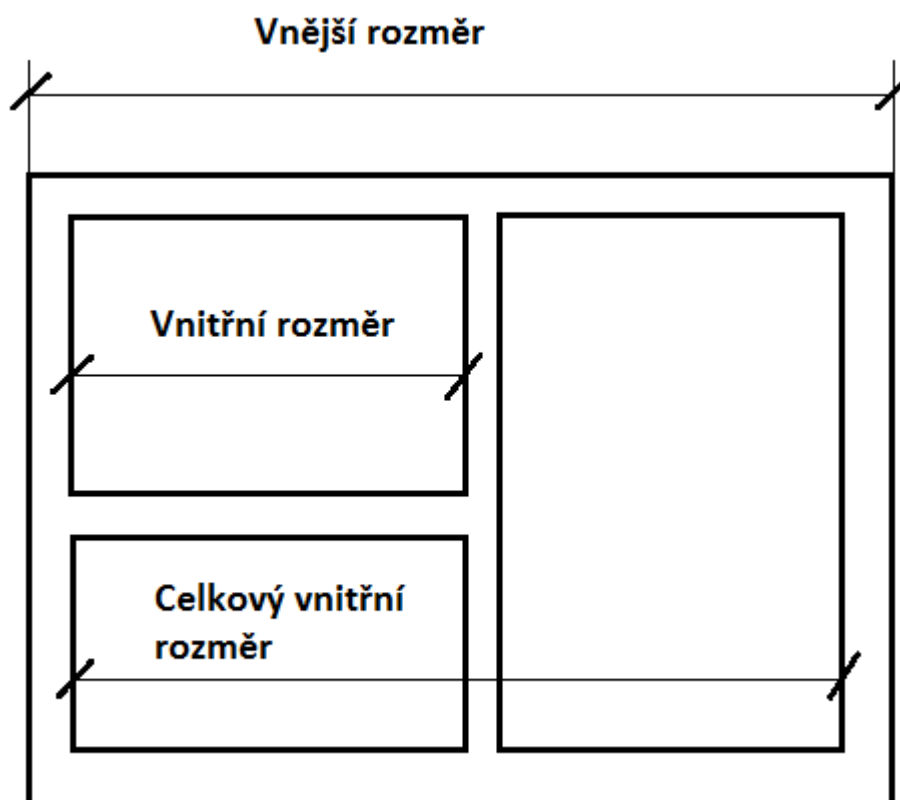
V tomto kroku je potřeba vytvořit seznam konstrukcí, kde každé konstrukci přiřadíme jméno, odpovídající součinitel prostupu tepla U_i . Hodnoty součinitelů prostupu tepla jsem přejal z diplomové práce [12], která hodnotila energetickou náročnost stejného bytového domu. Od doby jejího vypracování došlo k výměně dřevěných oken za plastová. Všechny byty ale nemají okna od stejného výrobce, takže jsem zvolil součinitel prostupu tepla $U=1,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Došlo též k vyzdění chodbové stěny u výtahů, hodnotu součinitele prostupu tepla jsem určil výpočtem. U průsvitných stavebních prvků je potřeba zvolit součinitel propustnosti slunečního záření g_{gli} a korekční činitel rámu průsvitného prvku F_{gli} (je to podíl prosklené plochy ku ploše okna a je stanoven podle ČSN EN ISO 10077-1). Volím $F_{gli}=0,75$ dle doporučení [13]. Norma ČSN 13790 přiřazuje hodnotu $g_{gli}=0,75$ oknům s dvojskly [9 s. 69]. Patří sem i definování jednotlivých konstrukcí pro účely referenční budovy, což se provádí na základě ČSN 730540 z přednastavených možností, čímž vlastně specifikujeme požadované tepelné technické vlastnosti pro referenční budovu, jelikož každé z přednastavených možností jsou přiřazeny konkrétní parametry. Souhrn tepelně technických vlastností je v tabulce 4.

Tabulka 4: Součinitele prostupu tepla

Druh konstrukce	Součinitel tepelné vodivosti	Součinitel propustnosti sl. záření	Korekční činitel rámu průsv. konstrukce
	U $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	g_{gli}	F_{gli}
Obvodová stěny	0,6	-	-
Podlaha / Strop	4,35	-	-
Vnitřní stěny	3,93	-	-
Střecha	0,39	-	-
Podlaha suterénu	1,8	-	-
Dveře vchodové	3	0,75	0,75
Dveře bytové	2	-	-
Obvodová stěna (pod zemí)	1,02	-	-
Okna - chodba	1,4	0,75	0,75
Okna - suterén	3,8	0,75	0,75
Stěna u výtahů	0,29 (Určeno výpočtem)	-	-
Okna - byty	1,4	0,75	0,75

6.2.4 Popis zón budovy

Nejprve jsem si podle stavebního plánu z vnějších rozměrů vypočítal energeticky vztažnou plochu a pomocí vnitřních rozměrů užitnou plochu pro obě zóny dle obrázku 9. Následně jsem vypočítal díky známé výšce jednotlivých pater vnější a vnitřní objem [7 s. 5]. Vypočtené hodnoty jsou uvedené v tabulce 5.



Obrázek 9: Metodika určování jednotlivých rozměrů zón [7 s. 5]

Tabulka 5: Objemy a plochy

			Zóna 1	Zóna 2
Vnější objem zóny	$V_{a,z}$	m^3	10449,4	2914,7
Energeticky vztažná plocha	$A_{a,z}$	m^2	3818,3	974,2
Užitná plocha	$A_{f,z}$	m^2	3429,1	938,2

Vzhledem ke stáří domu a stavu izolací mezi jednotlivými panely jsem zvolil přírážku na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{em}=0,2$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] [14] pro budovy se zanedbaným řešením technických vazeb (pro běžné řešení detailů se uvažuje přírážka 0,1 a u objektů s optimalizovanými tepelnými vazbami může hodnota klesnout až na 0,02) [9 s. 39].

Osvětlení zóny je zde zohledněno na základě způsobu ovládní osvětlovací soustavy a to prostřednictvím součinitele závislosti na denním světle F_D a součinitele závislosti na obsazenosti F_o . Osvětlení se ovládá ručně a pro ruční ovládní má modul NKN přednastavenou hodnotu obou součinitelů rovnu 1 [13].

Účinnost rozvodů tepla pro vytápění η_{Hdis} je poměr energie vstupující do rozvodů a energie, která je dopravena do vytápěné zóny. Stanovil jsem ji na základě střední teploty teplosměnné kapaliny (rozsah teploty 46 – 53°C) [14].

Účinnost sdílení tepla mezi systémem vytápění a vytápěnou místností η_{Hem} určuje schopnost systému (např. prostřednictvím deskových otopných těles) předávání tepla do vytápěné zóny. Její hodnotu volím s ohledem na teplovodní systém osazený deskovými otopnými tělesy s termostatickou hlavicí dle TNI 730331. Určuje schopnost systému (např. prostřednictvím deskových otopných těles) předávání tepla do vytápěné zóny [14]. Navrhnuté hodnoty jsou v tabulce 6.

Tabulka 6: Přehled účinností pro obě zóny

Účinnost sdílení tepla systému vytápění	η_{Hem}	0,88
Účinnost rozvodů tepla pro vytápění	η_{Hdis}	0,87

Podle normy ČSN 13 790 jsem určil součinitel intenzity výměny vzduchu za 1 hodinu při rozdílu mezi vnějším a vnitřním tlakem 50 Pa, $n_{50}=2$ na základě použití oken s dvojskly, normálně utěsněnými [9 s. 42]. Hodnoty potřebné pro výpočet tepelné ztráty větráním jsou uvedené v tabulce 7.

Tabulka 7: Specifické hodnoty větrání

			Zóna 1	Zóna 2
Výměna vzduchu v zóně	$V_{V,z}$	$m^3 \cdot h^{-1}$	2779,01	260,87
Kriterium stanovení množství větracího vzduchu	-	-	Násobnost výměny	Násobnost výměny
Intenzita výměny vzduchu při rozdílu 50 Pa	n_{50}	h^{-1}	2	2

6.2.5 Konstrukce budovy

Nejprve jsem vypočítal plochy jednotlivých stavebních prvků na základě stavebních plánů. Dále jsem určil jejich orientaci ke světovým stranám pomocí přednastavených hodnot azimutového úhlu v rozsahu 0 – 180° s krokem po 15° (0° odpovídá jižní orientaci, 90° západní a východní a 180° severní) pro určení solárních zisků. V této části NKN jsem rovněž přiřadil jednotlivé konstrukce k patřičným zónám tak, že jsem zároveň definoval prostředí nacházející se před i za konstrukcí, aby bylo možné určit ztráty pro každou zónu [13].

6.2.6 Příprava teplé vody

Jako energonositel jsem stanovil z přednastavené nabídky zemní plyn. V následujícím kroku jsem zadal velikost zásobníku TV a délku teplovodních rozvodů. S tím je spojené určení měrných tepelných ztrát rozvodů a zásobníku TV, které závisí na velikosti zásobníku, průměru a izolaci potrubí a počtu odběrů za den [8 s. 32 - 33]. Účinnost zdroje přípravy jsem určil $\eta_{\text{Hem}}=0,94$ s ohledem na použití kondenzačního kotle podle [8 s. 10] a z přednastavené nabídky jsem vybral cirkulační čerpadlo s proměnnými otáčkami. Přípravu teplé vody uvažuji celoročně rovnoměrnou.

6.2.7 Energetická bilance pomocí PENB pro bytový dům

Tabulka 8: Energetická bilance PENB stanovená výpočtovým modulem NKN

Dílčí energie	Spotřeba energie (GJ/rok)
Vytápění	1216
Příprava TV	386,6
Osvětlení	67
Pomocné energie	23,4
Celkem	1693

Na základě tepelně technických vlastností budovy, rozměrů budovy a profilu užívání modul NKN vypočítal spotřebu energie na vytápění. Spotřeba energie na ohřev vody byla určena podle skutečné spotřeby teplé vody a jednotlivých měrných ztrát. Energie spotřebovaná na osvětlení je vypočítána dle odhadnutého celkového příkonu světelných zdrojů, způsobu ovládání a předpokládané doby využití zóny. Hodnota pomocných energií je stanovena na základě příkonu čerpadel a způsobu jejich regulace. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 8.

6.3 Výpočet energetické náročnosti pro bytový dům pomocí EA

Pro potřeby EA použijí dílčí energie na vytápění, ohřev vody a osvětlení získané na základě PENB. Hodnota pomocných energií byla odečtena z elektroměru v kotelně.

6.3.1 Stanovení spotřeby jednotlivých technologií

Pro bytový dům do této kategorie spadají výtahy, elektrické spotřebiče v bytech a vaření na plynu. Výtahy mají vlastní elektroměr. Spotřebu elektrické energie pro zónu 1 jsem ale k dispozici neměl, jelikož ta je pro každý byt specifická. Stanovil jsem ji na základě odborného odhadu pana Ing. Petra Novotného Csc., který je založený na předpokládaném počtu obyvatel v jednotlivých bytech dle tabulky 9.

Tabulka 9: Spotřeba elektrické energie v bytech

Velikost bytu	Spotřeba el. energie na 1 byt (GJ/rok)	Počet bytových jednotek	Spotřeba jednotlivých typů bytů (GJ/rok)
1+0 (byt pro 1 osobu)	2,16	11	23,76
1+1 (byt pro 1 osobu)	2,16	24	51,84
2+0 (byt pro 2 osoby)	3,24	12	38,88
3+1 (byt pro 3 osoby)	5,76	24	138,24
Spotřeba elektrické energie všech bytů			252,72

Spotřebu elektrické energie lze odhadnout i na základě normy TNI 730331, která uvažuje 2,88 GJ / rok (800 kWh / rok) na osobu [8 s. 11]. Z tabulky 9 vidíme, že praktičtější odhad ukazuje, že s rostoucím počtem obyvatel v bytě spotřeba na osobu klesá.

Plyn na vaření používá v budově pouze 23 bytových jednotek o velikosti 3+1, zbytek používá elektřinu. Spotřebu jsem určil na základě průměrné spotřeby za tři roky z vlastního vyúčtování, protože taktéž bydlíme v bytě 3+1. Výsledek pro 23 bytů je uveden v tabulce 10.

Tabulka 10: Přibližné určení spotřeby plynu

Rok	2013	2014	2015	Průměr	Počet bytů	Celk. spotřeba
Spotřeba (GJ/rok)	4,3	2,8	2,3	3,13	23	72

Energie spotřebovaná ve spotřebičích je dána součtem spotřeby plynu na vaření a elektrické energie spotřebované v bytech a na provoz výtahů. Součet je uveden v tabulce 11.

Tabulka 11: Celková spotřeba spotřebičů v budově

Název spotřebiče	Spotřeba (GJ/rok)
Spotřeba elektrické energie v bytech	252,7
Spotřeba plynu na vaření v bytech	72
Výtahy	21,7
Celkem	346,4

6.3.2 Celková účinnost systému na vytápění

Účinnost systému vytápění jsem vypočítal jako součin účinnosti zdroje tepla $\eta_{gen,H,sys}$, účinnosti rozvodů η_{Hdis} a účinnosti sdílení tepla s vytápěnou zónou η_{Hem} dle vztahu [14]:

$$\eta_c = \eta_{gen.H.sys} \cdot \eta_{Hdis} \cdot \eta_{Hem} = 0,94 \cdot 0,88 \cdot 0,87 = 0,71 \quad [-] \quad (13)$$

Tímto výpočtem jsem zjistil, že budova využije pouze 71% z energie dodané na vytápění.

6.3.3 Ztráty systémů na vytápění a ohřev vody

Ztráty při ohřevu vody jsem odečetl z NKN na základě ztrát v kotli, zásobníku a v rozvodech. Ztráty při vytápění jsem určil na základě výše uvedených účinností. Nejprve dojde ke ztrátám v kotli, následně v rozvodech a nakonec při sdílení. Výsledná ztráta při ohřevu vody a vytápění je uvedena v tabulce 12. Vidíme, že ztráty při vytápění jsou asi 3x větší než při ohřevu vody.

Tabulka 12: Ztráty při vytápění ohřevu vody

Ztráty při ohřevu vody		Ztráty při vytápění	
Druh ztráty	Ztráty (GJ/rok)	Druh ztráty	Ztráty (GJ/rok)
Ztráty v rozvodech	4,8	Ztráty v rozvodech	137,2
Ztráty v zásobníku	78,8	Ztráty při sdílení	130
Ztráty v kotli	23,4	Ztráty v kotli	73
Součet	107	Součet	340,2
Celková ztráta	447,2		

6.3.4 Energetická bilance budovy hodnocené pomocí EA

Tabulka 13: Energetická bilance budovy hodnocené pomocí EA

ř.	Ukazatel	Energie	
		(GJ)	(MWh)
1	Vstupy paliv a energie	-	-
2	Změna zásob paliv	-	-
3	Spotřeba paliv a energie (ř. 1 + ř.2)	-	-
4	Prodej energie cizím	-	-
5	Konečná spotřeba paliv a energie (ř.3 - ř.4)	2031,1	564,2
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie (z ř.5)	-	-
7	Spotřeba energie na vytápění (z ř.5)	1216	337,8
8	Spotřeba energie na chlazení (z ř.5)	0	0
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody (z ř.5)	386,6	107,4
10	Spotřeba energie na větrání (z ř.5)	-	-
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti (z ř.5)	-	-
12	Spotřeba energie na osvětlení (z ř.5)	67	18,6
13	Pomocné energie	15	4,17
14	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy (z ř.5)	346,4	96,2
15	Ztráty při vytápění	340,2	94,5
16	Ztráty při ohřevu vody	107	29,7
17	Celkové ztráty ve zdrojích a rozvodech energie	447,2	124,2

V tabulce 13 si můžeme všimnout, že energetická bilance je podrobnější. Celková spotřeba energie (konečná spotřeba paliv a energie) je zde navýšena o spotřebu na technologické a ostatní procesy, v našem případě o spotřebu spotřebičů v bytech a výtahů v budově. Hodnoty dílčích energií na vytápění, ohřev vody a osvětlení jsou převzaty z PENB. Údaj o pomocných energiích byl odečten z elektroměru v kotelně. Ztráty při vytápění a ohřevu vody byly stanoveny na základě jednotlivých měrných ztrát. Energetická bilance EA umožňuje zohlednit i další ukazatele, kterými jsou třeba výroba a prodej elektřiny mimo energetické hospodářství.

6.4 Porovnání výsledků EA a PENB pro bytový dům

Tabulka 14: Porovnání výsledků EA a PENB

Dílčí energie	Spotřeba energie dle PENB (GJ/rok)	EA s využitím ČSN 13790 (GJ/rok)	Skutečná spotřeba dle vyúčtování (GJ/rok)
Vytápění	1216	1216	-
Příprava TV	386,6	386,6	-
Spotřeba plynu	-	-	1672,3
Osvětlení	67	67	
Pomocné energie	23,4	15	15
Výtahy	Nezapočteno	21,7	21,7
Spotřeba el. en. domácností	Nezapočteno	252,72	
Spotřeba plynu na vaření		72,1	
Celkem	1693	2031,1	1709

Ačkoliv se u PENB jedná o porovnání standardizovaného užívání, tak z tabulky 14 vychází rozdíl spotřeby energie kolem 1% oproti zprůměrované hodnotě z vyúčtování za předcházející 3 roky. Pokud bychom tedy provedli EA, a vypočítali energii potřebnou na vytápění dle normy ČSN EN 13790, a určili spotřebu energie na ohřev TUV podle vyhlášky č. 78/2013 sb., zjistíme, že rozdíl oproti PENB je v započítání spotřeby energie domácností (provoz spotřebičů) a spotřeby výtahů. V posledním sloupci se nachází přepočtená spotřeba plynu z celkového objemu a dodavatelem uváděné výhřevnosti (9,5 kWh / m³ podle vyúčtování, účinnost kotle 94%).

6.4.1 Popis grafického průkazu PENB

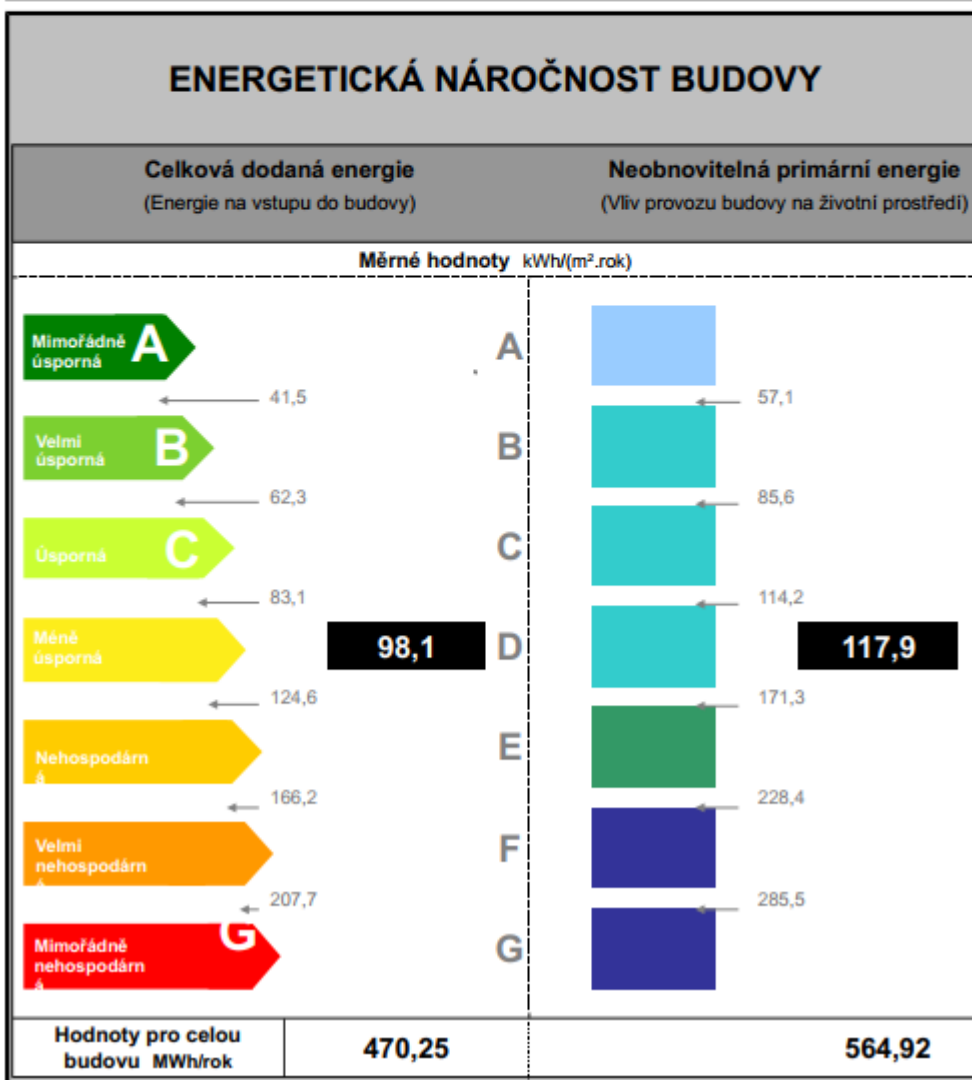
Na obrázku 10 vlevo v rohu je uveden typ budovy, celkový součet všech ploch obálky, objemový faktor tvaru a celková energeticky vztažná plocha. V levé spodní části je znázorněno zařazení budovy do jednotlivých tříd s mezními hodnotami celkové dodané energie. Celková dodaná energie je dána součtem spotřeby energií na vytápění, ohřev vody a pomocných energií. Hodnocená budova spadá do třídy D. Pravá část ukazuje množství neobnovitelné energie nutné na výrobu celkové dodané energie. Ve druhé části průkazu na obrázku 11 vpravo vidíme poměr energonositelů využívaných v posuzované budově. Ve spodní části nalezneme rozdělení spotřeby po jednotlivých dílčích energiích. A v levé spodní části je znázorněn součinitel prostupu tepla obálkou, který je v našem případě ve třídě E.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

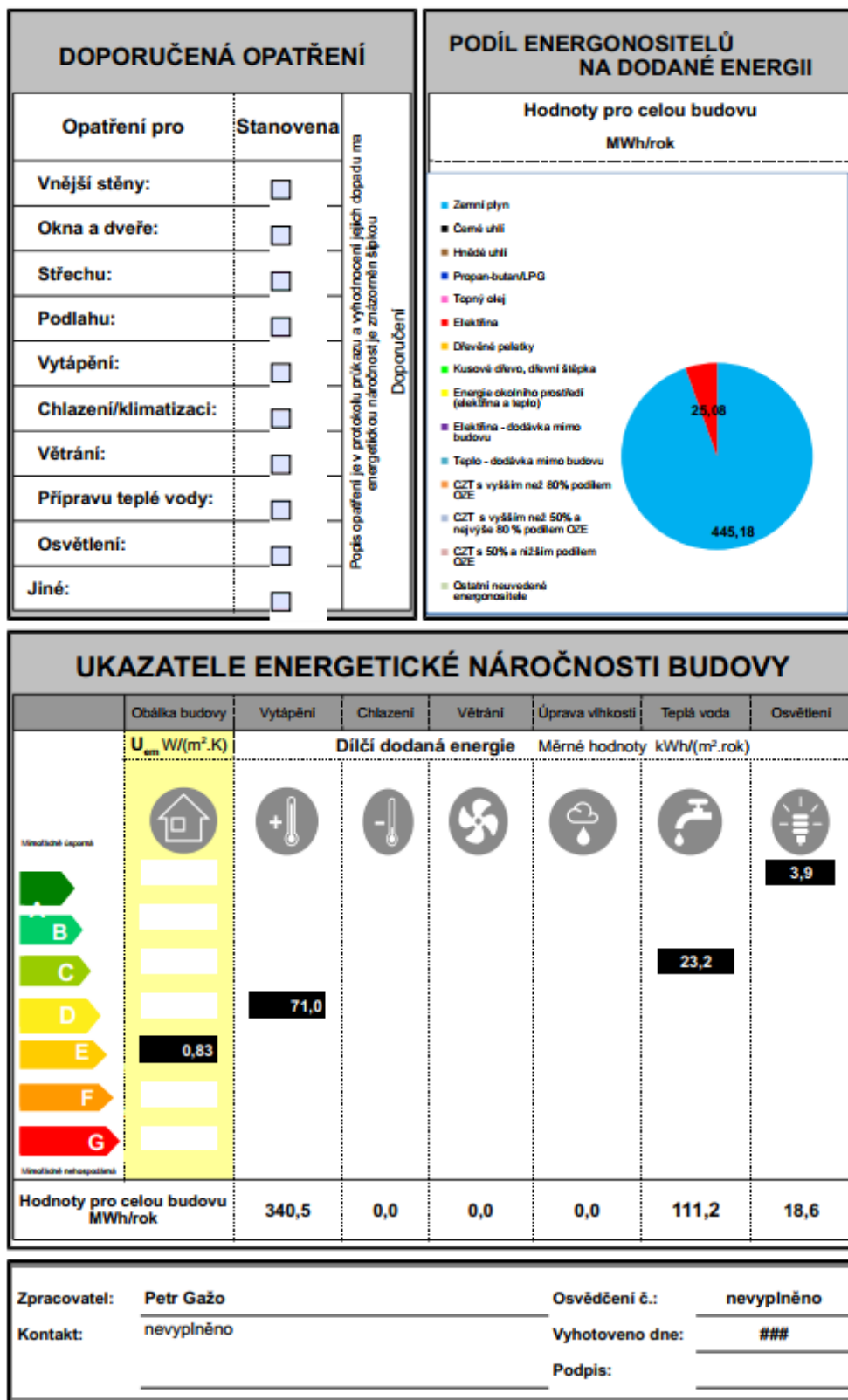
Evidenční číslo PENB: nevyplněno

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: Bezová 277, Liberec 460 05 PSČ, místo: Typ budovy: Bytový dům Plocha obálky budovy: <u>5155</u> m ² Objemový faktor tvaru A/V: <u>0,39</u> m ² /m ³ Celková energeticky vztažná plocha: <u>4792</u> m ²	
---	--

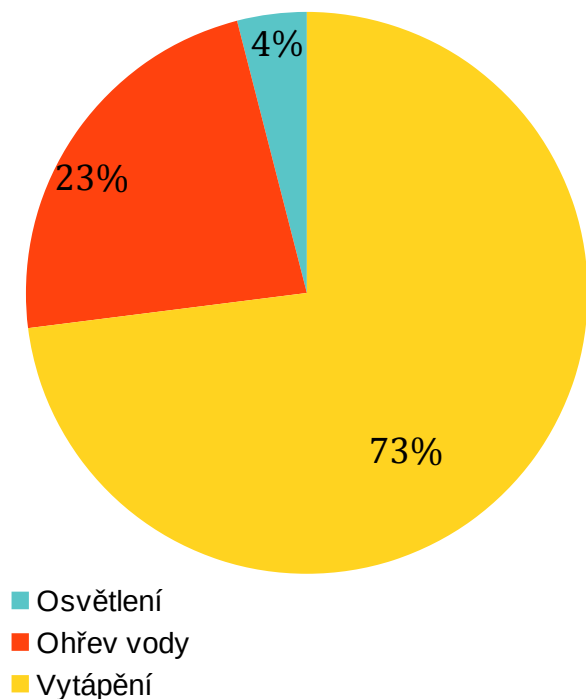


Obrázek 10: Vyhodnocení energetické náročnosti podle vyhlášky 78/2013 část 1



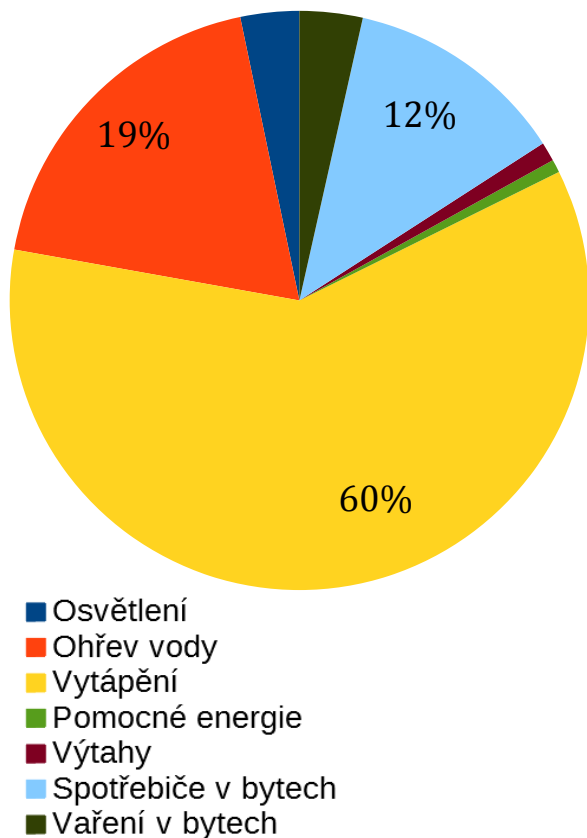
Obr.ázek 11: Vyhodnocení energetické náročnosti podle vyhlášky 78/2013 část 2

6.4.2 Rozdíly v poměrném zastoupení dílčích energií u PENB a EA



V grafu 4 vidíme, že podíl energie na vytápění tvoří téměř tři čtvrtiny celkové spotřeby. Energie na osvětlení je zde zastoupena pouhými 4 procenty a ohřev TUV 23%. Takto malý podíl energie na osvětlení je zajímavý, jelikož podle PENB je spotřeba zařazena do třídy A. Pokud bych však hodnotu příkonu nevyplnil vůbec, tak by modul počítal na základě profilu standardizovaného užívání a podíl dílčí energie na osvětlení by byl ještě o něco menší.

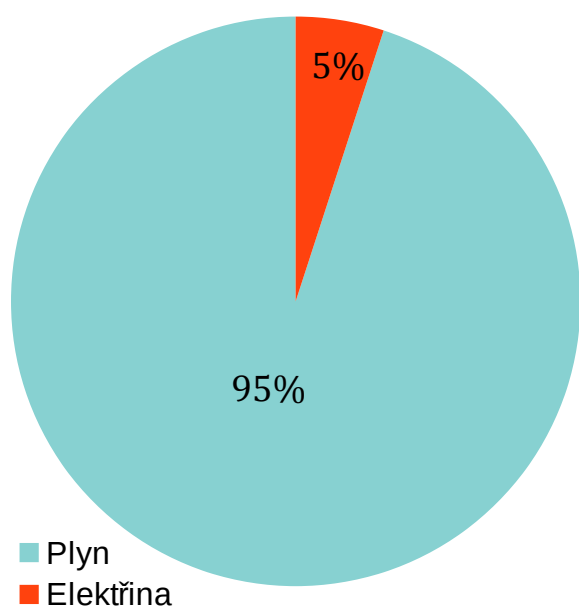
Graf 1: Poměrné zastoupení jednotlivých dílčích energií u PENB



Spotřebiče v bytech představují v bilanci nezanedbatelných 12% a v součtu s výtahy a vařením v bytech se jedná celkem o 17% z celkové bilance. Poměrné hodnoty dílčích energií na vytápění a na ohřev vody jsou zde sníženy nejen menším podílem na celkové dodané energii, ale taktéž nepatrně faktem, že hodnoty pomocných energií na jejich provoz jsou brány z měřících přístrojů v kotelně.

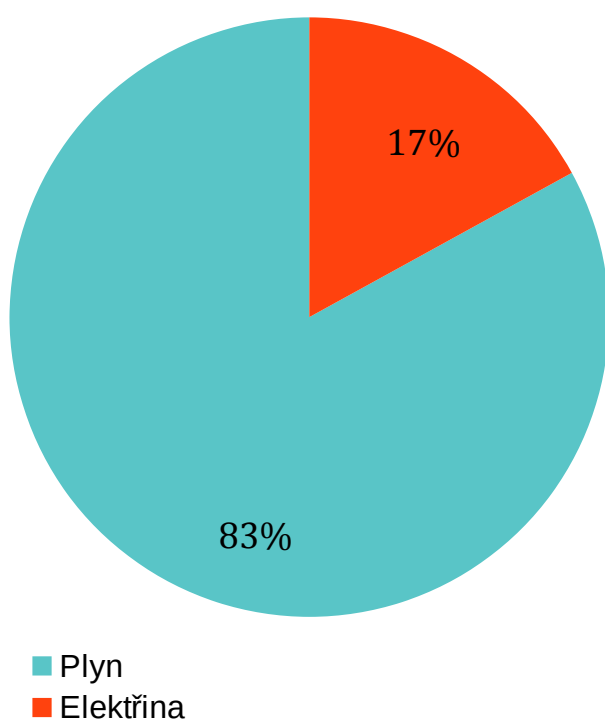
Graf 2: Poměrné zastoupení jednotlivých spotřeb energií u EA

6.4.3 Rozdíly v poměrném zastoupení energonositelů u PENB a EA



Vzhledem k tomu, že TUV je v budově ohřívána plynem, tak elektřina tvoří pouhých 5% z celkové dodané energie do budovy. Nárůst zde oproti 4% dílčí energii na osvětlení je způsoben elektřinou potřebnou na provoz technických systémů.

Graf 3: Poměrné zastoupení jednotlivých energonositelů u PENB



Na rozdíl od PENB se zde elektřina neuvažuje pouze na osvětlení a provoz technických systémů, ale je započítávána pro provoz výtahů a spotřebičů v bytech. Plyn se tu naopak navíc započítává na vaření v domácnostech, které ale uvažujeme jen v části bytů.

Graf 4: Poměrné zastoupení jednotlivých energonositelů u EA

7. Porovnání obou přístupů

Energetický audit podává mnohem lepší představu o spotřebě energie a i použití jednotlivých energonositelů v objektu. Při uvažování stejného profilu užívání obou přístupů se ukazuje, že největší rozdíl způsobují spotřeby spotřebičů v domácnostech. Pokud by měl být energetický audit co nejpřesnější, tak by bylo nutné uvažovat každý byt jako spotřebič se specifickým profilem užívání, což je prakticky nerealizovatelné.

Oproti tomu průmyslové či kancelářské provozy jsou mnohem lépe předvídatelné vzhledem ke stanovené pracovní době a konkrétnímu druhu činnosti. V různých výrobních závodech jsou navíc technologické procesy, které mohou být energeticky náročnější než energie potřebná na vytápění objektu.

S ohledem na možnosti použití různých standardizovaných hodnot slouží PENB spíše jako porovnávací dokument technického stavu budovy. Použití standardizovaných hodnot lze brát i jako výhodu např. při rozhodování se o nákupu budovy, pokud vybíráme z nabídek z různých lokalit v ČR, jelikož celková spotřeba je počítaná za stejných vnějších podmínek a tudíž není ovlivněna podnebím dané lokality. Což samozřejmě na druhé straně lze brát jako nevýhodu, jelikož nezískáme skutečnou spotřebu. U bytových jednotek je to ještě problematičtější se získáním spotřeby energie, protože na základě PENB si sice můžeme dopočítat přibližnou spotřebu z plochy bytu a měrné spotřeby, ale už nezjistíme údaje o poloze, větrnosti či orientaci bytu a místností.

8. Shrnutí a závěr

Vzhledem k tomu, že mi výsledná celková spotřeba energie budovy vyšla v rámci PENB téměř shodně se skutečnou spotřebou přepočítanou z množství dodaného plynu, lze předpokládat, že jsem někde zvolil špatnou hodnotu. Jednou z možných chyb mohl být například špatně zvolený korekční součinitel zahrnující přírážku na tepelné mosty ΔU , který jsem volil jako největší doporučenou hodnotu na základě stáří a neudržované obálky budovy (špatné těsnění jednotlivých panelů mezi sebou) a dále určení ztrát rozvodů teplé vody, protože jsou závislé na počtu odběrů, což nelze v panelovém domě dobře určit.

Přihlédneme-li k faktu, že jsem pro svou práci použil několik odborných odhadů a přibližných výpočtů, lze považovat získanou energetickou bilanci prostřednictvím energetického auditu za dostatečně přesnou pro účely této práce. Výsledek je dostatečně přesný, abych mohl konstatovat, že určení energetické náročnosti pomocí energetického auditu je pro obytné budovy většinou zbytečně komplikované, protože získání konkrétních vnitřních podmínek a sestavení profilu užívání pro každou bytovou jednotku je prakticky nereálné. Získání spotřeby elektrické energie od 71 vlastníků bytů a seznam s popisem všech elektrospotřebičů by nebylo snadné, natož zjišťovat jejich denní režim a požadavky na tepelnou pohodu. Z tohoto vyplývá, že energetický audit je mnohem vhodnější pro průmyslové či kancelářské budovy, které jsou mnohem snáze definovatelné.

Při prodeji či pronájmu bytové jednotky by možná bylo lepší uvádět průměrnou spotřebu za předcházející tři roky spolu se součinitelem prostupu tepla obálkou.

9. Použité informační zdroje

[1] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov. In: *Úřední věstník Evropské unie*. EU: EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE, 2010, ročník 2010, číslo 31, Dostupné také z: <https://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/D31-2010.pdf>

[2] Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ČESKO, 2000, ročník 2000, 115/2000, číslo 406. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406/zneni-20180101>

[3] Vyhláška č. 78/2013 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ČESKO, 2013, ročník 2013, 36/2013, číslo 78. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>

[4] Vyhláška č. 480/2012 Sb.: Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ČESKO, 2012, ročník 2012, 182/2012, číslo 480. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>

[5] HORÁK, P., P. UHER, M. FORMÁNEK, A. RUBINA, O. RUBINOVÁ, J. VRÁNA, M. KALOUSEK a H. KUKLÍNKOVÁ. *Energetické hodnocení budov* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2015 [cit. 2018-06-25]. ISBN 978-80-214-5274-9. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/4582_sfvut_brno_energeticke-hodnoceni-budov.pdf

[6] DOLEŽAL, M. A KOLEKTIV, *Zpracování vzorového energetického auditu dle novely zákona č. 406/2000 Sb. pro průmyslový podnik*. In: *MPO-EFEKT.cz* [online]. 2012 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2218-energo-envi.pdf>

[7] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. *TNI 730330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Bytové domy* [online]. Praha, 2010 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/tni-73-0330-2010-08>

[8] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. *TNI 730331 Energetická náročnost budov: Typické hodnoty pro výpočet* [online]. Praha, 2013 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/tni-73-0331-2013-04>

- [9] ARCADIS Project Management s.r.o. ZAVEDENÍ POSTUPU VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA A CHLADU PODLE NOVELIZOVANÉ EN ISO 13790 2009. In: *MPO-EFEKT.cz* [online]. 2009 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/091214_publicace_CSN_EN_13790_def_opr.pdf
- [10] URBAN, M. *Manuál pro využití výpočetního nástroje NKN* [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2010 [cit. 2018-06-19]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/files/nastroje/Methodika/nkn-pomucka_k_vyuce.pdf
- [11] ŠUBRT, R. A KOLEKTIV, UČEBNICE ENERGETICKÉHO SPECIALISTY: Energetický audit energetický posudek. In: *MPO-EFEKT.cz* [online]. 2015 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2218-energo-envi.pdf>
- [12] STANEČKA, T. *Hodnocení energetické náročnosti panelového domu* [online]. Liberec, 2008 [cit. 2018-06-26]. Dostupné z: <https://knihovna-opac.tul.cz/media-viewer?rootDirectory=63641&back=https%3A%2F%2Fknihovna-opac.tul.cz%2Fdocuments%2F357953>. Diplomová práce. TUL. Vedoucí práce Ing. Petr Novotný CSc.
- [13] ČVUT v Praze, Fakulta stavební katedra technických zařízení budov. *Program na určení energetické náročnosti budov NKN 3.27*. Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz>
- [14] ENERGETICKÁ ÚČINNOST SYSTÉMŮ ROZVODU TEPLA. In: *ASB-PORTAL.CZ* [online]. 13.01.2016 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/energie/energeticka-ucinnost-systemu-rozvodu-tepla>