

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

PREDIKOVANÁ A SKUTEČNÁ SPOTŘEBA ENERGIE V BUDOVÁCH

PREDICTIVE AND REAL ENERGY CONSUMPTION IN BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Petr Trtílek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program
Studijní obor	3656T025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Ing. Petr Trtílek
Název	Predikovaná a skutečná spotřeba energie v budovách
Vedoucí práce	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Právní předpisy ČR
2. České i zahraniční technické normy
3. Odborná literatura
4. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce bude zaměřena na metody stanovení energetické náročnosti budovy v projektové fázi budov a hodnocení skutečné spotřeby energie budov vzhledem k energetické koncepci měst a větších územních celků. Tyto metody budou prakticky uplatněny na případové studii pasivního domu v Brně. Ve vybraném území bude provedena analýza potenciálu úspor energie v budovách při využití potenciálu obnovitelných zdrojů energie v městské zástavbě.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá porovnáním predikované a skutečné spotřeby v budovách. Predikovaná spotřeba je zjištěna výpočtem průkazu energetické náročnosti konkrétně vybrané budovy a skutečná spotřeba je sledována v budově v areálu Otevřené zahrady nadace partnerství v městě Brně. Teoretická část se zabývá jednak obecněji spotřebou energie v budovách tak metodikou výpočtu energetické náročnosti budov.

KLÍČOVÁ SLOVA

průkaz energetické náročnosti budov-PENB, vytápění, chlazení, dílčí dodané energie, tepelné čerpadlo, legislativa

ABSTRACT

This diploma thesis deals with comparison of predicted and actual energy consumption in buildings. The predicted consumption is determined by calculating the energy performance certificate of the selected building and the actual consumption is monitored in the building on the Open Garden premises of the Partnership Foundation in Brno. The theoretical part deals both with the energy consumption in buildings and with the methodology of energy performance calculation.

KEYWORDS

energy performance certificate of buildings-PENB, heating, cooling, partial energy, heat pump, legislation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. Petr Trtílek *Predikovaná a skutečná spotřeba energie v budovách*. Brno, 2019. 82 s., 22 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Predikovaná a skutečná spotřeba energie v budovách* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 12. 2019

Ing. Petr Trtílek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Predikovaná a skutečná spotřeba energie v budovách* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 12. 2019

Ing. Petr Trtílek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl/a poděkovat vedoucí mé diplomové práce, paní Ing. Olze Rubinové, Ph.D., za spoustu užitečných a odborných rad, které mi velmi pomohli při zpracování všech částí mojí práce.

OBSAH

OBSAH.....	11
ÚVOD.....	13
A – TEORETICKÁ ČÁST	14
1 DOPAD STAVEBNICTVÍ NA SPOTŘEBU ENERGIE VE SVĚTĚ	15
2 ZDROJE ENERGIE	18
2.1 Primární a druhotné energie	18
2.2 Obnovitelné a neobnovitelné zdroje energie	19
2.3 Přímé využití obnovitelné energie v budovách	20
3 TEPELNÁ ČERPADLA V BUDOVÁCH	21
3.1 Co je tepelné čerpadlo	21
3.2 Co je topný faktor?	22
3.3 Jak tepelné čerpadlo funguje?	23
3.4 Jaké existují typy tepelných čerpadel?	24
3.4.1 Základní rozdělení.....	24
3.4.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda a jeho specifika.....	25
3.4.3 Tepelné čerpadlo země-voda a jeho specifika.....	26
4 PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV-PENB	28
4.1 Směrnice Evropské unie	28
4.2 Aktuální česká legislativa.....	28
5 PENB-ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	29
5.1 Povinnosti dané zákonem	29
5.2 K čemu je nám PENB užitečný	30
5.3 Kdo musí PENB mít?	30
6 PENB-PRINCIPY	32
6.1 Referenční budova.....	32
6.2 Normové ukazatele.....	32
7 PENB-OBÁLKA BUDOVY	34
7.1 Zónování budovy.....	34
7.2 Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla hodnocené budovy.....	35
7.3 Přírážka na tepelné vazby	36
B – PRAKTICKÁ ČÁST	37
8 HODNOCENÁ BUDOVA	38
8.1 Popis a idea tohoto projektu	38

8.2	Dispoziční řešení objektu.....	39
8.3	Technologické řešení úspory energie a ochrany tepla v objektu	41
9	SPECIFICKÉ TEPELNÉ ČERPADLO V OBJEKTU	45
9.1	Specifika použitého řešení a jeho popis.....	45
9.2	Technický popis jednotlivých zařízení – topný modul.....	47
9.3	Technický popis jednotlivých zařízení – modul přirozeného chlazení.....	48
9.4	Technický popis jednotlivých zařízení – ostatní zařízení soustavy	49
10	PROJEKT A REALIZACE ZEMNÍCH VRTŮ BUDOVY	50
11	PENB SLEDOVANÉ BUDOVY.....	54
11.1	Zónování budovy	55
11.2	Geometrické charakteristiky budovy	56
11.3	Stavební prvky a konstrukce-součinitel prostupu tepla a měrná ztráta prostupem tepla	57
11.4	Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	57
11.5	Energetická bilance na úrovni budovy.....	58
11.6	Energetická bilance na systémů	59
11.7	Dílčí dodaná energie na vytápění.....	59
11.8	Dílčí dodaná energie na chlazení	61
11.9	Další dílčí dodané energie do budovy.....	63
11.10	Celková dodaná energie do budovy	63
12	POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ PENB S NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI.....	67
12.1	Porovnání naměřených hodnot energie nutné pro vytápění budovy.....	67
12.2	Porovnání naměřených hodnot energie nutné pro chlazení budovy	70
12.3	Porovnání naměřených hodnot energie nutné pro ohřev teplé užitkové vody.....	72
12.4	Porovnání naměřených hodnot energie nutné pro vzduchotechniku v budově	73
12.5	Celková dodaná energie do budovy	74
13	ZÁVĚR.....	76
14	CITOVANÁ LITERATURA	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	80
	SEZNAM TABULEK.....	81
	PŘÍLOHY	82

ÚVOD

Jako téma mojí diplomové práce jsem si vybral téma týkající se spotřeby energie v budovách a zejména protože se osobně zajímám o vývoj nových technologií ve stavebnictví, které vedou zejména ke zlepšení a snižování spotřeby energie v budovách.

V současné době je globálně kladen čím dál větší důraz na ochranu životního prostředí a udržitelné hospodaření s přírodními zdroji a jelikož stavebnictví a budovy jako takové jsou jedním z největších odběratelů energie a znečišťovatelem na naší planetě tak je velmi důležité zabývat se tématem zmírnění tohoto dopadu a snižováním potřeb energií v budovách.

Pro sledování a vyhodnocování potřeb energií jsem si vybral budovu v areálu Otevřené zahrady nadace partnerství ležící poblíž centra Brna, konkrétně jsem sledoval budovu C, kde jsou instalovány nejmodernější technologie a budova jako taková je i po konstrukční stránce velmi progresivní.

Zaujal mě zejména způsob vytápění a chlazení v budově, kde je použit systém zemního čerpadla typu země/voda, konkrétně zemních vrtů využívajících energii země pro vytápění a chlazení v budově C.

Výhodou pro mě je fakt, že v této budově je instalováno množství čidel měřících spotřeby elektrické energie a dá se valná část výpočtů z průkazu energetické náročnosti budovy porovnat se skutečností.

Sám sem velmi zvědav, jak se tyto údaje budou lišit a jak přesný je výpočtový model PENB a jestli ho bude možné plně aplikovat na takto speciální systémy v budově jako takové.

A – TEORETICKÁ ČÁST

1 DOPAD STAVEBNICTVÍ NA SPOTŘEBU ENERGIE VE SVĚTĚ

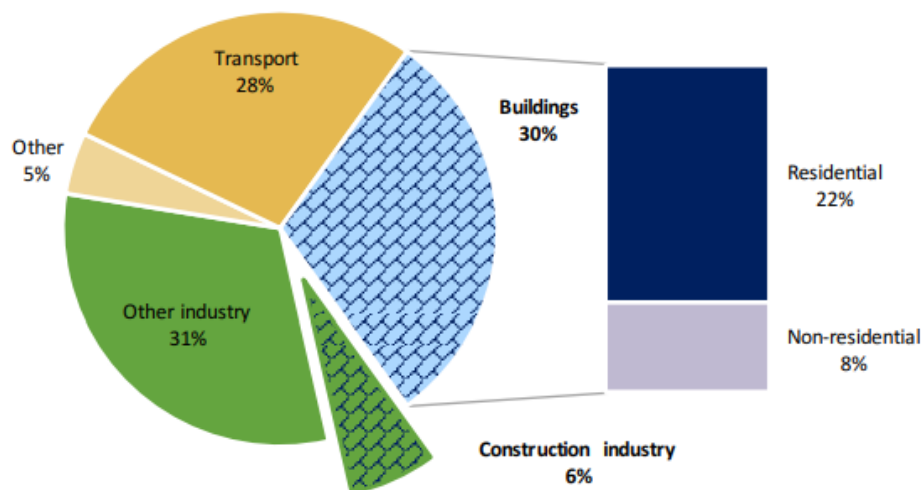
Je to překvapivé, ale v budovách se spotřebovává velké množství energie, která se na naší planetě zemi vyrábí. Nedávné studie evropské unie uvádí, že se v rozvinutých zemích Evropy se v budovách spotřebovává až 40% celkové spotřeby energie. U starých domů je průměrná hodnota měrné spotřeby přibližně 270 kWh na metr čtvereční podlahové plochy za rok.

Dále zmíněná studie EU uvádí, že za určitých podmínek se rekonstrukcí těchto budov dá dostat pod hodnotu 100 kWh, což je stejná hodnota jako je úroveň u budov stavěných dle dnešní legislativy. [1]

Studie EU také rozdělila měrnou spotřebu energie u rodinných domů dle jejich stáří a míry renovace takto:

- Domy staré přes 25 let: 269 kWh/m²/rok
- Staré, částečně renovované domy: 197 kWh/m²/rok
- Nově renovované domy: 74-113 kWh/m²/rok
- Nově postavené domy (dle leg.2010) : 74-113 kWh/m²/rok
- Energeticky pasivní domy: 30 kWh/m²/rok [2]

Z těchto údajů jasně vyplývá, že pokud se tedy zaměříme na renovaci našich starých budov a výstavbu těch nových již v energeticky pasivním standartu, tak dokážeme dosáhnout velké úspory ve spotřebě energie na naší planetě. Dle mého názoru by tedy vlády měli věnovat této otázce velkou pozornost a nedávat do popředí řešení klimatických změn elektromobilitu a úpravu energetického mixu, ale aby věnovali všem těmto třem oblastech společnou míru důležitosti a snažili se tyto otázky vzájemně propojovat a hledat konkrétní řešení v provázanosti na všechny tyto tři důležité pilíře zastavení zhoršujícího se trendu udržitelnosti a působení člověka na kvalitu našeho životního prostředí.



Obr. č. 1 Procentuální rozdělení celkové spotřeby energie na planetě Zemi [3]

Jak vidíte na grafu výše, který byl uveřejněn v studii s názvem „Global status report“, tak podíl na spotřebě energie je přibližně 30 % u již existujících budov a 6 % je produkováno u vlastní výstavby, to znamená že sektor stavebnictví a budov je největším konzumentem energie na planetě zemi následovaný dopravou a ostatními odvětvími.

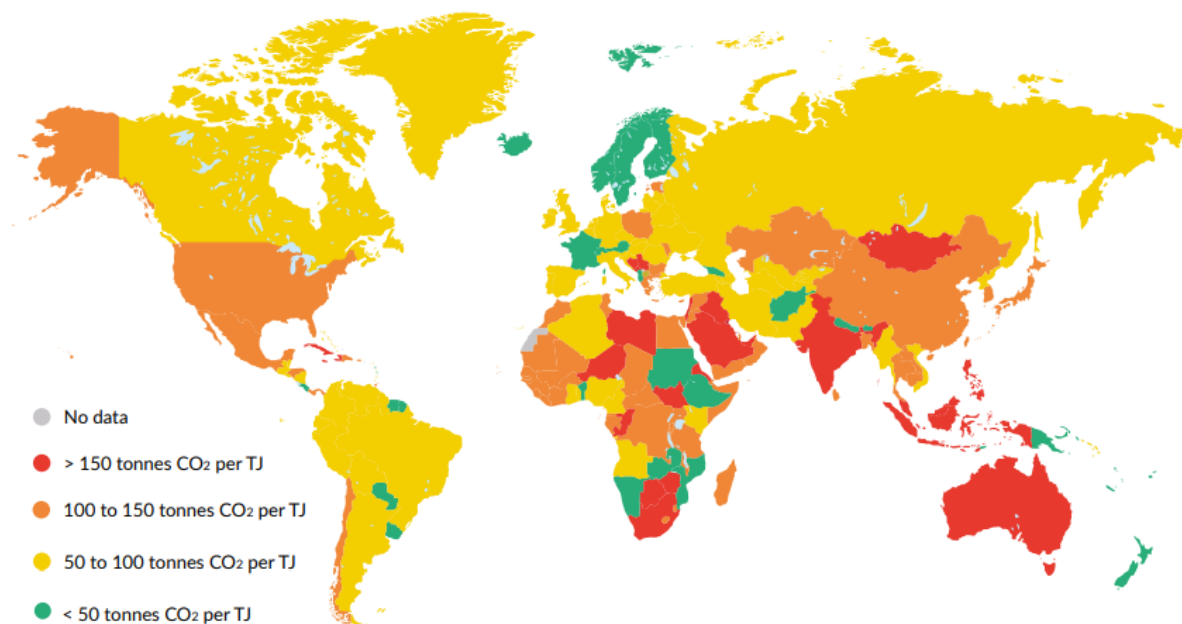
Dále z uvedené studie vyplývá, že u již stojících budov je těchto 30 % rozděleno mezi rezidenční bydlení a nerezidenční (komerční a další) na 22 % oproti 8 %.

Kromě konzumace energie se ovšem budovy a stavebnictví velkou měrou podílí i na znečištění ovzduší emisemi skleníkových plynů, zde je dle studie IPCC podíl tohoto sektoru celých 33 % na celkové produkci skleníkových plynů

Zde ovšem musím, aby to bylo férově řečeno směrem k Evropě potažmo EU, že ta se na celkové produkci tohoto skleníkového plynu ve stavebnictví a budovách podílí, výrazně méně než Čína, USA a pro mě překvapivě druhý největší producent CO₂ globálně Austrálie a ze všech zmíněných zemí se nejvíce snaží produkci skleníkových plynů redukovat různými kroky, které jsou zmiňovány i v této práci v dalších kapitolách.

Ovšem ani v Evropě není situace úplně homogenní, některé státy jsou v produkci CO₂ horší než jiné, a to nejen státy bývalého východního bloku či Balkánu, ale pro mě překvapivě je v tomto parametru horší Německo a Velká Británie společně se Španělskem a Itálií. jak můžete vidět i na mapce, kterou jsem vám umístil pod tento text. [3]

Jak na ní můžete vidět Česká republika má podobně jako Německo produkci mezi 50 a 100 tunami na TJ. Mezi nejlepší státy, jak jistě mnoho z vás nepřekvapí, se řadí skandinávské země s produkcí pod 50 tun na TJ, těchto hodnot dosahuje také Francie a naše sousední Rakousko.



Obr. č. 2 Podíl jednotlivých zemí na znečištění naší planety [3]

Úplně nejhorší produkci vzhledem k velikosti ekonomiky (některé balkánské země jsou sice ještě horší, ale to dle jejich velikosti nehraje až takovou roli) je Polsko. Jak na mapce můžete vidět svou produkcí až 150 tun CO₂ na TJ se vyrovná Polsko takovým hříšníkům jako je USA či Čína.

Pro zajímavost cíle evropské unie pro rok 2050 jsou 20 tun CO₂ na 1 TJ, k čemuž jak vidíte na číslech a mapce výše má mnoho zemí EU ještě velmi daleko.

Na tomto příkladu můžete vidět, že situace v Evropě i EU se mezi státy značně liší a že je potřeba zlepšit produkci skleníkových plynů nejenom z centrálního měřítka, ale také z regionálního, dosáhnout požadavků EU na snižování produkce CO₂ a jiných skleníkových plynů bude náročnější pro zmíněné Polsko než pro Rakousko, a to dle mého názoru musí reflektovat i množství finančních prostředků alokovaných evropskou komisí do jednotlivých členských zemí na snižování produkce CO₂ v budovách a stavebnictví.

Dalším aspektem dopadu stavebnictví na životní prostředí, který také úzce souvisí s produkcí energie je produkce odpadu. Zde se uvádí, podle studie eurostatu, že 40% produkce celkového odpadu je spojeno s budovami, respektive stavebnictvím.

V tomto ohledu já velmi kvituji čím dál větší snahy o zpětnou recyklaci stavebního odpadu a použití právě pouze materiálů, které jdou snadno recyklovat, tímto můžeme ušetřit spoustu energie, která by byla nutná na výrobu nového výrobku a ušetříme také životní prostředí, jelikož nebude nutno tolik prostoru pro uložení stavebního odpadu.

Já osobně jsem velkým podporovatelem této ideje založení stavebnictví zejména na recyklovatelných odpadech a velmi mě zaujala činnost Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT (UCEEB), které sestavilo Katalog výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví, který má snahu odbourat u stavební veřejnosti obavu z kvality materiálů druhotně použitých či recyklovaných zevrubným popisem jednotlivých vlastností těchto materiálů. Také velmi kvituji vznik burzy druhotných surovin CYRKL, která zefektivní informovanost o aktuálních nabídkách materiálů pro recyklaci napříč stavebnictvím. [4]

2 ZDROJE ENERGIE

2.1 PRIMÁRNÍ A DRUHOTNÉ ENERGIE

Energetické zdroje na naší planetě se dají obecně rozdělit na ty primární a potom druhotné, tyto dva rozdílné energetické zdroje se rozlišují podle místa, ve kterém jsou v procesu přeměny energie.

Primární energie jsou potom přírodní zdroje, které nejsou člověkem nijak změněné, sem náleží zejména energie slunečního záření, energie větru a vody, dále geotermální energie a různá organická a jaderná paliva.

Tyto primární energie se využívají je velmi zřídka přímou formou, je potřeba je přeměnit na lépe využitelnou formu energie.

Na rozdíl od energie primární je druhotná energie přímým důsledkem působení člověka a lidské činnosti. Jedná se bohužel o energii, která má většinou dle mého názoru poměrně velký negativní dopad na životní prostředí, a to zejména energie vzniklá spalováním odpadu nebo olejů či jímáním různých skládkových plynů, i když musím přiznat, že za poslední dobu se technologie umístěné ve spalovnách z velké části modernizovali a jejich dopad na okolí a celkově na životní prostředí se zmírnil.



Obr. č. 3 Jednotlivé typy obnovitelné energie na naší planetě [5]

2.2 OBNOVITELNÉ A NEOBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Energie se dále dají zatřídit podle jejich vyčerpatelnosti na obnovitelné a neobnovitelné. Obnovitelné energie musí být pro náš energetický mix tím nejdůležitějším zdrojem energie, jedná se totiž o zdroje, které se dají neustále obnovovat či jsou přímo ze slunce a jsou tak v podstatě nevyčerpatelné. Jedná se o sluneční, větrnou, vodní energii dále pak o energii z biomasy potažmo bio plyn. Nesmíme však opomenout ani energie ze země, které nejsou ještě tolik využívány, ale jejich potenciál je obrovský, a to myslím zejména geotermální energii a energii působení Měsíce na zemi formou přílivu a odlivu.

Bohužel v České republice je naše energetika založena zejména na složce neobnovitelné, a to hlavně na spalování fosilních paliv, zejména hnědím uhlí v mostecké pánvi a černém uhlí na Ostravsku. Dále se opíráme o jadernou energii, jejíž aktuální dopad na okolí a životní prostředí je sice minimální, ale vznikají zátěže z odpadu, který při spalování vzniká a

pak je tu vždy i přes velkou míru opatrnosti možnost havárie, která by mohlo být fatální nejenom pro okolí elektrárny, ale i pro celou zemi.

Naštěstí vývoj pomalu, ale jistě směřuje k zvýšení podílu obnovitelné energie i u nás, a to díky podpoře ze strany EU i jiných institucí.

2.3 PŘÍMÉ VYUŽITÍ OBNOVITELNÉ ENERGIE V BUDOVÁCH

Dalším pozitivem obnovitelné energie je, že nám může přímo pomáhat ve snižování energetické náročnosti budov, a to díky technologiím, které v poslední době umožnili její přímé využití v budově jako takové.

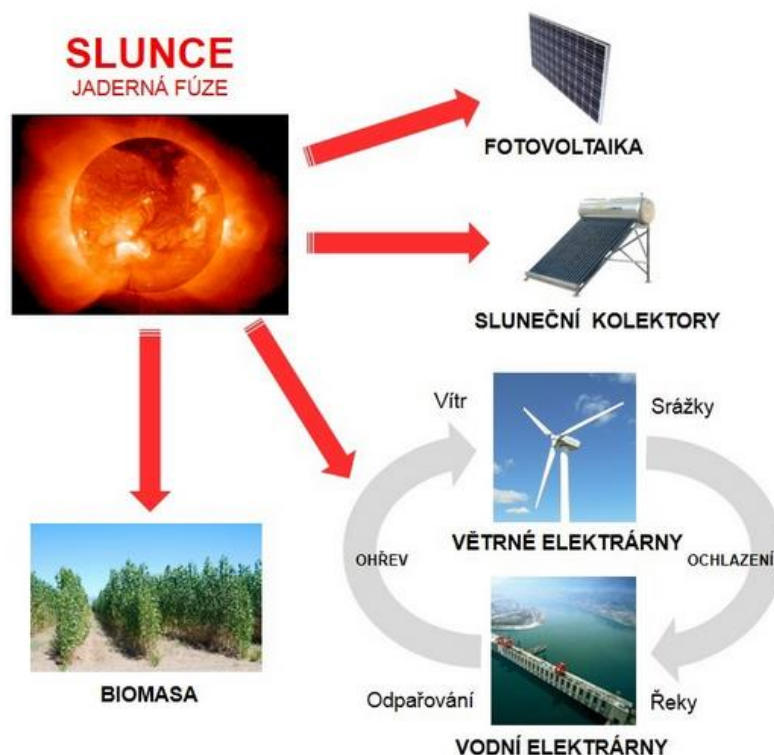
Mluvím zejména o třech typech sluneční energie, a to za prvé o energii ze slunečního záření, která je využitelná na přímou výrobu elektrické energie v budově, ohřev teplé vody či vlastní vytápění.

Její využití je čím dál více používáno nejen v sektoru rodinných domů, ale zejména v sektoru administrativním a sektoru veřejných budov, a to také díky čím dál větší účinnosti tepelných solárních systémů a systémů fotovoltaiky.

Druhým typem je energie z biomasy, používána zejména na spalování v kotlech ve formě peletek, či zplynovacích kotlů, kde dochází k termochemickým procesům a z biomasy vznikne plyn, který se následně spaluje.

Třetím typem, kterému budu v dalších částech práce věnovat velkou pozornost, jelikož je využit u naší sledované budovy je energie prostředí zpracovávána pomocí různých typů tepelných čerpadel.

Já se v této práci budu věnovat jímání energie ze země pomocí zemních vrtů, která je využitelná nejenom v zimě na vytápění, ale také v létě na chlazení budovy. [6]



Obr. č. 4 Názorný obrázek typů energie ze slunce [7]

3 TEPELNÁ ČERPADLA V BUDOVÁCH

3.1 CO JE TEPELNÉ ČERPADLO

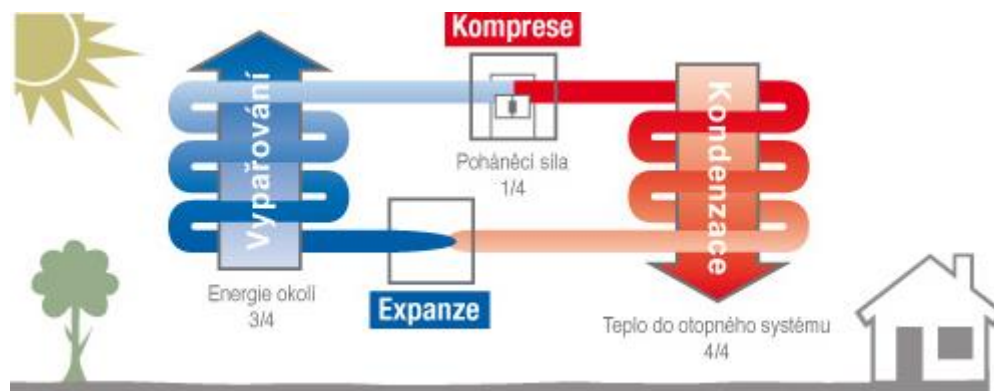
Základní ideou a principem pro tepelná čerpadla je, že přeměňuje teplo odebrané z okolního prostředí (vzduch, půda, voda) na teplo vhodné k vytápění budov a ohřev teplé užitkové vody v budovách pomocí komprese vypařeného chladiva.

Princip tepelného čerpadla spočívá tedy v tom, že můžeme odebírat teplo ze zdroje s nižší teplotou a předávat je do média s teplotou vyšší. [8]

Teplo odebrané z vnějšího prostředí nemůže samo od sebe přecházet z chladnějšího na teplejší těleso, musí tepelná čerpadla převádět energii přijetou z okolí na teplotní hladinu potřebnou k vytápění budovy.

Tepelné čerpadlo v principu funguje jako chladnička nebo klimatizace, jen je v něm proces zcela obrácený.

Vlastní přeměnu na teplotní hladinu potřebnou pro vytápění budovy provádí kompresor, který je poháněn elektrickou energií, kterou je ovšem nutno dodat ze sítě, tudíž získaný tepelný výkon není získán zcela zdarma, jak by si mohl třeba laik myslet, ale ve výsledku získáme součet energie odebrané z vnějšího prostředí a elektrické energie dodané pro pohon kompresoru.



Obr. č. 5 Princip fungování tepelného čerpadla [9]

3.2 CO JE TOPNÝ FAKTOR?

Topný faktor (zkratka dle anglického názvu COP) je poměr mezi elektrickou energií, která je tepelným čerpadlem spotřebována (neboli příkon) a dodanou tepelnou energií (neboli topný výkon).

Je základním ukazatelem účinnosti tepelného čerpadla.

Čím vyšší je topný faktor, tím více nám tepelné čerpadlo dokáže uspořit náklady.

Topný faktor se stanovuje z laboratorního měření při různých provozních podmínkách (teploty na vstupu do výparníku, teploty na výstupu z kondenzátoru) pro zachycení dostatečného provozního rozsahu. Největší množství bodů se zkouší pro tepelná čerpadla vzduchová, provozovaná ve velkém rozsahu teplot na vstupu do výparníku (pět hodnot od -15 do $+12$ °C), naopak tepelná čerpadla odebírající teplo z vody se zpravidla zkouší pouze pro dvě teploty na vstupu do výparníku (10 °C, 15 °C). [10]

Základní vztah pro výpočet topného faktoru uvádím zde:

$$COP = \frac{\Phi}{P_c + P_{aux}}$$

- Φ – tepelný výkon tepelného čerpadla [kW];
- P_c – elektrický příkon kompresoru [kW];
- P_{aux} – elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla [kW].

3.3 JAK TEPELNÉ ČERPADLO FUNGUJE?

Koloběh fungování tepelného čerpadla má 4 fáze.

První fází je vypařování, v něm chladivo kolující v tepelném čerpadle odebírá teplo z vnějšího prostředí (vzduchu, vody nebo země) a mění skupenství z kapalného na plynné a následně se odpařuje.

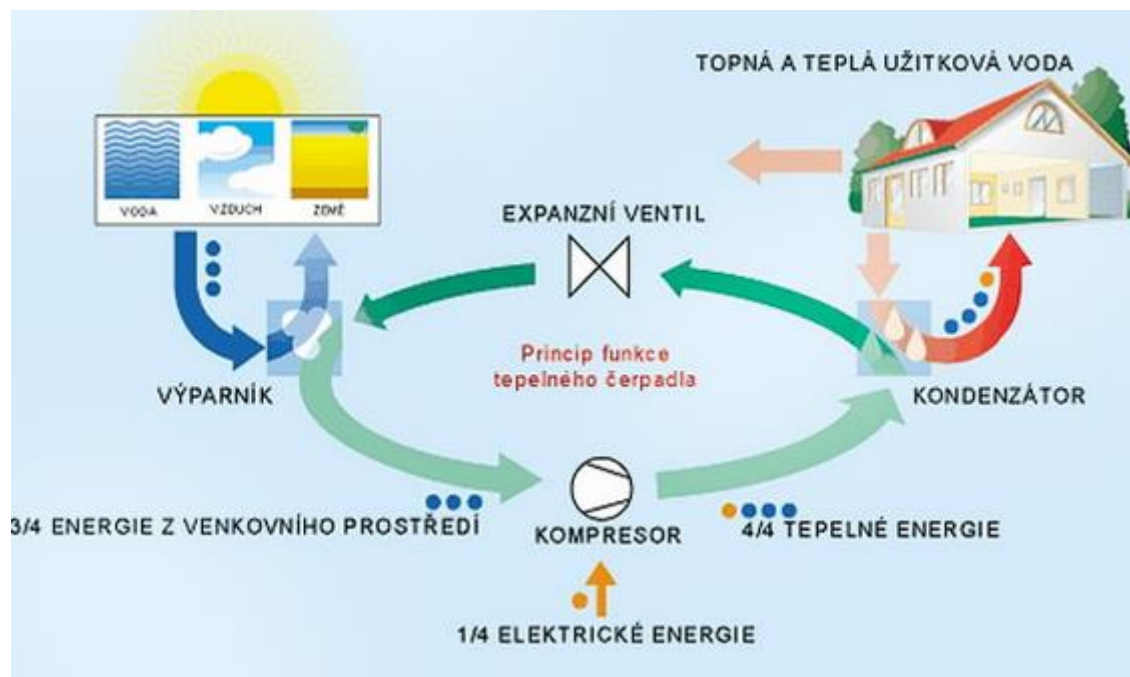
V druhé fázi nazvané komprese kompresor tepelného čerpadla prudce stlačí plynné chladivo ohřáté o několik stupňů, a díky principu komprese, kde při vyšším tlaku stoupá teplota, vytvoří tepelný výtah, jenž znásobí malý přírůstek tepla na vyšší teplotní hladinu, která se pohybuje okolo 80st.celsia.

Následuje třetí fáze s názvem kondenzace, kde zahřáté chladivo předá pomocí druhého výměníku teplo vodě v otopné soustavě a následně se ochladí a zkondenzuje.

Otopná soustava pomocí koncových prvků (např. radiátorů) následně teplo vyzáří do místnosti a ochlazená voda v topném okruhu putuje nazpět k druhému výměníku pro opětovné ohřátí.

Závěrečná čtvrtá fáze, což je expanze pak probíhá tak, že chladivo putuje průchodem přes expanzní ventil nazpět k prvotnímu výměníku a tento koloběh se potom neustále opakuje.

[11]



Obr. č. 6 Základní schéma fungování tepelného čerpadla [11]

3.4 JAKÉ EXISTUJÍ TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL?

3.4.1 Základní rozdělení

Dnes existují 3 základní typy tepelných čerpadel. Jsou jimi systém vzduch-voda, země-voda a voda-voda.

V ČR se nejčastěji instalují tepelná čerpadla vzduch-voda s plynulým řízením výkonu. Jejich hlavní výhodou je nižší pořizovací cena v porovnání s tepelnými čerpadly země-voda, výrazně rychlejší a méně náročná instalace.

Instalace systému vzduch/voda trvá zhruba 1-2 dny, zatímco u systému využívajících energii země trvá realizace mezi 5 a 15 dny i více v návaznosti na rozsahu systému a velikosti budovy. K čerpadlu vzduch-voda není navíc vždy potřeba instalovat akumulaci nádrž a také není třeba rozsáhlý pozemek a není nutné ani povolení stavebního úřadu. Právě díky těmto důvodům se stal systém tepelného čerpadla s názvem vzduch-voda nejoblíbenějším.

Ostatní dva systémy bychom však v žádném případě neměli opomíjet, jelikož pro každý dům či stavbu se hodí jiné tepelné čerpadlo. Je několik pravidel, která je při návrhu vhodnosti jednotlivého řešení brát v potaz.

Například je nutno přihlížet k tomu, jestli vybrané tepelné čerpadlo je vybaveno plynulým řízením výkonu, dnes již převážná většina výrobců tento systém na svých výrobcích aplikuje, ale pořád je možno narazit na původní systémy ON/OFF tedy čerpadla bez možnosti plynulého řízení výkonu. Takové jednotky jsou sice výrazně levnější, ale pro uživatele přinášejí větší náklady na provoz.

3.4.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda a jeho specifika

Tento typ tepelného čerpadla má mnoho výhod vyplývajících u jeho snadné instalace a univerzálnosti řešení.

Toto tepelné čerpadlo lze namontovat na prakticky jakoukoli stavbu a velmi jednoduše a rychle.

Při použití tepelného čerpadla vzduch-voda odpadají složité zemní práce a náklady jsou také o něco nižší než u tepelného čerpadla země-voda.

Výkon tepelného čerpadla se mění s teplotou venkovního vzduchu, teda vzrůstá-li venkovní teplota vzduchu, roste i výkon tepelného čerpadla a naopak klesá-li venkovní teplota, tak klesá i výkon tepelného čerpadla.

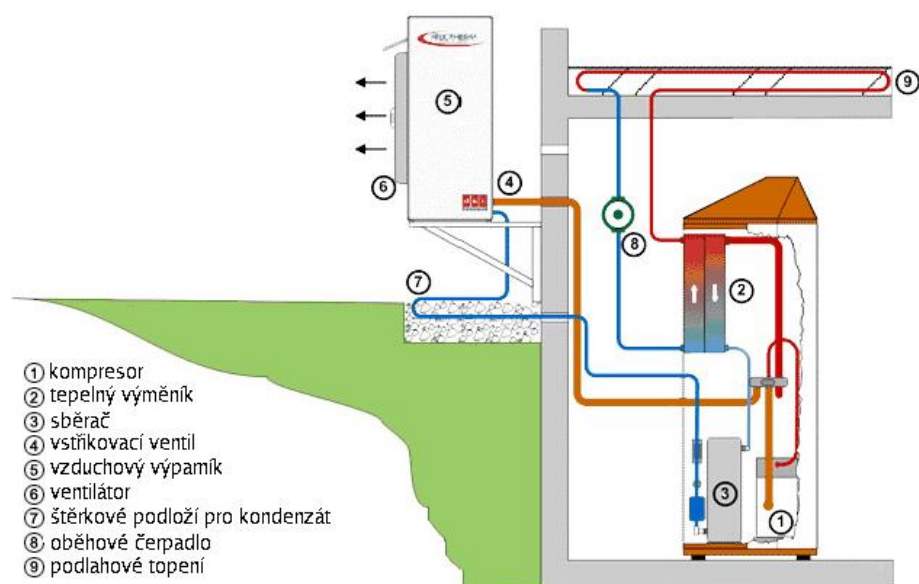
Z tohoto důvodu jsou tepelná čerpadla vzduch/voda většinou provozována v bivalentním provozu, to znamená, že pod bod bivalence (teplota kolem -3°C až -5°C) začíná spínat i druhý/doplňkový zdroj tepla, kterým bývá zpravidla elektrokotel a tepelný výkon tedy zajišťují oba zdroje současně.

Vzhledem k umístění jednotky existují dva základní typy.

Prvním je provedení vnitřní, kdy se tepelné čerpadlo umístí do technické místnosti a na fasádě jsou pouze dvě vzduchové mřížky.

Druhým typem je venkovní umístění, kdy se stroj umístí na zahradu či přímo na fasádu objektu.

Venkovní varianta má výhodu, že se nemusíme starat o přívod vzduchu, ovšem z architektonického hlediska může mít rušivý dopad na objekt či jeho okolí. [12]



Obr. č. 7 Základní schéma čerpadla vzduch-voda s jednotlivými částmi soustavy [13]

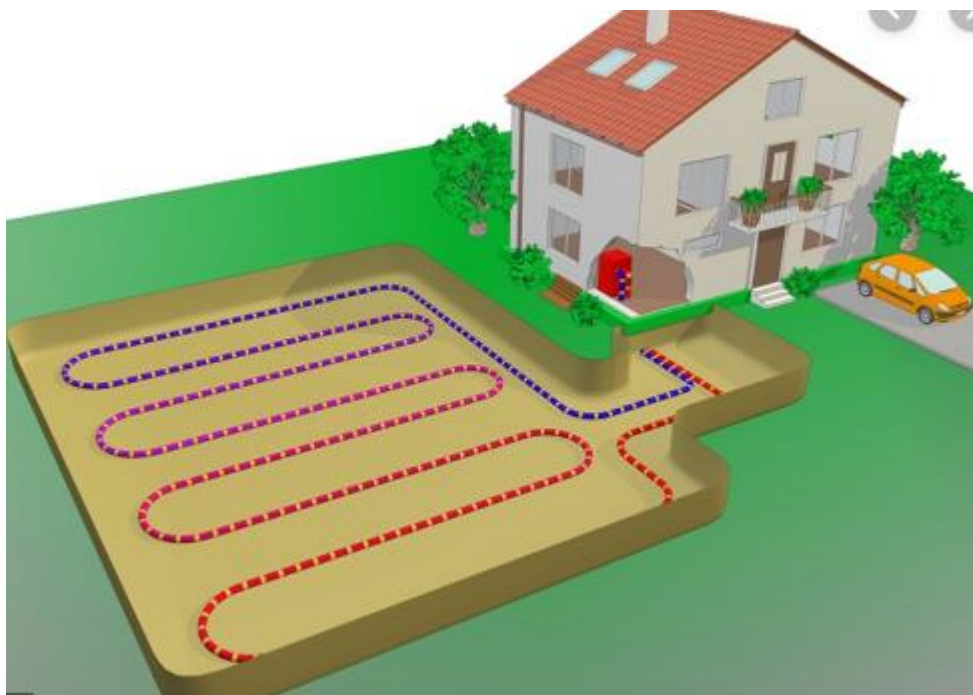
3.4.3 Tepelné čerpadlo země-voda a jeho specifika

Tepelná čerpadla země-voda odebírají teplo ze země, a to buď pomocí plošného kolektoru nebo pomocí vrtu či vrtů.

Plošný kolektor je tvořen nejčastěji PE trubkami uloženými v hloubce 1,5 m v zemi a s rozestupy minimálně 80 cm od sebe.

Nevýhodou použití plošných kolektorů je velký prostor, který potřebují, což vyžaduje pro investora zakoupení velkého pozemku, což zejména v intravilánu není vždy možné či ekonomicky přijatelné.

Druhá varianta s použitím zemních vrtů vyžaduje menší prostor pozemku a tvoří ji vrtvy, které jsou hluboké 100 až 150 m v závislosti na typ podloží a mechanické vlastnosti zeminy. Ve zvláště složitých základových podmínkách se realizují i kratší vrtvy kolem 50 m a to například na skalnatém podloží či v poddolované nebo lázeňské oblasti.



Obr. č. 8 Základní schéma podoby plošných kolektorů [12]



Obr. č. 9 Příklad realizace plošných kolektorů [14]

4 PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV-PENB

4.1 SMĚRNICE EVROPSKÉ UNIE

Aktuální legislativa o energetické náročnosti budov, kterou stanovila Evropská unie pro své členské státy je směrnice 2010/31/EU o ENB: EPBD II., která stanoví za cíl v rámci trvale udržitelné výstavby zavádění budov s téměř nulovou spotřebou energie.

Díličními cíli směrnice jsou:

- Snížení spotřeby energie na vytápění, větrání, chlazení, osvětlení a teplou vodu o 20 %
- Snížení emisí skleníkových plynů o 20 %
- Zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na 20 % [6]

EU očekává několik klíčových přínosů, které chce do roku 2020 také dosáhnout, a to uspořit energii ve výši 60-80 mil tun ropy ročně dále uspořit 160 až 210 mil.tun ročně to znamená snížení celkových emisí až o 5% , a v návaznosti na jednotlivá dílčí opatření popsaná výše EU očekává přírůstek až 450 000 nových pracovních míst v sektoru stavebnictví v návaznosti na potřebu zpracování energetických certifikátů a inspekce jednotlivých energetických systémů budov. [15]

4.2 AKTUÁLNÍ ČESKÁ LEGISLATIVA

V naší legislativě řeší tuto problematiku jednak zákon č.406/2000 Sb. o hospodaření energií, který byl již mnohokrát novelizován a jeho poslední aktualizovaná verze je platná od 1.4.2013.K tomuto zákonu pak náleží vyhláška č.78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

Tento legislativní rámec určil nový pojem, a to budovy s téměř nulovou spotřebou energie a to tak, že se jedná o budovy s velmi nízkou energetickou náročností, jejichž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů energie.

Dále ukládá ve stanovených případech nutnost zpracování Průkazu energetické náročnosti budovy, a to energetickým specialistou s oprávněním ministerstva průmyslu a obchodu, dozor je potom uložen Státní energetické inspekci. [16]

5 PENB-ZÁKLADNÍ INFORMACE

5.1 POVINNOSTI DANÉ ZÁKONEM

Zákon č.406/2000 Sb. ukládá jednotlivým majitelům budov určité požadavky, které se pokusím stručně popsat v této části práce.

První částí požadavků je nutnost posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie pro novostavby a větší změny dokončené stavby-to jsou budovy, kde se rekonstrukce týká více jak 25% plochy obálky budovy.

Zákon dále stanoví, že tyto alternativní zdroje pro dodávku energie jsou místní systémy dodávky energie využívající energii z obnovitelných zdrojů dále kombinovaná výroba elektřiny a tepla, soustava zásobování teplem nebo chladem zejména využívající z části nebo zcela energii z obnovitelných zdrojů a v neposlední řadě také tepelná čerpadla.

Důležité je ovšem také vymezení jednotlivých proveditelností, první podmínkou pro realizaci alternativních systémů dodávek energie je logicky technická proveditelnost – jestli vůbec lze technicky alternativní zdroj nainstalovat nebo připojit k budově.

Ekonomická proveditelnost potom uvádí dosažení prosté doby návratnosti této investice, která musí být kratší než doba životnosti tohoto alternativního systému dodávky energie.

Ekologická proveditelnost poté klade důraz na to, aby instalovaný alternativní systém dodávky energie nezvýšil množství neobnovitelné primární energie oproti standardnímu řešení.

Pokud jsou všechny tyto požadavky bezezbytku splněny tak je v rámci posouzení proveditelnosti uděleno doporučení pro provedení alternativního systému dodávky energie. [8]

5.2 K ČEMU JE NÁM PENB UŽITEČNÝ

Průkaz energetické náročnosti budovy plní nejen pro majitele budovy několik základních užitečných funkcí:

- Pomůže nám zjistit, kolik energie se v budově bude spotřebovávat a jak velké tedy pro nás budou náklady na energetickou náročnost plánované budovy
- Zajišťuje informovanost při prodeji nebo pronájmu budovy, informuje kupujícího o měrné spotřebě energii i energetické třídě budovy
- Průkaz energetické náročnosti dokládá, že objekt splňuje legislativou dané minimální standarty energetické náročnosti a stát tak jeho prostřednictvím monitoruje kvalitu stavby a efektivní využívání energie z neobnovitelných zdrojů a dostatečný podíl obnovitelných zdrojů.
- Dále PENB zkoumá vliv budovy na životní prostředí, prostřednictvím spotřeby primární energie a dalších dílčích faktorů. [8]

5.3 KDO MUSÍ PENB MÍT?

U nově postavených budov povinnost zpracování PENB trvá již od roku 2009, kde je to povinnou součástí stavební dokumentace. Od 1.1.2013 s počátkem platnosti zákona č.406/2000 Sb. a jeho následnými změnami a novelizacemi se rozšířil okruh povinných zpracovatelů o další případy a dnes jsou povinnosti nastaveny následovně (zabývám se pouze novostavbami a rekonstrukcemi, nepopisuji povinné v případě prodeje, pronájmu či koupě) [15] :

Bytové domy:

- Novostavby: pro ty platí povinnost již od roku 2009 a PENB zpracovává zpravidla specialista (kde je specialista podrobně popisují v další kapitole) na objednávku generálního projektanta stavby
- Renovace: povinnost vzniká, pokud je rekonstruováno alespoň 25% plochy obálky budovy. Pojem renovace se vztahuje na stavební změny ovlivňující spotřebu energie, jako například zateplení fasády.

Kancelářské budovy:

- Mají totožné podmínky jako bytové domy

Veřejné budovy (což jsou budovy užívané orgánem veřejné moci) :

- Od 1.7.2015 je povinnost zpracování PENB pro všechny budovy se vztažnou plochou nad 250 m².

Rodinné domy:

- Stejně jako bytové domy mají všechny novostavby tuto povinnost danou již s účinností od 1.1.2009
- U renovací je tu opět podmínka renovace alespoň 25% plochy obálky budovy.

6 PENB-PRINCIPY

6.1 REFERENČNÍ BUDOVA

Aktuální legislativa vymezuje pro stanovení referenční hodnoty minimálního požadavku na energetickou náročnost postup metodou tzv.: „referenční budovy“ a to ve smyslu definovaném v normě ČSN EN 15 217: „Referenční hodnota energetické náročnosti je hodnota energetické náročnosti vypočtená pro budovu, která má stejné umístění, funkci, velikosti apod., ale s vlastnostmi jako je izolační úroveň, účinnost topné soustavy, rozvrhy činností, vnitřní tepelné zisky apod. nahrazenými referenčními hodnotami“

Referenční budova je tedy výpočtově definovaná budova se stejným druhem užívání, stejného geometrického tvaru a velikosti, stejné orientace ke světovým stranám, stíněním vyvolaném okolní zástavbou a okolními přírodními překážkami dále má referenční budova stejné vnitřní uspořádání a stejné klimatické podmínky jako hodnocená budova.

V čem se ovšem referenční budova od posuzované budovy liší je, že má referenčně dány hodnoty vlastností budovy, jejich jednotlivých konstrukcí a technických systémů budovy.

Postup tedy spočívá v paralelním hodnocení jak referenční, tak přímo hodnocené budovy. [17]

6.2 NORMOVÉ UKAZATELE

Hodnocení energetické náročnosti pak závisí na splnění normově daných ukazatelů:

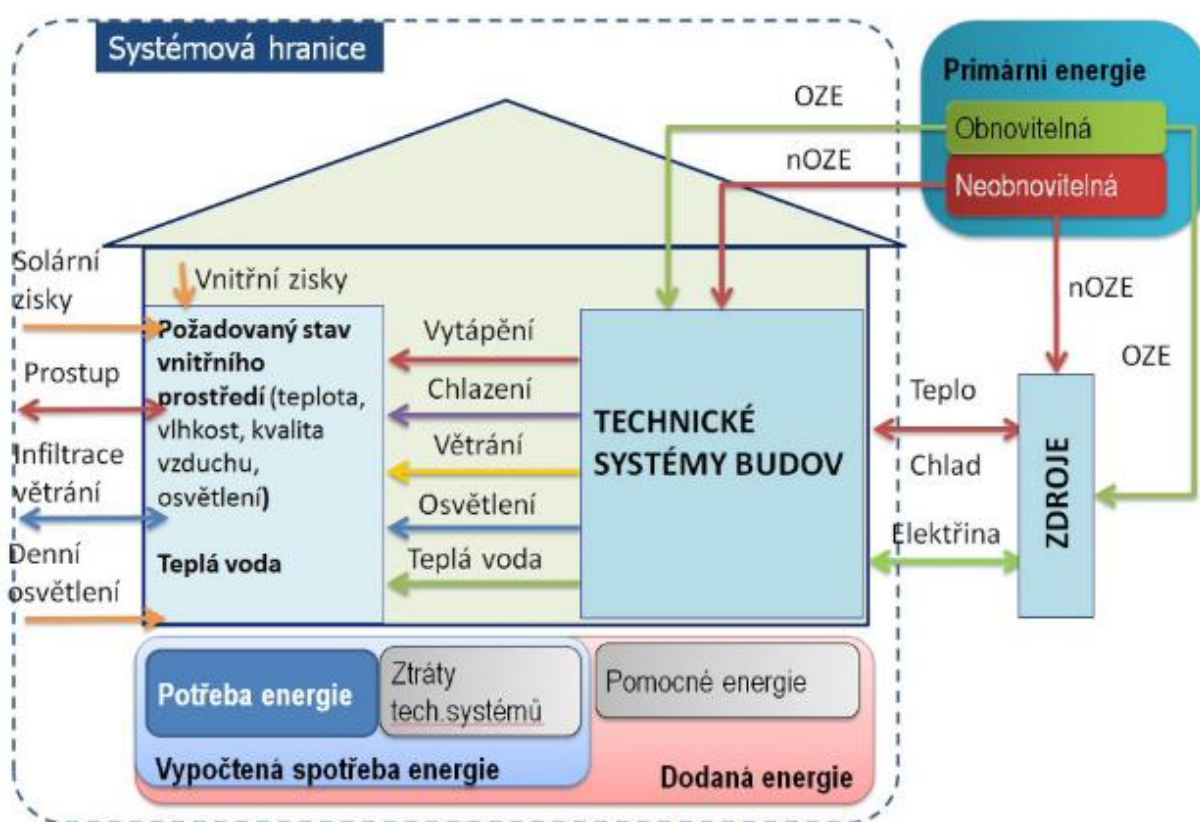
- Celková primární energie za rok
- Neobnovitelná primární energie za rok
- Celková dodaná energie za rok
- Dílčí dodané energie pro technické systémy za rok
- Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}
- Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí
- Účinnost technických systémů

Dílčí dodané energie pro technické systémy za rok se potom ještě dělí následovně:

- Vytápění
- Chlazení
- Větrání

- Úprava vlhkosti vzduchu
- Příprava teplé vody
- Osvětlení

Dále je nutné stanovit ztrátu při dodávce energie do zony, jedná se o ztráty vzniklé výrobou(transformací), distribucí, sdílením energie v rámci zon prostřednictvím příslušných energetických systémů. [17]



Obr. č. 10 Energetická náročnost budovy-provázanost jednotlivých částí [17]

7 PENB-OBÁLKA BUDOVY

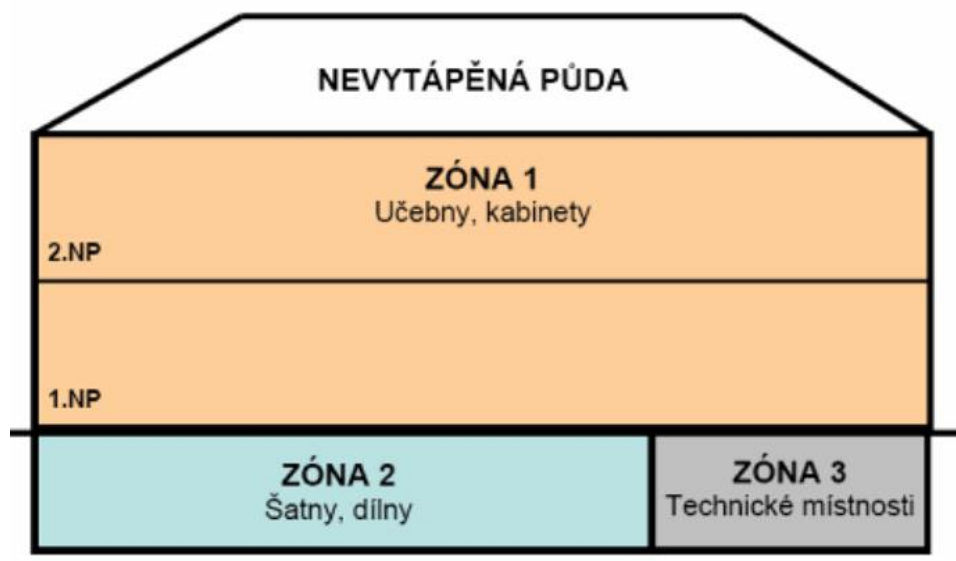
7.1 ZÓNOVÁNÍ BUDOVY

První věcí důležitou pro výpočet a posouzení PENB je nutnost si uvědomit, že každá budova není homogenní celek, že může mít více částí, které se od sebe liší v mnoha různých věcech.

Proto je tu několik základní ukazatelů, které musí být splněny, aby se mohla budova nebo její část prohlásit za jednu zónu, a ty jsou následující:

- Je zásobována stejnou skladbou energetických systémů budovy – užití energie je stejné
- má různé užívání v souladu se standardizovanými podmínkami vnitřního a venkovního prostředí a provozu stanovenými v platných technických normách a jiných předpisech
- Splňuje požadavky na zónování podle technické normy – ČSN EN ISO 17 790
Teplotní zónování

Z výše uvedeného tedy vyplývá to, že zóna je skupina prostorů s podobnými vlastnostmi vnitřního prostředí a režimem užívání



Obr. č. 11 Příklad zónování budovy-budova základní školy [17]

Pokud se nám tedy podaří rozdělit jednotlivé části domu na určité zóny dle již uvedených požadavků je nutno přiřadit k nim příslušné výměry nutné pro další výpočty.

K tomuto je potřeba si vysvětlit pojmy, které stanoví legislativa v této oblasti.

Prvním důležitým pojmem je energeticky vztažná plocha což je plocha vymezená vnějšími konstrukcemi a je stanovena z vnějších rozměrů.

Dále je tu pojem užitná plocha – to je plocha vymezená vnitřním lícem konstrukcí ohraničujících zónu

Objem zóny je potom prostý objem této zóny a udává se v m³. [18]

7.2 VÝPOČET PRŮMĚRNÉHO SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HODNOCENÉ BUDOVY

Po dokončení rozdělení budovy na určité zóny je nutné přistoupit k výpočtu průměrného součinitele tepla označovaného U_{em} , který má jednotku $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

Určení průměrného součinitele tepla U_{em} provedeme výpočtem dle následujícího vzorce:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{H_T}{\sum A_j}$$

- $H_T [W \cdot K^{-1}]$ - měrná ztráta prostupem tepla hodnocené budov
- $A [m^2]$ – celková teplosměnná plocha obálky budovy $A_j [m^2]$
- $A_j [m^2]$ – plocha j-té teplosměnné konstrukce tvořící obálku hodnocené budovy na systémové hranici budovy stanovena z vnějších rozměrů

Dva uvedené výpočty ploch A a A_j provedeme z VV projektové dokumentace, pokud ho nemáme k dispozici, tak je nutné ho zpracovat dle výkresů projektové dokumentace.

Výpočet měrné ztráty prostupem tepla hodnocené budovy $H_T [W \cdot K^{-1}]$ provedeme dle vzorce níže [18]:

$$H_T = \sum H_{T,j} + \Delta H_{T,wb} = \sum (U_j \cdot A_j \cdot b_j) + A \cdot \Delta U_{tb}$$

- $H_{T,j} [W \cdot K^{-1}]$ – měrná ztráta prostupem tepla j-té teplosměnné konstrukce tvořící obálku hodnocené budovy na systémové hranici budovy
- $\Delta H_{T,wb} [W \cdot K^{-1}]$ – měrná ztráta prostupem tepla hodnocené budovy tepelnými vazbami
- $U_j [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ – součinitel prostupu tepla j-té teplosměnné konstrukce tvořící obálku hodnocené budovy na systémové hranici budovy
- $A_j [m^2]$ – plocha jednotlivé teplosměnné konstrukce tvořící obálku hodnocené budovy na systémové hranici budovy stanovená z vnějších rozměrů
- $b_j [-]$ – činitel teplotní redukce podle tab. F.2 v normě ČSN 73 0540-3: 2005 [3]

Následně se provede navýšení průměrného součinitele tepla U_{em} o přírážku na tepelné vazby, čemuž se budu věnovat v další kapitole.

7.3 PŘIRÁŽKA NA TEPELNÉ VAZBY

Tepelné vazby a tepelné mosty jsou velmi důležitým faktorem pro výpočet parametrů každého konstrukčního systému budovy. Dnes již nahrazená norma ČSN 060210 určovala jednotnou přírážku na lineární tepelné vazby ve výši 10%, to znamenalo navýšení vypočteného prostupu tepla U koeficientem 1,1. Postupem času se však ukázalo, že toto není dostatečné a je velmi těžko obhajitelné, že lineární tepelné vazby jsou závislé pouze na tepelném odporu konstrukce. V praxi bylo dokonce prokázáno, že v určitých situacích snižování součinitele prostupu tepla vedlo k vzrůstajícímu lineárnímu činiteli prostupu tepla. [19]

V současné době je velikost přírážky na tepelné vazby dána normou ČSN 73 0580-4 a vychází s jednotlivých typů tepelných vazeb mezi různými druhy konstrukcí následovně:

- $\Delta U_{tb} \approx 0,02 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ pro konstrukce s důsledně optimalizovanými tepelnými vazbami
- $\Delta U_{tb} \approx 0,05 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ pro konstrukce s běžnými tepelnými vazbami (typové či opakované řešení)
- $\Delta U_{tb} \approx 0,10 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ pro konstrukce s běžnými tepelnými vazbami (dříve standardní řešení)
- $\Delta U_{tb} \approx 0,20 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ pro konstrukce s výraznými tepelnými vazbami

B – PRAKTICKÁ ČÁST

8 HODNOCENÁ BUDOVA

Pro mou diplomovou práci jsem si vybral objekt Otevřené zahrady a poradenského centra NNO na ulici Údolní v Brně, a to hlavně z toho důvodu, že se jedná o unikátní projekt, který má za cíl vzdělávat širokou veřejnost o problematice energetické náročnosti a potřeby budov.

8.1 POPIS A IDEA TOHOTO PROJEKTU

Jedná se koncept veřejné budovy, jakéhosi poradenského centra a současně budovy určené pro vzdělání, informace a také zábavu jehož cílem je přitáhnout co největší zájem veřejnosti a co největší počet návštěvníků.

Autoři projektu vycházeli z koncepce myšlenky vrácení zastavěné plochy zpět zeleni-v tomto případě zahradě. Dům měl vycházet a dokonale zapadat do svého okolí a tvořit se zahradou kompaktní celek.

Stavba samotná potom slouží jako názorná ukázka architektury v duchu udržitelného rozvoje, měla by být srozumitelná široké veřejnosti.

Cílem bylo vybudovat modelový objekt citlivě zasazený do prostředí, konstrukčně a technologicky splňující požadavky na pasivní dům, jehož řešení splňuje principy šetrného soužití a přístupu k životnímu prostředí ve všech myslitelných aspektech – již od energetické bilance po hospodárné zacházení s přírodními zdroji a neobnovitelnou částí surovin a také šetrné chování k životnímu prostředí během výstavby samotné a v neposlední řadě také během vlastního provozu této stavby. [20]



Obr. č. 12 Pohled na budovu z prostoru přilehlé zahrady [20]

8.2 DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ OBJEKTU

Vstup do domu je situován do průchodu ze dvora, umístěném v jeho koncové části. V průchodu, otevřeném skrz objekt stávající i nově vybudovaný je umístěna malá hala s recepčním pultem, kde získávají návštěvníci prvotní informace o stavbě, zahradě a vůbec celém areálu.

Vstupní halou potom prochází hlavní komunikační osa, která spojuje v jedné úrovni blok kancelářských prostor s výtahem.

V centrální části se nachází jednací místnosti napojené na zahradu a dále seminární sál rozkládající se přes dvě podlaží budovy, v horní části je spojen se zahradou.

V třetím podlaží je pak umístěn další blok kanceláří, který je propojen s venkovní terasou.



Obr. č. 13 Pohled do interiéru budovy [20]

Dispozičně je objekt rozdělen na dva trakty, komunikační prostor spojující vertikálně vstupní halu přes všechna podlaží se střešní zahradou je koncipován zároveň jako výstavní prostor a odpočinkový prostor pro návštěvníky umožňující vizuální kontakt s okolní zahradou.

Přes komunikační prostor je také zprostředkováno spojení se stávající administrativní budovou ve druhém nadzemním podlaží.

Seminární sál je díky napojení jak z administrativní části, tak z veřejně přístupné zahrady dispozičním uzlem, kde se prolíná plně veřejný prostor s poradenskou činností z částí administrativně funkční.

Tento sál je díky samostatnému hygienickému zázemí možné využívat autonomní přístup ze zahrady.

Technické prostory jsou umístěny na spodním podlaží v části zapuštěné do svahu. Jejich integrita tak umožňuje lépe využívat odpadní teplo z technologií ve prospěch vnitřního prostředí domu.



Obr. č. 14 Seminární sál [20]

8.3 TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ ÚSPORY ENERGIE A OCHRANY TEPLA V OBJEKTU

Vzhledem k tomu, že je budova navržena v pasivním energetickém standartu tak byla navrženy takové konstrukční materiály a detaily, které vyhoví nejen požadavkům ČSN 73 0540-02 Tepelná ochrana budov, ale byla navržena i určitá rezerva s ohledem na budoucí vývoj zpřísňování parametrů energetické náročnosti budov.

Novostavba (objekt SO01) má kompaktní objem a racionální řešení jednotlivých obvodových konstrukcí.

Konstrukce základů je provedena jako monolitická železobetonová konstrukce. Založení na plošné základové desce tloušťky 350 mm s lokálním zesílením pod nejvíce namáhanými místy tloušťky 700 mm.

Obvodové stěny mají tl.200 mm a 300 mm. Obvodové stěny pod úrovní terénu jsou opatřeny hydroizolací proti zemní vlhkosti.

Materiálem obvodových stěn je monolitický vyztužený beton opatřený tepelnou izolací.

Izolantem jsou desky měkkého konopného izolantu vtlačené mezi svislé nosné prvky, rozměry jednotlivých desek jsou 600 x 1200 mm.

Jsou ve třech vrstvách a mají celkovou tloušťku 300 mm.

Požární záklop fasády je tvořen cementotřískovými deskami o rozměru 1250 x 3350 mm s hladkými hranami. Pohledovou část tvoří obklad z modřínového dřeva z prvků 50 x 40 mm uložených křížem ve dvou vrstvách.

Pod pohledovou částí je umístěna difúzně otevřená folie odolná proti povětrnostní zátěži i UV záření.

Nad převážnou částí objektu je umístěna zelená pochozí střecha, která je provedena ve skladbě, kterou vám popíšu v této části textu.

Na železobetonové střešní desce je 60 mm vrstva lehčeného betonu plněného recyklovaným odpadním polystyrenem.

Tato vrstva je opatřena asfaltovým penetračním nátěrem, na němž jsou pak umístěny pásy asfaltové parozábrany a pojistné hydroizolace beze spádu, jsou to asfaltové modifikované pásy tl.3,5 mm s nosnou vložkou z Al. folie + skelná rohož o celkové plošné hmotnosti min.100 g/m².

Nad touto vrstvou se nachází spádové klíny z tepelné izolace s tloušťkou 20-180 mm z desek stabilizovaného pěnového polystyrenu EPS 100S.

Tato vrstva je potom zdvojena o další vrstvu EPS 100S tloušťky 160 mm.

Nad nimi je položena separační geotextilie 200g/m² tl.2mm, skladba dále pokračuje hydroizolační kaučukovou folií EPDM tloušťky 1,5mm.

Další částí je ochranná vrstva nad hydroizolací, která má za účel ochránit popsanou vrstvu hydroizolace před mechanickým poškozením a je tvořena extrudovaným polystyrenem o tloušťce 60 mm, následují separační geotextilie, drenážní a akumulací vrstva PE nopové folie tl.25 mm s horní filtrační geotextilií na které je potom umístěna vlastní vrstva substrátu tloušťky od 140 do 300 mm.



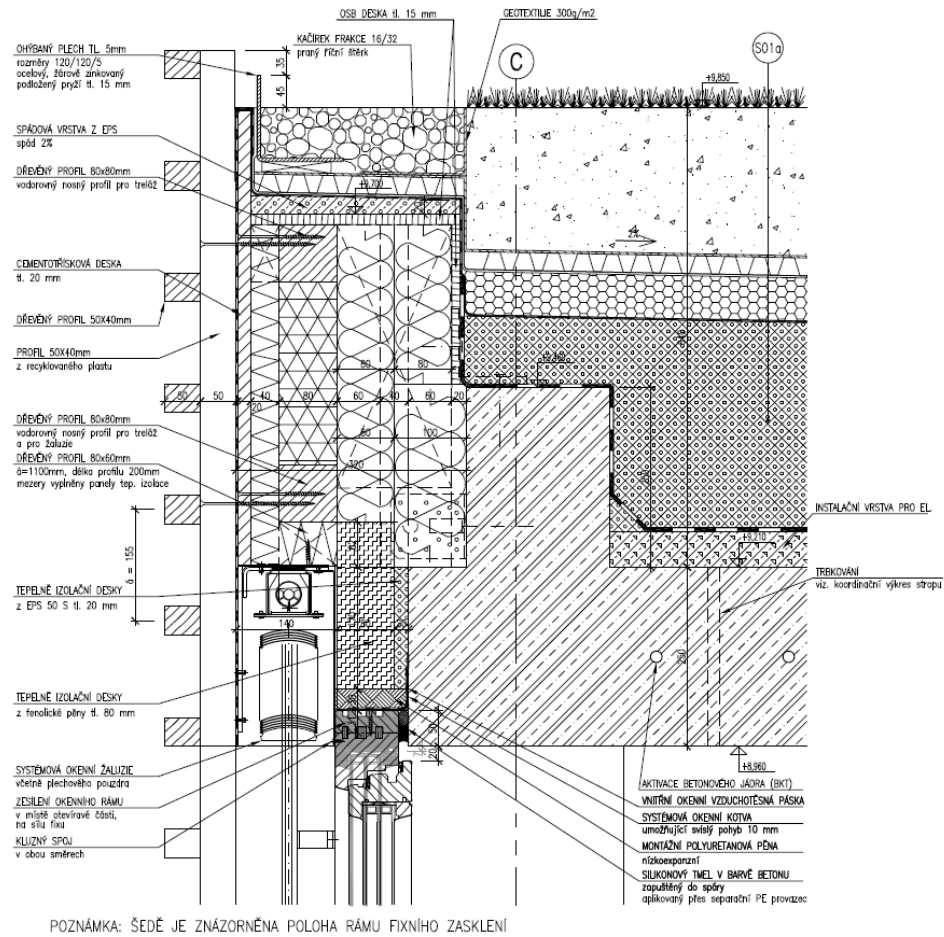
Obr. č. 15 Pohled na zelenou střechu objektu Údolní

Speciální pozornost musela být kladena, vzhledem k tomu, že se jedná o pasivní dům, na řešení konstrukčních detailů a zabránění vzniku tepelných mostů-pro ilustraci složitosti řešení těchto detailů níže uvádím konstrukční detail napojení svislých konstrukcí s okenní výplní na vodorovnou konstrukci a konstrukce zelené střechy objektu.

Zdrojem energie pro vytápění, chlazení a přípravu TUV je tepelné čerpadlo země/voda kterému se budeme podrobně věnovat v dalších částech této práce.

Větrání v objektu je provedeno jako nucené s rekuperací tepla. Je zde také navržen systém řízeného přirozeného větrání pro noční předchlazování objektu.

Co se týče osvětlení, tak všechna pracovní místa jsou navržena tak, aby osvětlení bylo přirozené. Pokud dle ročního období není intenzita dostatečná tak je v objektu instalováno umělé osvětlení jeho intenzita je však monitorována a plynule řízena v zónách podle hloubky dispozice za účelem minimalizace spotřeby elektrické energie a vnitřních tepelných zisků.



Obr. č. 16 Stavební detail složitého řešení napojení svislé konstrukce na zelenou střechu objektu [20]



Obr. č. 17 Prostory kanceláři objektu s navrženým denním osvětlením [20]

Na všech otvorových výplních je navrženo vnější stínění, regulované podle intenzity oslunění a úrovně a úrovně denního osvětlení. Oba řídicí systému jsou napojeny na systém MaR a činnost koncových prvků je optimalizována tak, aby bylo dosaženo co nejmenší spotřeby primární energie potřebné k provozu objektu.

9 SPECIFICKÉ TEPELNÉ ČERPADLO V OBJEKTU

9.1 SPECIFIKA POUŽITÉHO ŘEŠENÍ A JEHO POPIS

Pro sledovaný objekt NNO Údolní je jako zdroj tepla a chladu použito tepelné čerpadlo země/voda umístěné v technické místnosti, chlazení je zde realizováno pouze přirozeně, volným chlazením ze zemních vrtů, které jsou rozmístěny v sousední zahradě – je jich 10 ks, 9 x 129 m a 1 x 100 m.

Oběhové čerpadlo tepelného čerpadla je nadimenzováno na průtok primárním okruhem 16 500 kg/h při extrémním tlaku pro primární okruh 70 kPa.

Primární snahou by mělo být co nejvíce snížit tlakovou ztrátu okruhu, tím dojde k provozní úspoře.

Zdroj tepla kompaktního tepelného čerpadla je schopno připravovat vodu pro tři různé účely. Pro vytápění bude připravovat vodu o teplotním spádu 35/30 °C to znamená při návrhové teplotě z vrtů 4/0 °C topný výkon 33,7 kW při COP 4,36.

Pro ohřev teplé užitkové vody bude připravovat vodu o teplotním spádu 55/50 °C, to znamená při návrhové teplotě z vrtů 4/0 °C maximální výkon 31,6 kW při COP 2,51.

Tepelné čerpadlo je vybaveno třemi kompresory a schopno pracovat v režimu 0-33-66-100%. V režimu ohřevu teplé vody to znamená výkon 10,5 kW.

Vyrobená topná a chladicí energie bude pomocí integrovaných čerpadel ukládána do akumulčních zásobníků tepla a chladu o objemu 500 l.

Soustava zemních vrtů je navržena tak, že chlazení objektu bude pouze pomocí volného chlazení ze zemních vrtů bez nutnosti chladivového okruhu.

V otopné soustavě je jako topné/chladicí medium použita voda. Soustava zemních vrtů obsahuje směs vody a nemrznoucí kapaliny, systém byl napuštěn a odvzdušněn při instalaci a

během provozu tato soustava standartně nevyžaduje doplňování, pouze během prvních dvou měsíců se odloučí část kyslíku z vody a je nutno pomocí ručního doplňovacího zařízení doplnit.

V technické místnosti jsou instalovány rozdělovače pro čtyři topné a chladicí větve napojené na akumulční zásobníky tepla a chladu.

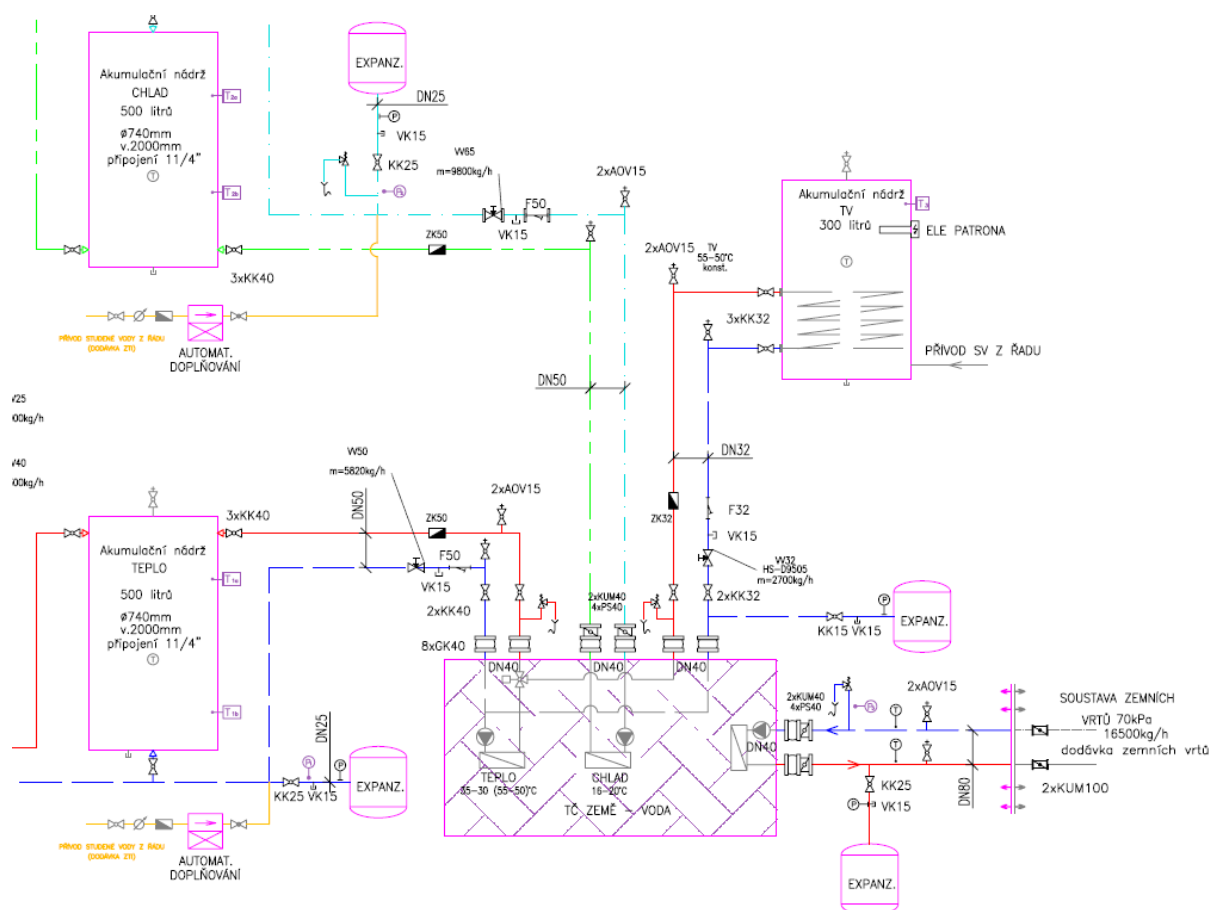
Páteční rozvody v objektu jsou dvoutrubkové, umožňující buď vytápění nebo chlazení. Proto jsou vždy topné a chladicí větve určitého úseku propojeny a opatřeny uzavíracími armaturami, které zajišťují přepnutí z režimu chlazení na vytápění. Přepnutí a spouštění oběhových čerpadel je zajištěno systémem MaR. Jednotlivé větve jsou potom osazeny trojcestnými směšovacími armaturami umožňujícími přípravu různých teplot topného a chladicího media dle provozního stavu.

Použitá oběhová čerpadla jsou s proměnnými otáčkami (regulovány dle proporcionálního tlaku), aby maximálně šetřili spotřebovanou elektrickou energii.

Z jednotlivých větví jsou napojeny koncové spotřebiče.

Ohřev teplé vody je řešen přímým okruhem z tepelného čerpadla, který ohřívá zásobník teplé vody o objemu 300 l pomocí výměníku umístěného v dolní části akumulční nádrže. Pro případnou potřebu dohřátí je zásobník vybaven elektrickou topnou patronou.

Oběhová tepelná čerpadla mají výkon 0,9 kW.



Obr. č. 18 Schéma zapojení TČ a návaznosti na jednotlivé technologické části

9.2 TECHNICKÝ POPIS JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ – TOPNÝ MODUL

Jako otopný modul je použita kompaktní energocentrála k přípravě a výrobě tepla z primárního okruhu systému zemních vrtů, energopilot a tepelně aktivovaných zemních konstrukcí.

Energocentrála se skládá z vícestupňového tepelného čerpadla pro výrobu tepla vč. hydrauliky s integrovanými čerpadly vč. elektro-rozvaděče, který má řídicí programovatelný systém. Vše bylo kompaktně sestaveno již z výroby a nebula nutná kompletace na stavbě, což zamezuje případným chybám při montáži až na stavbě a mohlo by ovlivnit funkčnost a efektivitu tohoto zařízení.

Chladicí okruh je naplněn chladícím médiem a všemi provozními tekutinami.

V topném režimu bude využita geotermie jako zdroj nízko-potencionálního tepla. Teplota topného media bude tepelným čerpadlem zvýšena na požadovanou teplotu objektu a takto předána topnému systému objektu.

Modul tepelného čerpadla se skládá z kompaktně propojených, na sání chladiva napojených kompresorů, toto zařízení je konkrétně vybaveno třemi kompresory.

Na sání chladiva je umístěný výměník, což je svazkový trubkový tepelný výměník k optimalizaci výkonu a k zabezpečení správného a ekonomického chodu kompresoru. Prostřednictvím tohoto výměníku je také nasávané chladivo.

Na místech, kde může docházet ke kondenzaci vzdušné vlhkosti tak jako na výparníku, výměníku a vedení je umístěna difúzně těsná tepelná izolace.

Řídící systém má za úkol řízení energocentrály na základě externích informací v rámci různých možných provozních stavů a režimů.

V rámci řízení bude energocentrála dodávat odpovídající teplotu topné vody do akumuláční nádoby a vytápět na odpovídající cílovou teplotu.

Prostřednictvím toho managementu výkonu tep. čerpadla je požadavek na tepelný výkon zahrnut do bilance geotermálního zdroje, kde na základě vyhodnocení všech požadavků a stavů, maximálně úsporně vyroben.

Výkon energocentrály je vhodně uzpůsoben potřebě dle výkonových stupňů kompresorů.

9.3 TECHNICKÝ POPIS JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ – MODUL PŘIROZENÉHO CHLAZENÍ

Modul přirozeného chlazení rozšiřuje energocentrálu o možnosti napojení na chladicí medium, prostřednictvím tepelného výměníku vsazeného mezi geotermii a chlazené medium připraví požadované množství chlazeného media pro využití v objektu dle možností geotermie z primárního zdroje, což jsou zemní vrty.

Paket pasivního chlazení se skládá z deskového tepelného výměníku, teplotními senzory a senzory pro sledování proudění.

Vnitřní hydraulická propojení energocentrály umožňují současně využívání a výrobu topného a chladicího média. Tímto propojením, v rámci topného režimu a současném využívání chladicího režimu, je využito vnitřní zpětné získávání tepla.

Přebytečné teplo nemusí být odvedeno do geotermie a umořeno, ale využito. Energocentrála tak neobsahuje žádný kondenzátor pro přebytky tepla, k tomu slouží modul pro mechanické chlazení, který není součástí této elektrocentrály.

V případě využívání jednotky pouze pro chlazení, prověří jeho řídicí jednotka, jestli teplotní úroveň tepla/chladu ze zemních vrtů neboli geotermie je odpovídající pro přirozené chlazení. V případě, že tomu tak není a teplotní úroveň není odpovídající, bude získává chladicí energie přímo prostřednictvím tepelného výměníku připravena pro chladicí médium objektu bez provozu kompresorového okruhu.

Modul přirozeného chlazení obsahuje navíc čerpadlo pro chlazené médium.

9.4 TECHNICKÝ POPIS JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ – OSTATNÍ ZAŘÍZENÍ SOUSTAVY

Dále se na soustavě vyskytují další důležitá zařízení nutná pro správný chod navrženého řešení funkčního celku soustavy.

Oběhová čerpadla jsou navržena v energetické třídě minimálně A. Čerpadla jsou navržena s proměnnými otáčkami, u větších čerpadel dle proporcionálního tlaku, u menších je to řešeno automatickou adaptabilní funkcí. Regulace změn otáček je také součástí oběhového čerpadla soustavy.

Dále jsou součástí soustavy armatury, vlastní okruhy, a zvláště primární okruh-zemní vrty, kterým se budeme detailně zabývat v další části.

10 PROJEKT A REALIZACE ZEMNÍCH VRTŮ BUDOVY

Zemní vrty a celé řešení soustavy realizovala na tomto objektu firma GERO top, která se zabývá stavebnicovým potrubím a systémem pro tepelná čerpadla. Jejím úkolem bylo provést komplexní návrh od dimenzování vrtů až po výstupní zařízení.

Navrženo bylo celkem 10 vrtů-9x129 m + 1x 100 m. Všechny vrty jsou svedeny do jedné sběrné jámky a z této jámky vycházejí do objektu páteřní vedení. Vzdálenost jednotlivých vrtů je 12 m a jsou navrženy v návaznosti na geotermiku podloží. Vše bylo navrženo tak aby vyhovovalo jednat technickým požadavkům pro jímání zemního geotermického tepla, tak požadavkům, které vyplívají ze situace na pozemku a celkové lokalitě stavby.



Obr. č. 19 Vlastní provádění zemních vrtů [21]

Ve vrtech jsou osazeny geotermální dvoukruhové sondy se separační jímkou a vratným U kolenem z PE, to znamená, že ve vrtu jsou dva okruhy potrubí o průměru 32 mm. Na vrcholu vrtu se vždy spojí teplá a teplá potrubí a studená a studená potrubí pomocí redukce počtu větví do jednoho potrubí a tímto horizontálním potrubím se potom přivede do podzemní plně vystrojené jímky kde jsou potom umístěny rozdělovače a sběrače a potřebná technologie pro kompletní svedení všech přípojek od vrtů do páteřního vedení, které je potom již vyvedeno do vlastní technické místnosti k tepelným čerpadlům.



Obr. č. 20 Vedení horizontálního vedení k zemním vrtům [21]

V systému byla použita jako teponosná látka nemrznoucí směs s inhibitory koroze.

Geotermální vrty mají provedení tzv: „dvouokruhového vystrojení“ což znamená, že jsou provedeny 2 okruhy potrubí a toto duplicitní provedení je navrženo hlavně z důvodu větší efektivity jímání tepla a dále také kvůli snížení tlakových ztrát systému a větší bezpečnosti v případě případné poruchy. Na konci vystrojení pak umístěno závaží, aby při zavádění byl eliminován vztlak vody.



Obr. č. 21 Pohled do hlavní strojovny celé soustavy [21]

Chlad, který se ve vrtech akumuluje v průběhu celého zimního období se potom v létě využívá pro chlazení a jako pasivní systém je v podstatě bezplatný, samozřejmě mimo náklady na oběhové práce systému, což značně přispívá k ekonomice provozu a snížení spotřeb primárních energií a CO₂. Teplota ve vrtech je v zimě kolem 4 st. celsia a v létě se potom pohybuje kolem 14 st. celsia.

Monitoring celého systému pak zaručuje objektivní vyhodnocení nákladů a efektivní řízení soustavy. Systém je napojen na technologii měření a regulace, která za pomoci 46 elektroměrů a 10 kalorimetrů dokáže s velkou přesností vyhodnotit provoz a spotřebu tepla a

chladu v celém objektu a současně přesnou dodávkou tepla a chladu pomocí tepelných čerpadel, možnost on-line sledování provozu budovy.

Současně systém aktivace betonové jádra, také nazývaný BKT pro vytápění a chlazení nosných betonových konstrukcí jehož podstatou je využití termické akumulční schopnosti stavebního dílce ve kterém jsou vedeny rozvody potrubí to znamená, že v případě vytápění je do systému vedena teplá voda a v případě chlazení voda studená. Úroveň uložení trubek je stanovena podle specifických parametrů každého objektu.

Tento systém BKT tak přispívá k rovnoměrnému rozložení teplot v jednotlivých místnostech a obecně k pohodě prostředí v interiéru budovy. [21]

11 PENB SLEDOVANÉ BUDOVY

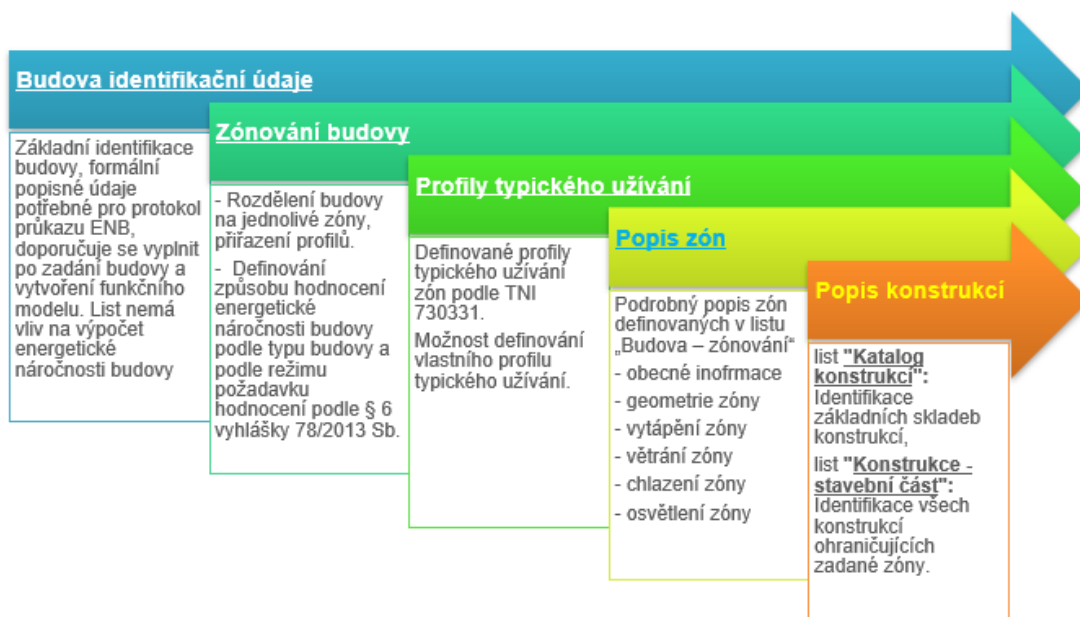
Nástroj pro výpočet a zpracování PENB

Já jsem pro svůj výpočet použil nástroj vytvořený týmem z ČVUT působícím v Univerzitním centru energeticky efektivních budov pod vedením Ing. Miroslava Urbana, Ph.D. a profesora Ing. Karla Kabeleho, CSc. S názvem NKN-Národní kalkulační soubor.

Tento nástroj je po registraci ke stažení pro studenty z celé ČR zdarma.

Nástroj je postaven na platformě Windows excel a dle mého názoru je velmi přehledný a uživatelsky příjemný.

Je členěn do několik základních částí a modulů, které jsou přehledně vidět na obrázku níže.



Obr. č. 22 Základní rozdělení jednotlivých modulů NKN [22]

Zejména část věnující se technologickým částem je pro ne úplně odborníky velmi přehledně členěna a dá se s ní velmi efektivně pracovat.

Přílohou nástroje je i manuál jednotlivých parametrů, které se zadávají u výpočtů, je zde vysvětleno, kde se dá určitý parametr dohledat a na čem závisí, dále odkazuje na jednotlivé části norem a vyhlášek nutných pro správné zadání parametru.

Díky tomuto přehlednému manuálu sem byl schopen poměrně efektivně a rychle zadat a spočítat jednotlivé parametry technologické části PENB.



Obr. č. 23 Rozdělení modulů NKN PENB v části technologií budovy [22]

Tento nástroj má také pro uživatele velkou výhodu, že na konci výpočtů je potom schopen sám vygenerovat základní formuláře a přehledné tabulky a analýzy a to jmenovitě:

- Grafické znázornění průkazu energetické náročnosti budovy
- Protokol průkazu energetické náročnosti budov
- Analýzu energetických potřeb budovy

11.1 ZÓNOVÁNÍ BUDOVY

Tento pojem jsme si zevrubně vysvětlili v teoretické části této práce. U mé sledované budovy, která je poměrně homogenní jsme se s paní vedoucí mé práce po prostudování situace rozhodli o použití jedno zónového modelu.

Pro způsob hodnocení budovy podle vyhlášky 78/2013 Sb. jsme zařídili budovu do typu ostatní budovy a budova je hodnocena podle paragrafu 6 výše zmíněné vyhlášky jako Nová budova.

Profil typického užívání zóny byl potom zvolen jako Administrativní budova – kancelářské prostory.

11.2 GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY BUDOVY

Základními zadávacími údaji jsou jednotlivé geometrické charakteristiky námi zvolené budovy, ty uvádím v tabulce níže:

Geometrické charakteristiky budovy		
Parametr	jednotky	hodnota
Objem budovy V (objem částí budovy s upravovaným vnitřním prostředím vymezený vnějšími povrchy konstrukcí obálky budovy)	(m ³)	4334
Celková plocha obálky budovy A (součet vnějších ploch konstrukcí ohraničujících objem budovy V)	(m ²)	2089
Objemový faktor tvaru budovy A/V	(m ² /m ³)	0,48
Celková energeticky vztázná plocha budovy A _c	(m ²)	1203

Tab. č. 1 Geometrické charakteristiky budovy

Níže umístěná tabulka reprezentuje základní údaje o objektu-v mém případě tedy o jedné zóně:

OBECNÉ INFORMACE O ZÓNĚ			
Název zóny	-	-	budova C
Standardizovaný profil užívání	-	-	Administrativní budovy – kancelářské prostory (odřídlené kanceláře)
Vnější objem zóny	m ³	V _{a,z}	4334,1
Energeticky vztázná plocha (z vnějších rozměrů)	m ²	A _{a,z}	1202,8
Užitná plocha zóny (plocha stanovená z vnitřních rozměrů)	m ²	A _{t,z}	1202,8
Podíl vnitřních a obvodových konstrukcí ze zadaného vnějšího objemu zóny	%	-	15,0%
Vnitřní objem zóny (vnější objem zóny - podíl vnitřních a obvodových konstrukcí)	m ³	V _{tot,z}	3684,0
Počet osob v zóně (vypočítaný z profilu typického užívání)	-	n _{p,z}	85,91
Vnitřní tepelná kapacita zóny (podle ČSN EN ISO 13790)	-	-	Střední
	kJ/m ² .K	C _{m,z}	165,0
Přirážka na vliv tepelných vazeb	W/m ² .K	ΔU _{em}	0,10

Tab. č. 2 Obecné informace o zóně

11.3 STAVEBNÍ PRVKY A KONSTRUKCE-SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA A MĚRNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA

V tabulce níže, jsou uvedeny jednotlivé prvky obálky budovy:

Konstrukce obálky budovy	Plocha A_j	Součinitel prostupu tepla			Činitel teplotní redukce b_j	Měrná ztráta prostupem tepla $H_{T,j}$
		Vypočtená hodnota U_j	Referenční hodnota $U_{n,rq,j}$	Splněno		
	[m ²]	[W/(m ² .K)]	[W/(m ² .K)]	(ano/ne)	-	[W/K]
<i>Tepelné vazby (všechny zóny budovy)</i>	2089,3	0,10	-	-	1,00	208,9
střecha SCH1	502,8	0,11	0,24	ano	1,00	55,3
stěna S01	223,4	0,13	1,30	ano	1,00	29,3
stěna S02	565,1	0,14	0,30	ano	1,00	78,5
podlaha PDL1	500,4	0,10	0,45	ano	1,00	51,5
okno OZ1	30,8	0,70	1,50	ano	1,00	21,6
okno OZ2	6,0	0,70	1,50	ano	1,00	4,2
okno OZ3	19,4	0,70	1,50	ano	1,00	13,6
okno OZ4	20,0	0,70	1,50	ano	1,00	14,0
okno OZ5	35,0	0,70	1,50	ano	1,00	24,5
okno OZ6	6,0	0,70	1,50	ano	1,00	4,2
okno OZ7	19,6	0,70	1,50	ano	1,00	13,7
okno OZ8	26,0	0,70	1,50	ano	1,00	18,2
okno OZ9	26,0	0,70	1,50	ano	1,00	18,2
okno OZ10	6,0	0,70	1,50	ano	1,00	4,2
okno OZ11	57,0	0,70	1,50	ano	1,00	39,9
okno OZ12	20,0	0,70	1,50	ano	1,00	14,0
okno OZ13	25,8	0,70	1,50	ano	1,00	18,1

Tab. č. 3 Stavební prvky a konstrukce

11.4 PRŮMĚRNÝ SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA OBÁLKOU BUDOVY

Požadavek pro hranice tříd byl stanoven v souladu s §9 vyhlášky 78/2013 Sb. Výpočet se provede dle vzorců níže z údajů uvedených v předchozích odstavcích textu.

Vypočtená hodnota pro tuto budovu: $U_{em}=H_T/A$.

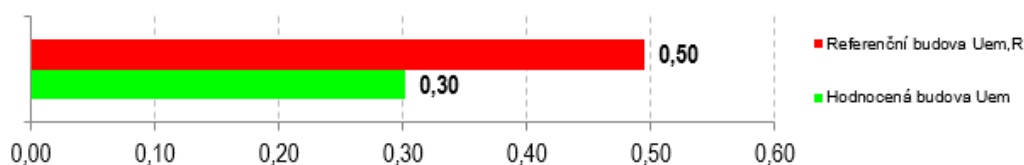
$U_{em,R}$ což je hodnota pro referenční budovu se vypočte dle metodiky uvedené v příloze 1 odstavec 7 vyhlášky 78/2013 Sb.: Pro nové budovy je požadovaná základní hodnota průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20,R}$:

$$U_{em,R} = \sum(U_{em,R,j} \cdot V_j) / \sum V_j$$

kde $U_{em,Rj}$ je referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla j-té zóny budovy, ve $W/(m^2 \cdot K)$, stanovená stejným postupem jako hodnota $U_{em,R}$ pro jednozónovou budovu podle odstavce 4 až odstavce 6; V_j objem j-té zóny budovy, stanovený z vnějších rozměrů, v m^3 [23]

Výsledná hodnota pro posuzovanou budovu $U_{em}=0,30 W/m^2 \cdot K$, referenční budova má dle klasifikace $U_{em,R}$ hodnotu $0,50 W/m^2 \cdot K$.

Klasifikační ukazatel ER pro U_{em} je $0,61 W/m^2 \cdot K$, tím pádem je požadavek ukazatele en splněn a obálka budovy je tak zařazena do třídy energetické náročnosti dle klasifikace: A – mimořádně úsporná



Obr. č. 24 Porovnání hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy mezi hodnocenou a referenční budovou v $W/m^2 \cdot K$

11.5 ENERGETICKÁ BILANCE NA ÚROVNI BUDOVY

V návaznosti na výpočet obálky budovy a jednotlivých konstrukcí budovy dále uvádím energetickou bilanci na úrovni budovy

jednotlivé části	jednotky	hodnocená budova	referenční budova	rozdíl hod. a ref.
potřeba energie na vytápění	kWh/rok	8623	4164	4459
solární tepelné zisky	kWh/rok	53191	59101	-5910
vnitřní tepelné zisky	kWh/rok	73782	137885	-64103
celkové tepelné zisky	kWh/rok	126974	196986	-70012
celkové mn.přeneseného tepla větráním	kWh/rok	25906	25906	0
celkové mn.přeneseného tepla prostupem	kWh/rok	44886	73531	-28645

Tab. č. 4 energetická bilance potřeby energie režim vytápění

Dále níže v tabulce uvádím energetickou bilanci potřeb energie v režimu chlazení a dílčí parametry

režim chlazení				
potřeba energie na chlazení	$Q_{C,nd}$	kWh/rok	12 274	14 586
solární tepelné zisky	$Q_{C,gn,sol}$	kWh/rok	53 191	11 820
vnitřní tepelné zisky	$Q_{gn,int}$	kWh/rok	31 065	137 885
celkové tepelné zisky	$Q_{C,gn}$	kWh/rok	84 256	149 705
celkové množství přeneseného tepla větráním	$Q_{C,v}$	kWh/rok	85 925	85 925
celkové množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{C,tr}$	kWh/rok	64 374	130 080

Tab. č. 5 Energetická bilance potřeby energie v režimu chlazení

11.6 ENERGETICKÁ BILANCE NA SYSTÉMŮ

V první části výpočtu šlo zejména o použité konstrukce na stavbu budovy, její rozměry a další stavebně technické ukazatele, které vyjadřovali jednotlivé tepelné zisky z vnějšího prostředí a také tepelné ztráty prostupem konstrukcí.

Avšak v této části výpočtu se zaměřujeme na jednotlivé technické systémy nutné pro chod budovy a jejich náročnost na potřebu dodané energie do budovy jako je vytápění, mechanické větrání, osvětlení a přípravu teplé užitkové vody.

11.7 DÍLČÍ DODANÁ ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Jak již bylo uvedeno v popise technologických částí budovy zdrojem tepla je tepelné čerpadlo země voda. kde je energo nositelem elektrina, další vstupní údaje nutné pro výpočet nástrojem NKN uvádím níže v tabulce:

parametr	označení	hodnota
jmenovitý tepelný výkon zdroje tepla		34 kW
účinnost výroby tepla zdrojem tepla	$\eta_{gen,H,sys}$	100%
účinnost regulace zdrojem tepla	$\eta_{gen,H,ctl,sys}$	100%
COP tepelného čerpadla	COP h,sys	4,36
inst.elekt.příkon oběhových čerpadel	Ph,sys,p.	900 W
typ oběhového čerpadla	s proměnnými otáčkami	

Tab. č. 6 Vstupní parametry výpočtu dílčí dodané energie na vytápění tep. čerpadla hodnocené budovy

Dle zadaných parametrů a okrajových podmínek byla vypočtena energie potřebná na vytápění naší budovy na 12955,6 kWh/rok což je 10,8 kWh/m².rok, u referenční budovy je výsledek 7,1 kWh/m² tudíž výsledný klasifikační ukazatel ER pro Uem je 1,51 a zdroj tepla je tedy zatříděn dle tohoto výpočtu do kategorie E – nevhodná.

B.1. Dílčí dodaná energie na vytápění			
		kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova	E_H	12955,6	10,8
Referenční budova	$E_{H,R}$	8579,3	7,1
Ref budova- klasifikace	$E_{H,R,Min}$	8579,3	
Klasifikační ukazatel ER pro Uem:		1,51	
Třída energetické náročnosti:		E - Nehospodárná	

Tab. č. 7 Výstup z výpočtu a zatřídění dílčí dodané energie na vytápění

Celkové potřeby systému budovy potřebné na vytápění dle výpočtu PENB sem dále rozdělil dle jednotlivých měsíců.

měsíc	kWh
leden	4514
únor	2489
březen	350
duben	0
květen	0
červen	0
červenec	0
srpen	0
září	0
říjen	0
listopad	1776
prosinec	3827

Tab. č. 8 Množství dodané energie na vytápění budovy dle jednotlivých měsíců

11.8 DÍLČÍ DODANÁ ENERGIE NA CHLAZENÍ

Jelikož je v budově na chlazení využíváno také již zmiňované tepelné čerpadlo země-voda provedené pomocí zemních vrtů bylo nutno výpočet pro tuto část mírně modifikovat, abychom dosáhli reálných výsledků s využitím částečně energonositele elektřiny a částečně energie okolního prostředí-přirozeného chladu získaného ve vrtech.

Rozdělil jsem tedy procentuálně pokrytí potřeby chladu.

Pro energonositele elektřina s jmenovitým el. příkonem zdroje chladu 8kW a jmenovitým chladícím výkonem 25 kW pomocí tepelného čerpadla o EER zdroje chladu 4,36 jsem přiřadil 25% pokrytí potřeb chladu na chlazení zony.

Pro chlad získávaný ze zemních vrtů bylo přiřazeno 75% pokrytí potřeby chladu na chlazení zony.

Tento postup tím pádem dokáže do výpočtu zavést správný stav potřeb na chlazení budovy získaný díky nové neobvyklé technologii použité na chlazení budovy na který není výpočet pomocí PENB zatím koncipován.

Výsledkem výpočtu je tedy v porovnání s referenční budovou zatřídění do klasifikačního ukazatele ER pro U_{em} : 0,68, což značí zařazení do kategorie B-velmi úsporná.

Tento výsledek reflektuje, že budova má úspornější systém chlazení, než je v současnosti obvyklé, a to díky použití energie země ze zemních vrtů.

B.2. Dílčí dodaná energie na chlazení				
			kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova		E_C	3928,3	3,3
Referenční budova		E_{C,R}	5737,8	4,8
Ref budova- klasifikace		E_{C,R,klas}	5737,8	
Klasifikační ukazatel ER pro Uem:			0,68	
Třída energetické náročnosti:			B- Velmi úsporná	

Tab. č. 9 Dílčí dodaná energie na chlazení, porovnání s referenční budovou

Stejně jako u dílčí dodané energie na vytápění jsem dále potřebu energie rozložil dle metodiky PENB do jednotlivých měsíců roku.

měsíc	kWh
leden	0
únor	0
březen	0
duben	0
květen	727
červen	903
červenec	990
srpen	985
září	324
říjen	0
listopad	0
prosinec	0

Tab. č. 10 Množství dodané energie na chlazení budovy dle jednotlivých měsíců

11.9 DALŠÍ DÍLČÍ DODANÉ ENERGIE DO BUDOVY

Výpočet dále navazuje hodnotami pro dílčí dodané energie větrání, energie na přípravu teplé užitkové vody a v neposlední řadě dílčí dodanou energii na osvětlení.

Výpočet vychází z metodiky pro jednotlivé použité systémy v této budově popsané v dřívější části mé práce.

Výsledky pro dílčí dodané energie prezentuji v tabulce níže, kde je porovnání s referenční budovou a následné zařazení dle klasifikačního ukazatele ER.

B.3. Dílčí dodaná energie na větrání				
			kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova		E_V	10369,0	8,6
Referenční budova		$E_{V,R}$	8845,3	7,4
Ref budova- klasifikace		$E_{V,R,klas}$	8845,3	
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :			1,17	
Třída energetické náročnosti:			D - Méně úsporná	
B.4. Dílčí dodaná energie na přípravu teplé vody				
			kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova		E_W	1419,1	1,2
Referenční budova		$E_{W,R}$	36423,6	7,4
Ref budova- klasifikace		$E_{W,R,klas}$	36423,6	
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :			0,04	
Třída energetické náročnosti:			A - Mimořádně úsporná	
B.5. Dílčí dodaná energie na osvětlení				
			kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova		E_L	1164,5	1,0
Referenční budova		$E_{L,R}$	49490,9	41,1
Ref budova- klasifikace		$E_{L,R,klas}$	49490,9	
Klasifikační ukazatel ER pro U _{em} :			0,02	
Třída energetické náročnosti:			A - Mimořádně úsporná	

Tab. č. 11 Ostatní dílčí dodané energie a zařazení do tříd energetické náročnosti

11.10 CELKOVÁ DODANÁ ENERGIE DO BUDOVY

Jak vychází, z již dříve uvedených postupů výpočtu celková dodaná energie je součtem vypočtené spotřeby energie a pomocné energie.

Je tedy součtem výše uvedených dílčích ukazatelů.

Celková dodaná energie do naší budovy je vypočtena na 29836,5 KWh/rok, což je 24,8 kWh/m².rok.

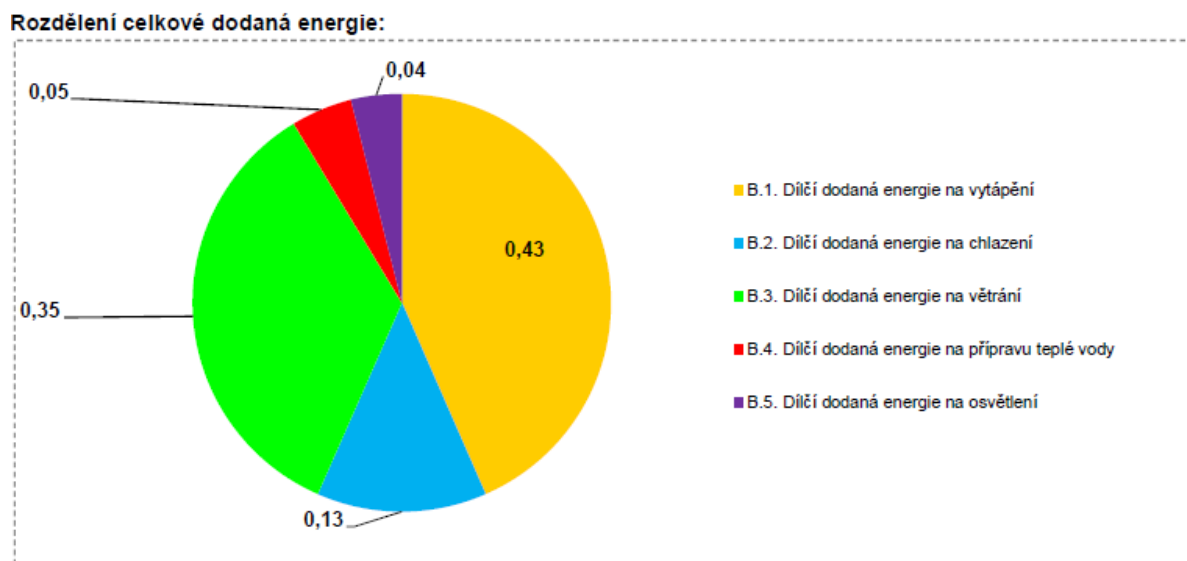
Referenční budova dosahuje hodnot 109076,8 KWh/rok, což je 90,7 kWh/m².rok.

Naše budova je tedy zatříděna do kategorie A – mimořádně úsporná a je tedy vidět, že díky použití úsporných technologií na straně technologií objektu a vhodných konstrukcí na straně obálky je naše hodnocená budova výrazně hospodárnější než klasické administrativní budovy.

A.2. Celková dodaná energie do budovy				
			kWh/rok	kWh/m ² .rok
Hodnocená budova		Q_{fuel}	29836,5	24,8
Referenční budova		$Q_{fuel,R}$	109076,8	90,7
Ref budova- klasifikace		$Q_{fuel,R,klas}$	109076,8	
Klasifikační ukazatel ER pro Uem:			0,27	
Splnění požadavku ukazatele EN:			Ano, požadavek splněn	
Třída energetické náročnosti ukazatele EN:			A - Mimořádně úsporná	

Tab. č. 12 Celková dodaná energie do budovy a zatřídění do třídy energetické náročnosti.

Dále uvádím graf se znázornění poměru rozdělení celkové dodané energie jednotlivých dílčích systémů budovy.



Z tohoto grafu vyplývá, že dílčí dodaná energie na chlazení a mechanické větrání jsou nejvýznamnější složkou se společným podílem 48 % na celkové dodané energii následována systémem vytápění s 43%, systémy pro přípravu teplé vody a osvětlení mají nejmenší podíly na vypočteném množství potřeb dodané energie.

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

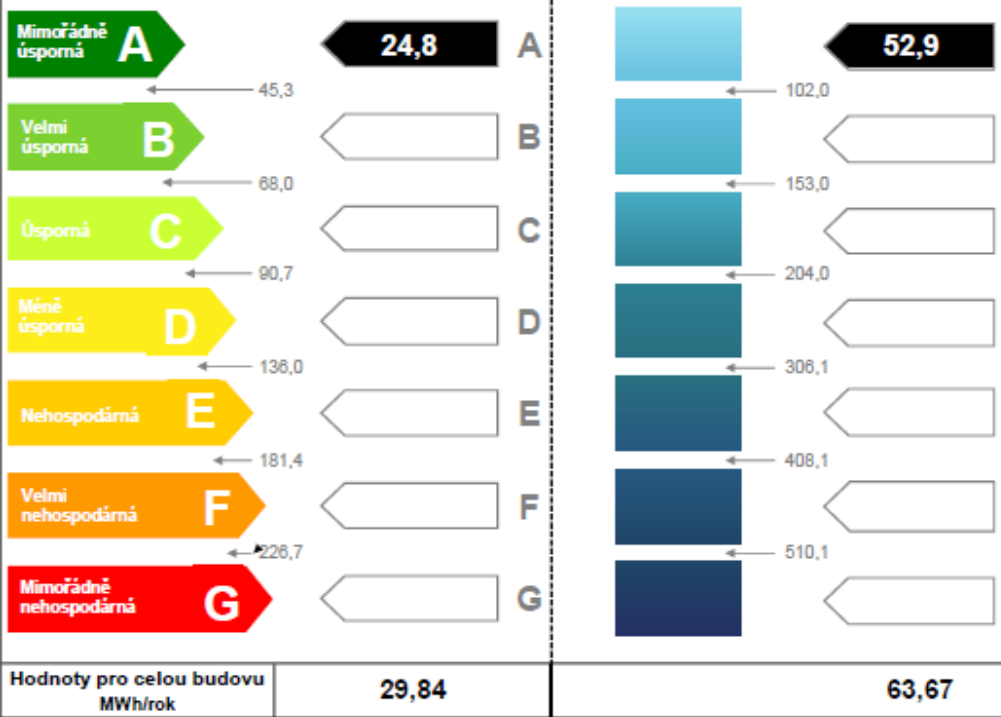
Ulice, číslo: **Údolní 567/33,602 00 Brno**
 PSČ, místo:
 Typ budovy: **Administrativní budova**
 Plocha obálky budovy: **2089** m²
 Objemový faktor tvaru A/V: **0,48** m²/m³
 Celková energeticky vztažná plocha: **1203** m²

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

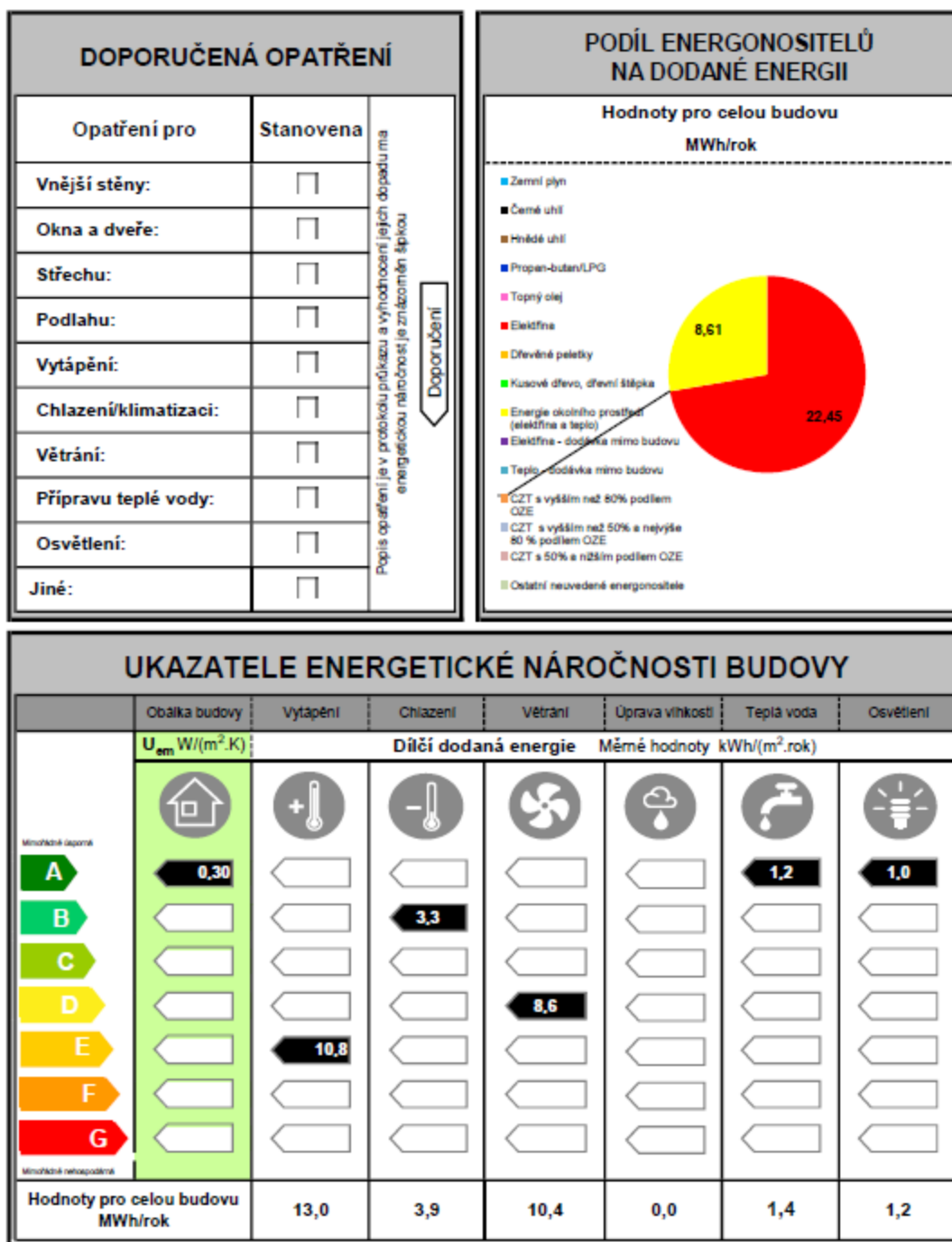
Celková dodaná energie
(Energie na vstupu do budovy)

Neobnovitelná primární energie
(Vliv provozu budovy na životní prostředí)

Měrné hodnoty kWh/(m².rok)



Obr. č. 25 Grafické znázornění PENB-energetická náročnost budovy



Obr. č. 26 Grafické znázornění PENB-ukazatele energetické náročnosti budovy

12 POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ PENB S NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI

Mnou vybraná budova nadace Partnerství s názvem Otevřená zahrada se v roce 2015 jako teprve druhá budova v celé Evropě připojila ke sledování energií a dalších údajů spotřeby na americký systém s názvem BuildingOS od společnosti Lucid.

Tento systém umožňuje sledování všech měřených údajů v aktuálním čase online i archivaci jednotlivých naměřených hodnot pro budoucí vyhodnocení.

Technologická společnost Lucid se specializuje na měření hodnot spotřeby budov a následnou analýzu výsledků pro zákazníky a případný návrh řešení, které by mohli zlepšit ekonomiku spotřeby v jednotlivých budovách.

Jsou také inovátorem v oblasti pasivního stavění v USA a v také pomáhají klientům zlepšit vnitřní mikroklima budov pro spokojenější pracovní prostředí. [24]

Z toho vyplývá, že je k dispozici mnoho relevantních a použitelných dat, která mohou být použita k porovnání skutečnosti a předpokládané spotřeby dle výpočtu PENB.

12.1 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ENERGIE NUTNÉ PRO VYTÁPĚNÍ BUDOVY

Vytápění je jednou s nejsledovanějších hodnot, nutných pro analýzu potřeb energie v budově, a to nejen z pohledu toho že je v budově nainstalováno inovativní řešení navržené pro úsporu potřeb energie.

System měření uvádí hodnoty dokonce v intervalu minut a hodin, pro názornější porovnání je však lepší uvádět hodnoty dle jednotlivých kalendářních měsíců v roce.

Výsledky měření jsou sledovány v období od září 2018 do srpna 2019.

Důležité je uvést, že hodnoty jsou rozděleny pro část administrativní a část, kde se nachází společenský sál-viz tabulka níže jsou vidět jakou měrou se která část na výsledku podílí.

topení admin.

měsíc	kWh
2018_09	-
2018_10	531,0
2018_11	1 254,0
2018_12	1 972,0
2019_01	2 951,0
2019_02	2 043,0
2019_03	360,0
2019_04	715,9
2019_05	611,0
2019_06	3,0
2019_07	-
2019_08	1,3

celkem	10 442,2
--------	----------

topení sál

měsíc	kWh
2018_09	1,0
2018_10	284,0
2018_11	577,0
2018_12	770,0
2019_01	1 087,0
2019_02	595,0
2019_03	114,0
2019_04	-
2019_05	-
2019_06	-
2019_07	-
2019_08	-

celkem	3 428,0
--------	---------

topení celek

měsíc	kWh
2018_09	1,0
2018_10	815,0
2018_11	1 831,0
2018_12	2 742,0
2019_01	4 038,0
2019_02	2 638,0
2019_03	474,0
2019_04	715,9
2019_05	611,0
2019_06	3,0
2019_07	-
2019_08	1,3

celkem	13 870,2
--------	----------

Tab. č. 13 Naměřené hodnoty pro spotřeby vytápění budovy

Dále uvádím porovnání mezi naměřenými hodnotami a výpočtem dle metodiky PENB.

Červeně jsou označeny hodnoty, kde jsou hodnoty v realitě horší než výpočet PENB, zelené potom uvádí měsíce, kde je tomu naopak opačně a naměřené hodnoty jsou lepší.

měsíc	kWh	rozdíl
2018_09	0	1
2018_10	0	815
2018_11	1776	55
2018_12	3827	-1085
2019_01	4514	-476
2019_02	2489	149
2019_03	350	124
2019_04	0	715,88
2019_05	0	611
2019_06	0	3,02
2019_07	0	0
2019_08	0	1,27
celkem	12956	914,17

Tab. č. 14 Hodnoty dle výpočtu PENB a jejich porovnání s měřením

Vidíme, že je zde rozdíl 914 kWh a tudíž byl výpočetní model mírně pozitivnější než je realita.

Dle mého názoru je rozdíl způsoben zejména různou četností používání sálu, která se potom projeví na rozdílů mezi výpočtem a skutečností, dále má potom vliv na vyšší spotřebu zejména seřízení systémů-zejména oběhových čerpadel a podlahového vytápění, kdy se může lišit teplota, která je v systému v různých částech topné sezony nastavena s idealizovaným výpočtovým modelem PENB.

Dle mých informací se stále pracuje na ideálním nastavení všech komponentů soustavy vytápění v budově a v porovnání s jednotlivými roky se potřeba energie neustále snižuje, proto věřím že postupem času se podaří sjednotit hodnotu výpočtu PENB s reálně naměřenými hodnotami v budově.

12.2 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ENERGIE NUTNÉ PRO CHLAZENÍ BUDOVY

Druhou nejdůležitější částí porovnání, je porovnání naměřených hodnot systému chlazení v budově s výpočtem.

Opět je měření viz tabulky níže rozděleno na spotřebu administrativní části a spotřebu ve velkém sálu.

Viz níže jsou přehledně v tabulkách uvedeny jednotlivé naměřené hodnoty.

administrativa		sál		admin.+sál	
měsíc	kWh	měsíc	kWh	měsíc	kWh
2018_09	222,0	2018_09	-	2018_09	222,0
2018_10	-	2018_10	-	2018_10	-
2018_11	-	2018_11	-	2018_11	-
2018_12	-	2018_12	-	2018_12	-
2019_01	-	2019_01	-	2019_01	-
2019_02	-	2019_02	-	2019_02	-
2019_03	-	2019_03	-	2019_03	-
2019_04	-	2019_04	-	2019_04	-
2019_05	186,0	2019_05	14,0	2019_05	200,0
2019_06	552,0	2019_06	101,0	2019_06	653,0
2019_07	1 526,0	2019_07	102,0	2019_07	1 628,0
2019_08	858,0	2019_08	60,0	2019_08	918,0
celkem	3 344,0	celkem	277,0	celkem	3 621,0

Tab. č. 15 Naměřené hodnoty pro spotřeby chlazení budovy

Zde vidíme, že hlavní podíl na spotřebě má administrativní část budovy a že spotřeba je nejvyšší v červenci což koreluje s vývojem venkovních teplot v tomto roce.

Při vlastním porovnání v tabulce níže, můžeme vidět, že hodnoty spočtené v PENB dosahují podobných hodnot jako vlastní měření.

V současnosti jsou dokonce reálně naměřené hodnoty nižší než výpočtový model, to přisuzují tomu, co sem již zmiňoval u vytápění, že se neustále pracuje na zefektivňování nastavení jednotlivých komponentů systému a každý rok se hodnoty zlepšují a zlepšují.

měsíc	kWh	rozdíl
2018_09	324	-102
2018_10	0	0
2018_11	0	0
2018_12	0	0
2019_01	0	0
2019_02	0	0
2019_03	0	0
2019_04	0	0
2019_05	727	-527
2019_06	903	-250
2019_07	990	638
2019_08	985	-67
celkem	3929	-308

Tab. č. 16 Porovnání hodnot měření a výpočtu PENB

Zde je potřeba však zmínit, že se v budově nachází také server určený pro celý areál a komplex budov a ten výrazně zasahuje do dodatečných hodnot pro spotřebu systému chlazení.

Zde je pozoruhodné, že v porovnání k celé budově C má spotřebu rovnou 60% energie na chlazení (přesné hodnoty uvádím níže v tabulce).

Vlastní autoři projektu jsou tímto již od uvedení budovy do provozu zaskočení a neustále pracují na nastavení chlazení v této serverovně. V průběhu let se jim podařilo spotřebu snížit asi o 40 % ovšem pořád jsou na zhruba polovině cílového čísla.

Toto ukazuje na úskalí koncepce výpočtových modelů, kde je hlavní důraz kladem na obálku budovy a hlavní energetické systémy, ovšem potřeba IT systémů je zahrnuta jenom velmi okrajově.

Když si uvědomíme, že serverovna běží 365 dní v roce během celých 24 hodin, tak aktuální spotřeba tohoto zařízení se rovná zhruba pěti stolním počítačům, což není žádná zásadní aktuální spotřeba, ovšem jak vidíme na tabulce níže hodnota je zejména ovlivněna tím, že zařízení pracuje nonstop a vyžaduje ke svému chodu stabilní tepelné prostředí.

měsíc	kWh
2018_09	491
2018_10	478
2018_11	516
2018_12	570
2019_01	568
2019_02	512
2019_03	597
2019_04	537
2019_05	550
2019_06	577
2019_07	522
2019_08	526

celkem	6444
--------	------

Tab. č. 17 Spotřeba energie na chlazení pro serverovnu celého areálu

12.3 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ENERGIE NUTNÉ PRO OHŘEV TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY

U energie nutné pro ohřev TUV se měření velmi blíží výpočtovému modelu a to je dle mého názoru dáno zejména tím, že výpočet je poměrně jasně koncipovaný na základě počtu osob v budově a zadává se do něj mnoho parametrů použité soustavy pro konkrétní budovu.

Na tabulkách níže můžeme vidět jak hodnoty reálně naměřené, tak porovnání s výpočtem PENB.

měsíc	kWh
2018_09	82,7
2018_10	98,3
2018_11	114,3
2018_12	105,7
2019_01	116,7
2019_02	128,3
2019_03	132,7
2019_04	112,7
2019_05	104,7
2019_06	101,7
2019_07	93,0
2019_08	88,0

celkem	1 278,7
--------	---------

Tab. č. 18 Naměřené hodnoty pro spotřebu na ohřev TUV

V tabulce porovnání vypočtených hodnot a naměřených hodnot jsou zeleně vybarveny měsíce s naměřenou hodnotou nižší než vypočtenou a červeně naopak měsíce, kde je naměřená hodnota vyšší, ovšem jak vidíme níže rozdíly hodnot jsou minimální.

měsíc	kWh	rozdíl
2018_09	117	-34,3333
2018_10	121	-22,6667
2018_11	117	-2,66667
2018_12	121	-15,3333
2019_01	121	-4,33333
2019_02	109	19,33333
2019_03	121	11,66667
2019_04	117	-4,33333
2019_05	121	-16,3333
2019_06	117	-15,3333
2019_07	121	-28
2019_08	121	-33
celkem	1424	-145,333

Tab. č. 19 Vypočtené hodnoty a jejich porovnání s měřením.

12.4 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ENERGIE NUTNÉ PRO VZDUCHOTECHNIKU V BUDOVĚ

Níže v tabulce uvádím hodnoty naměřené pomocí čidel na spotřebě energie nutné pro chod větrání budovy a hned vedle vpravo je výpočet z PENB a následné porovnání, kde zeleně jsou výsledky kdy je měření lepší než výpočet, červeně potom opačná číslo.

Z tabulky níže je patrné, že čísla se v celkovém součtu poměrně blíží, ovšem jako u ostatních částí dříve v porovnání mezi měsíci jsou výkyvy, kdy například v čase Vánočních dovolených v prosinci je výsledek lepší, než s čím počítá výpočetní model.

měření větrání		PENB větrání		
měsíc	kWh	měsíc	kWh	rozdíl
2018_09	857	2018_09	852	5
2018_10	870	2018_10	881	-11
2018_11	760	2018_11	852	-92
2018_12	680	2018_12	881	-201
2019_01	830	2019_01	881	-51
2019_02	802	2019_02	795	7
2019_03	910	2019_03	881	29
2019_04	914	2019_04	852	62
2019_05	856	2019_05	881	-25
2019_06	915	2019_06	852	63
2019_07	1048	2019_07	881	167
2019_08	1090	2019_08	881	209
celkem	10532	celkem	10370	162

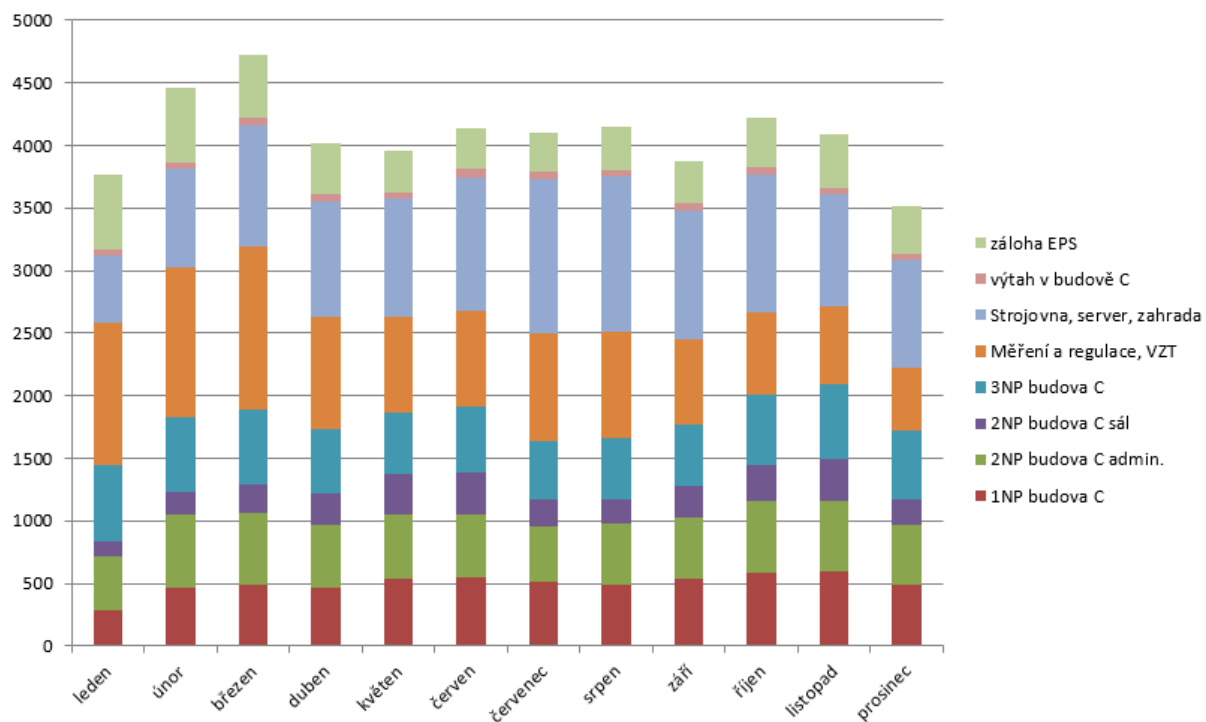
Tab. č. 20 Naměřené hodnoty energie nutné pro větrání a porovnání s PENB

12.5 CELKOVÁ DODANÁ ENERGIE DO BUDOVY

Ostatní spotřeby pro osvětlení není možné porovnat, jelikož měření spotřeby elektrické energie není rozděleno pro tuto konkrétní část, ovšem níže uvádím pro zajímavost celkové hodnoty naměřeného odběru elektřiny budovy po částech, které jsou v měření rozděleny.

Zde můžete vidět, jak se jednotlivé části budovy podílí na spotřebě elektřiny a kolik spotřebovává např výtah budovy, či záloha EPS nebo vlastní systém měření a regulace.

Na grafu níže je v levém sloupci hodnota odběru v kWh a dole jednotlivé měsíce v roce.



Tab. č. 21 Podíl jednotlivých částí na celkové spotřebované el. energii v budově

13 ZÁVĚR

V této práci jsme si popsali jednat jaký má stavebnictví dopad na celkovou energetickou spotřebu na naší planetě, pak jsme se společně podívali i na trendy v současném stavebnictví a snahu na snižování dopadu spotřeby energie ve stavebnictví a budovách obecně.

Poté jsme si popsali mechanismy pro výpočet PENB a specifika vybraných částí výpočtu abychom pochopili jejich mechanismy.

V praktické části jsme se zaměřili na naši sledovanou budovu, která je v naší zemi pilotním projektem pro sledování nových technologií výstavby budov a jejich dopadu na spotřebu energie budovy a dopad provozu budov na životní prostředí.

V závěrečné části jsme se pak zaměřili na popis jednotlivých vypočtených hodnot PENB a následně jejich porovnání s podrobným popisem a analýzou toho co sem identifikoval jako příčiny rozdílů naměřených hodnot s výpočtem PENB.

Mým zjištěním bylo to, že v základních a nejdůležitějších parametrech jako je vytápění a chlazení se hodnoty v realitě poměrně úzce blíží hodnotám z aktuálního modelu pro výpočet PENB, ale zjistil sem také, že ne všechny hodnoty se dali porovnat, protože aktuální systém měření v budově nerozděluje spotřebu elektřiny na osvětlení budovy a spotřeby systému klimatizace a větrání, což dokazuje, že je před námi pořád ještě spousta práce ve využití těch nejmodernějších technologií na monitoring budov.

Vlastní naměřené hodnoty ukazují také, že naše sledovaná budova spotřebovává výrazně méně energie než stejné administrativní budovy v našem městě, a jelikož podíl těchto budov na celkovém počtu budov ve městě je zhruba třetina plochy, tak dojdeme k jednoznačnému závěru, že zavádění nových technologií směřující ke snižování spotřeb budov by mělo být jednou z priorit pro obor městské inženýrství, jelikož má obrovský vliv na kvalitu života ve městech.

Takto ušetřená energie se dá potom ve městě využít například na rozvoj elektromobility, rušení spaloven a tím pádem i snižování množství zdraví škodlivých látek v ovzduší což přispěje v konečné důsledku k větší spokojenosti obyvatel města a zlepšení jejich zdraví.

14 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Ministerstvo životního prostředí. *Www.mzp.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_tz101021Studie_EU_ospory%20_energie
- [2] Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries. *EU*. 2019.
- [3] Global status report : towards a zero emission. *UN enviroment*. 2017.
- [4] Využití druhotných surovin ve stavebnictví. *TZB info* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/19349-vyuziti-druhotnych-surovin-ve-stavebnictvi>
- [5] Jednotlivé typy ob.zdrojů energie. *Slideplayer.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2351087/>
- [6] *Průkaz energetické náročnosti budovy: přednášky k předmětu Energetické zdroje (XT001)*. VUT Brno, 2019. Přednášky. FAST VUT Brno. Vedoucí práce Ing.Olga Rubinová,Ph.D.
- [7] Typy energie ze slunce. *Eluc.kr-olomoucky* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2068>
- [8] MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4559-6.
- [9] *Tepelná čerpadla Mach* [online]. b.r. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/princip-tepelneho-cerpadla.php>
- [10] Vytapění.tzb-info.cz. *Vytapění.tzb-info.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivitu-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>

- [11 Wwww.tepelnacerpadla-levne.cz. *Wwww.tepelnacerpadla-levne.cz* [online]. b.r.] [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: http://www.tepelnacerpadla-levne.cz/clanky/5-princip_cerpadel-.html
- [12 TZB info. *TZB info: Co umí dnešní tepelná čerpadla vzduch-voda* [online]. b.r.] [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/19959-co-umi-dnesni-tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [13 Kodek.cz. *Kodek.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z:] http://www.kodek.cz/images/image/vzduchove-tepelne-cerpadlo-schema_b.jpg
- [14 NIBE. *NIBE* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z:] <https://www.nibe.cz/reference/category/227-nibe-f1330-zeme-voda-mrzky>
- [15 Ministerstvo pro místní rozvoj: směrnice EU. *Wwww.mmr.cz* [online]. b.r. [cit.] 2019-12-20]. Dostupné z: <https://www.mmr.cz/cs/Vyhledavani/Dokumenty?searchtext=sm%c4%9brnice+2010%2f31%2fEU+>
- [16 ENVI web. *ENVI web* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z:] <http://www.enviweb.cz/95875>
- [17 MIROSLAV, Ing. Urban, PhD. *Analýza měřené spotřeby energie na vytápění ve vazbě na výpočet energetické náročnosti budov podle vyhlášky 78/2013 Sb.* Buštěhrad: Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, b.r.
- [18 ING.URBAN,PH.D, Miroslav a Zbyněk DOC.DR.ING.SVOBODA.] *METODIKA BILANČNÍHO VÝPOČTU ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV: metodická příručka.* ČVUT v Praze. Praha: ČVUT, b.r.
- [19 Prostup tepla stavební konstrukcí. *TZB info* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20].] Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/11307-prirazka-na-linearni-tepelne-vazby-i>
- [20 Otevřená zahrada nadace partnerství. *Wwww.otevrenazahrada.cz* [online]. b.r.] [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <http://www.otevrenazahrada.cz/detail-akce.aspx?id=123>

- [21] GEROTOP. *Www.gerotop.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z:
] <https://www.gerotop.cz/otevrena-zahrada-v-brne>
- [22] *Národní kalkulační nástroj II - NKN II verze 3.30* [online]. UCEEB, 2019 [cit.
] 2019-10-19].
- [23] *Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov ve znění vyhlášky č.
] 230/2015 Sb.* 2015.
- [24] About Lucid-better buildings. *About Lucid-better buildings* [online]. b.r. [cit.
] 2019-10-13]. Dostupné z: <https://buildingos.com/about//company/about-lucid>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1	Procentuální rozdělení celkové spotřeby energie na planetě Zemi	16
Obr. č. 2	Podíl jednotlivých zemí na znečištění naší planety	17
Obr. č. 3	Jednotlivé typy obnovitelné energie na naší planetě	19
Obr. č. 4	Názorný obrázek typů energie ze slunce	21
Obr. č. 5	Princip fungování tepelného čerpadla [2]	22
Obr. č. 6	Základní schéma fungování tepelného čerpadla [4]	24
Obr. č. 7	Základní schéma čerpadla vzduch-voda s jednotlivými částmi soustavy	26
Obr. č. 8	Základní schéma podoby plošných kolektorů	27
Obr. č. 9	Příklad realizace plošných kolektorů	27
Obr. č. 10	Energetická náročnost budovy-provázanost jednotlivých částí	33
Obr. č. 11	Příklad zónování budovy-budova základní školy	34
Obr. č. 12	Pohled na budovu z prostoru přilehlé zahrady	39
Obr. č. 13	Pohled do interiéru budovy	40
Obr. č. 14	Seminární sál	41
Obr. č. 15	Pohled na zelenou střechu objektu Údolní	43
Obr. č. 16	Stavební detail složitějšího řešení napojení svislé konstrukce na zelenou střechu objektu	44
Obr. č. 17	Prostory kanceláří objektu s navrženým denním osvětlením	44
Obr. č. 18	Schéma zapojení TČ a návaznosti na jednotlivé technologické části	47
Obr. č. 19	Vlastní provádění zemních vrtů	50
Obr. č. 20	Vedení horizontálního vedení k zemním vrtům	51
Obr. č. 21	Pohled do hlavní strojovny celé soustavy	52
Obr. č. 22	Základní rozdělení jednotlivých modulů NKN [5]	54
Obr. č. 23	Rozdělení modulů NKN PENB v části technologií budovy [5]	55
Obr. č. 24	Porovnání hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy mezi hodnocenou a referenční budovou v $W/m^2.K$	58
Obr. č. 25	Grafické znázornění PENB-energetická náročnost budovy	65
Obr. č. 26	Grafické znázornění PENB-ukazatele energetické náročnosti budovy	66

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 Geometrické charakteristiky budovy	56
Tab. č. 2 Obecné informace o zóně	56
Tab. č. 3 Stavební prvky a konstrukce.....	57
Tab. č. 4 energetická bilance potřeby energie režim vytápění.....	58
Tab. č. 5 Energetická bilance potřeby energie v režimu chlazení	59
Tab. č. 6 Vstupní parametry výpočtu dílčí dodané energie na vytápění tep. čerpadla hodnocené budovy	60
Tab. č. 7 Výstup z výpočtu a zatřídění dílčí dodané energie na vytápění.....	60
Tab. č. 8 Množství dodané energie na vytápění budovy dle jednotlivých.....	61
Tab. č. 9 Dílčí dodaná energie na chlazení, porovnání s referenční budovou.....	62
Tab. č. 10 Množství dodané energie na chlazení budovy dle jednotlivých měsíců.....	62
Tab. č. 11 Ostatní dílčí dodané energie a zatřídění do tříd energetické náročnosti	63
Tab. č. 12 Celková dodaná energie do budovy a zatřídění do třídy energetické náročnosti.....	64
Tab. č. 13 Naměřené hodnoty pro spotřeby vytápění budovy	68
Tab. č. 14 Hodnoty dle výpočtu PENB a jejich porovnání s měřením.....	68
Tab. č. 15 Naměřené hodnoty pro spotřeby chlazení budovy	70
Tab. č. 16 Porovnání hodnot měření a výpočtu PENB.....	71
Tab. č. 17 Spotřeba energie na chlazení pro serverovnu celého areálu	72
Tab. č. 18 Naměřené hodnoty pro spotřebu na ohřev TUV.....	72
Tab. č. 19 Vypočtené hodnoty a jejich porovnání s měřením.	73
Tab. č. 20 Naměřené hodnoty energie nutné pro větrání a porovnání s PENB.....	74
Tab. č. 21 Podíl jednotlivých částí na celkové spotřebované el. energii v budově	75

PŘÍLOHY

Výstupy z výpočetního nástroje NKN II – průkaz energetické náročnosti budov

1. Protokol průkazu energetické náročnosti budovy (15 str.)
2. Hodnocení energetické náročnosti budov-analýza energetických potřeb (5 str.)
3. Grafické znázornění průkazu energetické náročnosti budovy (2 str.)