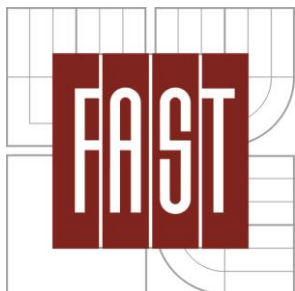


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

HOSPODAŘENÍ S ENERGIEMI A VODOU V BYTOVÉM DOMĚ

ENERGI AND WATER MANAGEMENT IN A RESIDENTIAL BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ZBYNĚK AUER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ONDŘEJ ŠIKULA, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3608R001 Pozemní stavby |
| Pracoviště | Ústav technických zařízení budov |

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|---|--|
| Student | Zbyněk Auer |
| Název | Hospodaření s energiemi a vodou v bytovém domě |
| Vedoucí bakalářské práce | doc. Ing. Ondřej Šikula, Ph.D. |
| Datum zadání bakalářské práce | 30. 11. 2014 |
| Datum odevzdání bakalářské práce | 29. 5. 2015 |
| V Brně dne 30. 11. 2014 | |

.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování

- práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony, vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb

- obsah a uspořádání práce dle směrnice FAST:

- a) titulní list,
- b) zadání VŠKP,
- c) abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce,
- d) bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690,
- e) prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora,
- f) poděkování (nepovinné),
- g) obsah,
- h) úvod,
- i) vlastní text práce s touto osnovou:
 - A. Teoretická část – literární rešerše ze zadaného tématu
 - B. Výpočtová část
analýza objektu,
tepelné bilance,
bilance potřeby vody.
 - C. Experiment – experimentální měření spotřeb vody a energií, měření vybraných parametrů tepelně-vlhkostního klimatu, funkční (regulační) schéma stávajícího systému.
- j) závěr,
- k) seznam použitých zdrojů,
- l) seznam použitých zkratk a symbolů,
- m) seznam příloh,
- n) přílohy - výkresy

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
doc. Ing. Ondřej Šikula, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá hospodařením s energiemi a vodou v bytovém domě. Pro energetickou bilanci bytového domu byly použity výpočetní nástroje Národní kalkulační nástroj II a výstupy simulací v softwaru BSim2000. Na základě výpočtů byla sestavena Et-křivka pro bytový dům, která byla následně doplněna reálným měřením.

KLÍČOVÁ SLOVA

Energetický management, Et-křivka, BSim2000, NKN II.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the management of energy and water in a residential building. For the energy balance of the residential building were used computational tools NKN II and outputs simulation on software BSim2000. On the basis of the calculations were prepared Et-curve for the residential building, which was subsequently supplemented by real measurement.

KEY WORDS

Management of energy, Et-curve, BSim2000, NKN II.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Zbyněk Auer *Hospodaření s energiemi a vodou v bytovém domě*. Brno, 2015. 86 s., 23 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....
Zbyněk Auer

PODĚKOVÁNÍ:

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD..... | 14 |
| A. TEORETICKÁ ČÁST..... | 15 |
| A.1 ENERGETICKÝ MANAGEMENT..... | 16 |
| A.1.1 ET-KŘIVKA – VARIANTA 1 | 17 |
| A.1.2 ET-KŘIVKA – VARIANTA 2 | 18 |
| A.2 VÝPOČETNÍ NÁSTROJE NKN II A BSIM2000..... | 18 |
| A.2.1 NÁRODNÍ KALKULAČNÍ NÁSTROJ – NKN II | 19 |
| A.2.1.1 POPIS STAVEBNÍHO ŘEŠENÍ A IDENTIFIKACE BUDOVY | 19 |
| A.2.1.2 STAVEBNÍ KONSTRUKCE | 20 |
| A.2.1.3 ENERGETICKÉ SYSTÉMY | 21 |
| A.2.1.4 ZDROJE TEPLA..... | 22 |
| A.2.1.5 ZDROJE CHLADU..... | 24 |
| A.2.1.6 VZDUCHOTECHNIKA | 25 |
| A.2.1.7 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY | 26 |
| A.2.2 BSIM2000..... | 29 |
| A.2.2.1 OBECNÝ POPIS VÝPOČTU SOFTWARE BSIM2000 | 30 |
| B. VÝPOČTOVÁ ČÁST | 31 |
| B.1 ANALÝZA OBJEKTU – SOUČASNÝ STAV | 32 |
| B.1.1 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA U | 33 |
| B.1.2 DEFINOVÁNÍ BYTOVÉHO DOMU V NKN II..... | 34 |
| B.2 ET-KŘIVKA SESTAVENÁ Z VÝSTUPU NKN II | 36 |
| B.2.1 NKN II STÁVAJÍCÍ STAV..... | 37 |
| B.2.2 NKN II PŮVODNÍ STAV | 38 |
| B.2.3 NKN II, ET-KŘIVKA PRO STÁVAJÍCÍ A PŮVODNÍ STAV | 39 |
| B.3 MODEL BYTOVÉHO DOMU V BSIM2000 | 41 |
| B.3.1 DATABÁZE KONSTRUKCÍ..... | 43 |
| B.3.2 ZÓNY V OBJEKTU | 45 |
| B.3.2.1 OBYVATELNÁ ZÓNA – BYTOVÉ JEDNOTKY..... | 45 |
| B.3.2.2 NEOBYVATELNÁ ZÓNA – SPOLEČNÉ PROSTORY | 48 |
| B.3.2.3 NEOBYVATELNÁ ZÓNA – STŘEŠNÍ PROSTORY | 49 |
| B.3.2.4 PROVOZOVNY STOMATOLOGICKÝCH ORDINACÍ..... | 50 |
| B.3.3 KLIMATICKÁ DATA | 51 |
| B.3.4 VÝSLEDKY SIMULACÍ..... | 53 |
| B.3.4.1 Rok 2011..... | 53 |
| B.3.4.2 Rok 2012..... | 55 |
| B.3.4.3 Rok 2013..... | 57 |
| B.3.5 POROVNÁNÍ BSIM2000, VYÚČTOVÁNÍ A NKN II – VTP..... | 58 |
| B.4 ET-KŘIVKA PRO BYTOVÝ DŮM..... | 60 |
| B.5 NÁVRH A ZHODNOCENÍ ÚSPORNÉ VARIANTY | 62 |
| C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST..... | 65 |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| C.1 | CÍLE EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI | 66 |
| C.2 | MĚŘENÍ REÁLNÉ SPOTŘEBY ENERGIÍ | 66 |
| C.2.1 | ENERGY INT 6 | 66 |
| C.2.2 | SHARKY 775..... | 67 |
| C.2.3 | COMERT LOGGER S3120..... | 67 |
| C.2.4 | TEPLO PRO VYTÁPĚNÍ | 68 |
| C.2.5 | TEPLO PRO PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY..... | 69 |
| C.2.6 | VENKOVNÍ PRŮMĚRNÉ TEPLoty | 69 |
| C.2.7 | ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT | 70 |
| C.2.8 | VYHODNOCENÍ VZDÁLENOSTI BODŮ OD ET-KŘIVKY..... | 71 |
| C.3 | INTERNÍ MIKROKLIMA VYBRANÝCH PROSTORŮ..... | 72 |
| C.3.1 | PŮRBĚHY TEPLoty A RELATIVNÍ VLHKOSTI | 73 |
| C.3.1.1 | BYTOVÁ JEDNOTKA 5. NP..... | 73 |
| C.3.1.2 | BYTOVÁ JEDNOTKA 2. NP..... | 75 |
| C.3.1.3 | SPOLEČNÉ PROSTORY 1. NP..... | 76 |
| C.3.1.4 | SPOLEČNÉ PROSTORY 1. PP..... | 77 |
| C.3.1.5 | SPOLEČNÉ PROSTORY 2. PP..... | 78 |
| D. | ZÁVĚR..... | 79 |
| E. | POUŽITÉ ZDROJE | 81 |
| F. | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ..... | 82 |
| G. | SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ..... | 84 |
| PŘÍLOHY | | 86 |

ÚVOD

Tématem bakalářské práce je hospodaření s energiemi a vodou v bytovém domě.

Cílem práce je sestavení Et-křivky pro zadaný bytový dům. Et-křivka sleduje závislost dodané energie na jednotkovou plochu bytového domu v závislosti na venkovní teplotě. Stavebně technické parametry objektu, užívání objektu majiteli bytových jednotek, technické nebo technologické závady na objektu atd. se promítnou do konečné podoby Et-křivky. Pro sestavení Et-křivky byly použity výstupy ze simulací pomocí programu BSim2000, kde bylo možné relativně detailně definovat zadaný objekt. K porovnání výsledků z programu BSim2000 byl použit výstup z tabulkového procesoru MS Excelu NKN II. Sestavená Et-křivka byla také doplněna o reálně naměřená data, která slouží jako další porovnání správnosti výpočtu.

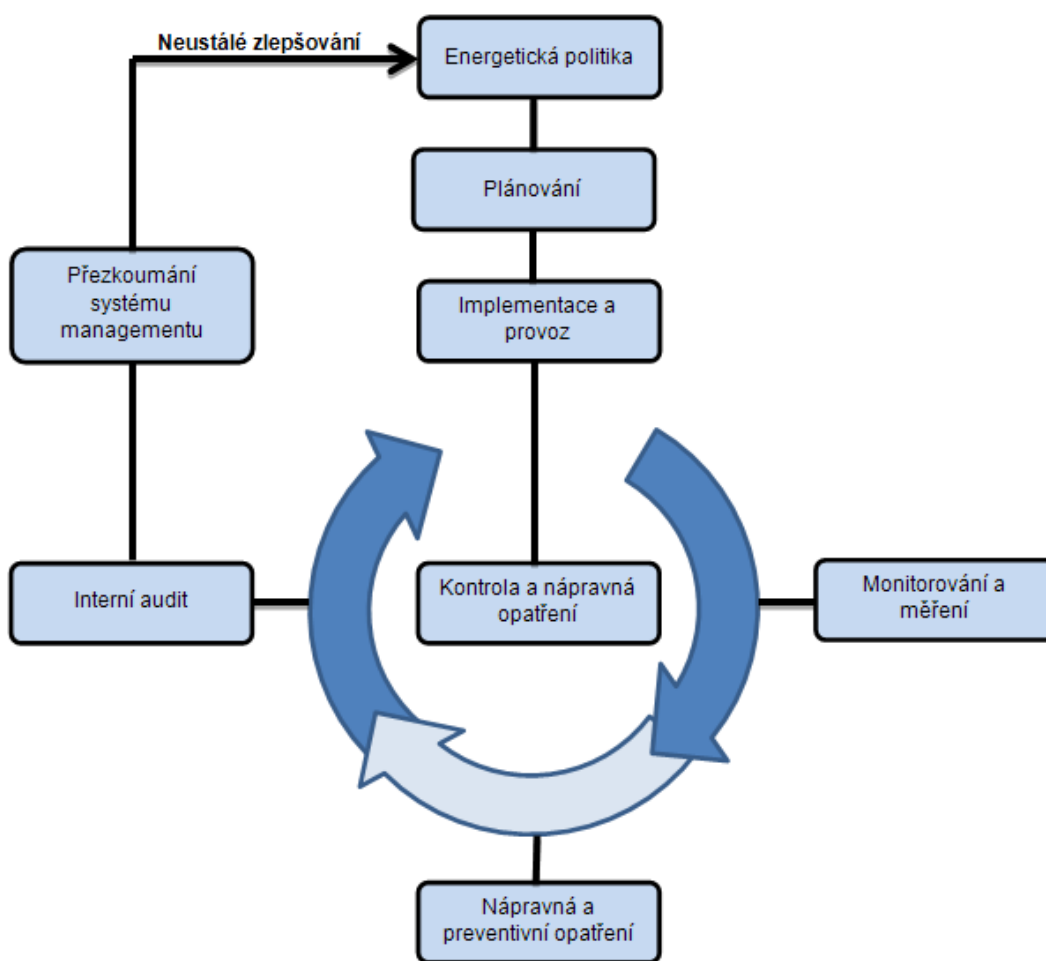
V experimentální části se podrobněji zaměřuji na reálné spotřeby tepla na vytápění, spotřebu studené a teplé vody v bytovém domě. Dodávané teplo do bytového domu se promítne v podobě vnesených bodů v oblasti s vypočtenou Et-křivkou, které je následně možné vyhodnotit, zda reálná spotřeba energií odpovídá běžnému užívání bytového domu a jeho teplem technickým parametrům.

A. TEORETICKÁ ČÁST

A.1 ENERGETICKÝ MANAGEMENT

Energetický management se zabývá detailním monitorováním spotřeb energií konkrétních objektů. Primárním cílem je optimalizace spotřeb dodávaných energií, tedy je kladen důraz na zlepšování tepelně technických vlastností budov, efektivnější provoz systémů TZB, využívání alternativních a obnovitelných zdrojů energie atd. Důsledkem realizovaných opatření, na základě energetického managementu, by mělo být zlepšení vnitřního prostředí budov a zejména zlepšení samotného provozu systémů TZB v objektu. Energetický management se také zabývá optimalizací výroby a dodávkami energií, kdy cílem je nalezení efektivních způsobů výroby a dodávky energií k místu spotřeby.

V případě koncového odběrného místa je obecně kladen důraz na analýzu stávajícího stavu objektu pomocí monitorování objektu a následně hledání možných úsporných variant. Obecně jak takový energetický management může v praxi fungovat, naznačuje schéma, kde prvním vstupem je monitorování a měření, následuje vyhodnocení dat a pak se hledají možné úsporné varianty. Po vyhodnocení konkrétních variant se nejvhodnější varianta pak uvede do praxe.



Obrázek 1 Schéma energetického managementu [1]

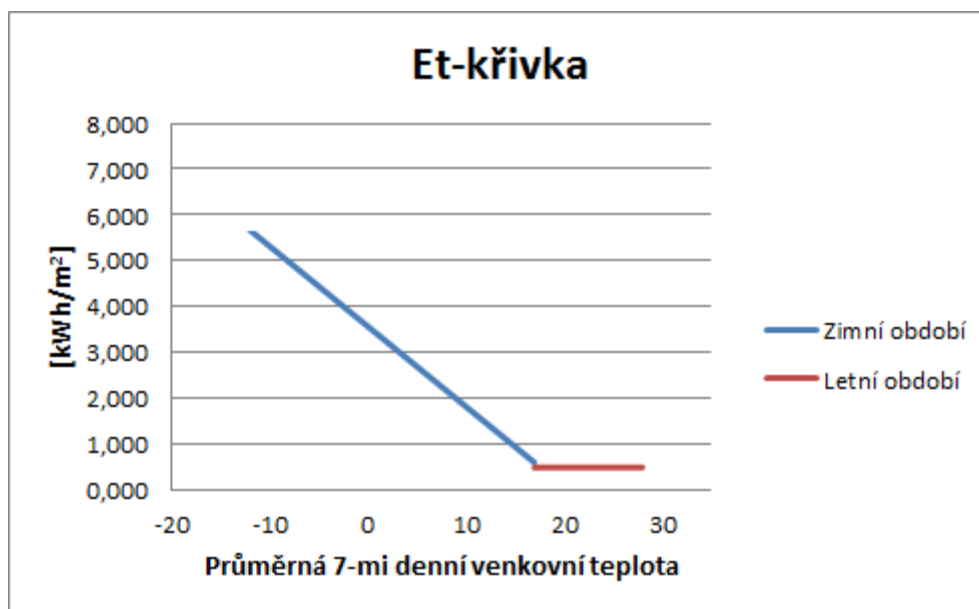
Největší přínos energetického managementu by měl spočívat v podobě finančních úspor nákladů za energie. Zde je nutné každou navrženou úspornou variantu, před uvedením do praxe z ekonomického hlediska vyhodnotit - vyhodnocení ekonomické návratnosti pokud by se úsporná varianta měla realizovat.

Vstupními parametry, jak již bylo zmíněno, je monitorování všech vstupních energií dodávaných do objektu a následuje vyhodnocování naměřených dat. K monitorování můžeme uplatnit jednoduché výpočetní nástroje (například Excel tabulky s pravidelným zaznamenáváním naměřených hodnot atd.) anebo můžeme použít sofistikované výpočetní nástroje určené k energetickému monitorování objektu (například software ContPort [2] a jiné pokročilé výpočetní nástroje určené k monitorování dodávky energií). Jedním z výstupů energetického managementu může být například Et-křivka, která se vyznačuje hlavně svou přehledností z pohledu uživatele. Et-křivka sleduje závislost dodané energie na jednotkovou plochu do objektu v závislosti na průměrné venkovní teplotě. Křivka popisuje tepelně technické parametry objektu, uživatelské chování obyvatel, technické nebo technologické závady na objektu atd. Pomocí Et-křivky je schopen sám uživatel posoudit, zda do objektu v konkrétním období bylo dodáváno více či naopak méně energie než predikuje vypočtená Et-křivka.

A.1.1 ET-KŘIVKA – VARIANTA 1

Teoretická podoba Et-křivky pro objekt s vytápěním v zimním období, celoročním ohřevem teplé vody a celoročním odběrem elektrické energie. V letním období se předpokládá konstantní průběh dodávky energie do objektu. Zimní období je popsáno lineární funkcí (1.1), která popisuje závislost množství dodaného tepla do objektu v závislosti na venkovní teplotě.

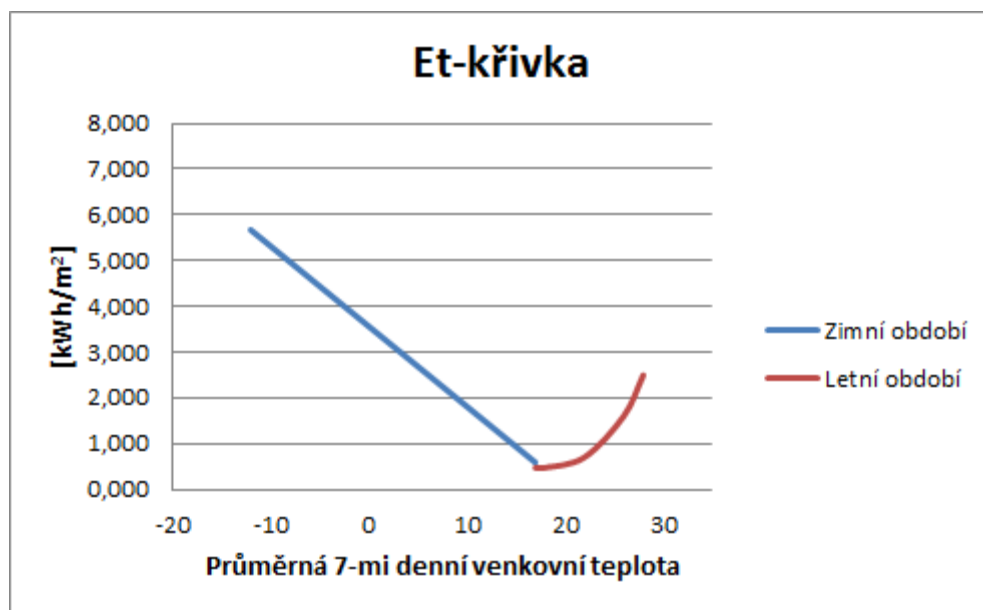
$$y = Ax + B \quad (1.1)$$



Obrázek 2 Et-křivka – varianta 1

A.1.2 ET-KŘIVKA – VARIANTA 2

Teoretická podoba Et-křivky pro objekt s vytápěním v zimním období, celoročním ohřevem teplé vody, celoročním odběrem elektrické energie a s chlazením v letním období. V letním období vzhledem k chlazení objektu již nebude konstantní průběh dodávky energie do objektu jako ve variantě 1, ale bude se jednat opět o funkční závislost, kdy se zvyšující se průměrnou venkovní teplotou se bude zvyšovat energetická náročnost pro chlazení objektu. Zimní období je popsáno lineární funkcí (1.1) jako ve variantě 1, která popisuje závislost množství dodaného tepla do objektu v závislosti na průměrné venkovní teplotě.



Obrázek 3 Et-křivka – varianta 2

A.2 VÝPOČETNÍ NÁSTROJE NKN II A BSIM2000

V rámci zadání bakalářské práce jsem se zabýval dvěma výpočetními nástroji, pomocí kterých je možné vypočítat energetickou bilanci pro zadaný objekt. Na základě výstupu z těchto programů bylo cílem sestavení Et-křivky pro zadaný objekt a jejich porovnání.

První nástroj je volně šiřitelný software (napsaný v prostředí tabulkového procesoru MS Excel – součástí sady MS Office) Národní kalkulační nástroj II (NKN II) [3], který je primárně určený pro zpracování průkazu energetické náročnosti budov. NKN II je založený na výpočetních postupech podle národních právních předpisů, technických norem, technických normalizačních informací a vyhlášek.

Druhý software je BSim2000 [4] vytvořený dánským stavebním výzkumným ústavem, ve kterém se definuje matematicko-fyzikální model objektu, okrajové podmínky a další parametry popisující konkrétní zadání. Výpočet BSim2000 pak numericky řeší soustavy fyzikálních rovnic pro konkrétní vytvořený a popsany matematicko-fyzikální model. Výpočet je založen na řešení tepelných a vlhkostních bilančních rovnic, které jsou řešeny nestacionárně.

A.2.1 NÁRODNÍ KALKULAČNÍ NÁSTROJ – NKN II

Národní kalkulační nástroj II [3] je určen k hodnocení energetické náročnosti budov podle zákona 406/200 Sb. [5], ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 78/2013 Sb. [6], o energetické náročnosti budov. NKN II k výpočtu využívá okrajové podmínky definované podle TNI 730331 – Energetická náročnost budov – typické hodnoty pro výpočet [7].

A.2.1.1 POPIS STAVEBNÍHO ŘEŠENÍ A IDENTIFIKACE BUDOVY

V popisu stavebního řešení se vytváří charakteristika všech zón v objektu. Každá zóna se popisuje samostatně z hlediska stavebního řešení a následně z hlediska provozního řešení.

Z hlediska stavebního řešení se zóna definuje geometrickým uspořádáním a to užitnou plochou, objemem zóny, ohraničujícími konstrukcemi (tepelně technické parametry konstrukcí vychází z vytvořeného uživatelského katalogu konstrukcí), orientací konstrukcí vůči světovým stranám a sklon stavebních konstrukcí.

Z hlediska provozního řešení zóny se charakterizuje způsob pokrytí potřeby energie na vytápění, větrání a chlazení, tepelné zisky z osob, vybavení zóny, dodané energie na osvětlení, sdílení tepla mezi zónami, výměna vzduchu atd. a mimo jiné teplota zóny. Základní pravidla pro určení teplot v zóně jsou popsány ve formě doporučení v ČSN ISO 13790 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění. NKN II umožňuje slučování zón se stejnou charakteristikou zóny a rozdílem teplot větším než 5 °C, za předpokladu úpravy vnitřní výpočtové teploty podle vztahu (1.2) [8]:

$$\theta_i = \frac{\sum_z H_z * \theta_{iz}}{\sum_z H_z} \quad (1.2)$$

Kde:

θ_{iz} je požadovaná teplota zóny [°C]

H_z je měrná tepelná ztráta zóny [W/K]

A pro nevytápěnou zónu lze pomocí výpočtu stanovit vlastní výpočtovou teplotu (předpokládají se ustálené podmínky) podle vztahu (1.3) [8]:

$$\theta_u = \frac{(\Phi + \theta_i * H_{iu} + \theta_e * H_{eu})}{(H_{iu} + H_{eu})} \quad (1.3)$$

Kde:

Φ je tepelný tok vytvářený v „nevytápěném“ prostoru (například sluneční zisky) [W]

H_{iu} je měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do nevytápěného [W/K]

H_{eu} je měrná tepelná ztráta z nevytápěného prostoru do vnějšího prostoru [W/K]

Θ_i je vnitřní výpočtová teplota [°C]

Θ_e je vnější výpočtová teplota [°C]

Θ_u je teplota nevytápěného prostoru [°C]

A.2.1.2 STAVEBNÍ KONSTRUKCE

V programu NKN II se definuje tzv. „katalog konstrukcí“, kde ke každé konstrukci je nutné uvést součinitel prostupu tepla U_{iz} [W/m²K]. V této souvislosti je nutné do součinitele prostupu tepla také zahrnout vliv tepelných vazeb. Tepelné vazby je možné zohlednit třemi způsoby a to [8] :

- Adekvátní přírážkou přímo v součiniteli prostupu tepla (1.4)
- Plošným vyjádřením tepelných vazeb (1.5)
- Pomocí přesného výpočtu (1.6)

Adekvátní přírážkou přímo v součiniteli prostupu tepla je možné rychlým způsobem zahrnout vliv tepelných vazeb v konstrukci jako součet součinitele prostupu tepla ideálního výseku konstrukce U_{id} a z celkového zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem tepelných vazeb v konstrukci ΔU_{tbm} . Hodnota součinitele ΔU_{tbm} se pohybuje v intervalu 0,05 až 0,1 W/m²K, přičemž podle ČSN 73 0540-2 je možné vliv tepelných mostů zanedbat, pokud ΔU_{tbm} je menší než 5 % součinitele prostupu tepla U_{id} a jedná se o budovy se sníženou spotřebou energií.

$$U_{iz} = U_{id} + \Delta U_{tbm} \quad (1.4)$$

Kde:

U_{tbm} je průměrný vliv tepelných vazeb [W/m²k]

U_{id} je součet součinitele prostupu tepla ideálního výseku konstrukce [W/m²K]

Plošným vyjádřením tepelných je myšleno to, že se zjednodušeným výpočtem stanoví průměrný vliv tepelných vazeb na hranici z-té zóny. $\Delta U_{tbm,z}$ [W/m²k] se stanoví podle ČSN 73 0540-4:

$$H_{tr,z} = \sum_{i=1}^n A_{i,z} * U_{i,z} * b_{i,z} + A_z * \Delta U_{tbm,z} \quad (1.5)$$

Kde:

$A_{i,z}$ je plocha i-té konstrukce ohraničující z-tou zónu [m²]

$U_{i,z}$ je součinitel prostupu tepla i-té konstrukce ohraničující z-tou zónu [W/m²K]

$b_{i,z}$ je číselný koeficient teplotní redukce pro i-tou konstrukci ohraničující z-tou zónu [-]

A_z je celková plocha konstrukcí ohraničující z-tou zónu budovy [m^2]

$\Delta U_{tbm,z}$ je průměrný vliv tepelných vazeb na hranici z-té zóny [W/m^2k]

Třetí varianta je nejpřesnější, kdy je ve výpočtu měrného tepelného toku postupem zahrnut vliv tepelných vazeb. Pro tento postup je uplatněn vztah:

$$H_{tr,z} = \sum_{i=1}^n A_{i,z} * U_{i,z} * b_{i,z} + \sum_{i=1}^m l_{i,z} * \psi_{i,z} * b_{i,z} + \sum_{i=1}^k \chi_{i,z} * b_{i,z} \quad (1.6)$$

Kde:

$A_{i,z}$ je plocha i-té konstrukce ohraničující z-tou zónu [m^2]

$U_{i,z}$ je součinitel prostupu tepla i-té konstrukce ohraničující z-tou zónu [W/m^2k]

$b_{i,z}$ je činitel teplotní redukce pro i-tou konstrukci ohraničující z-tou zónu [-]

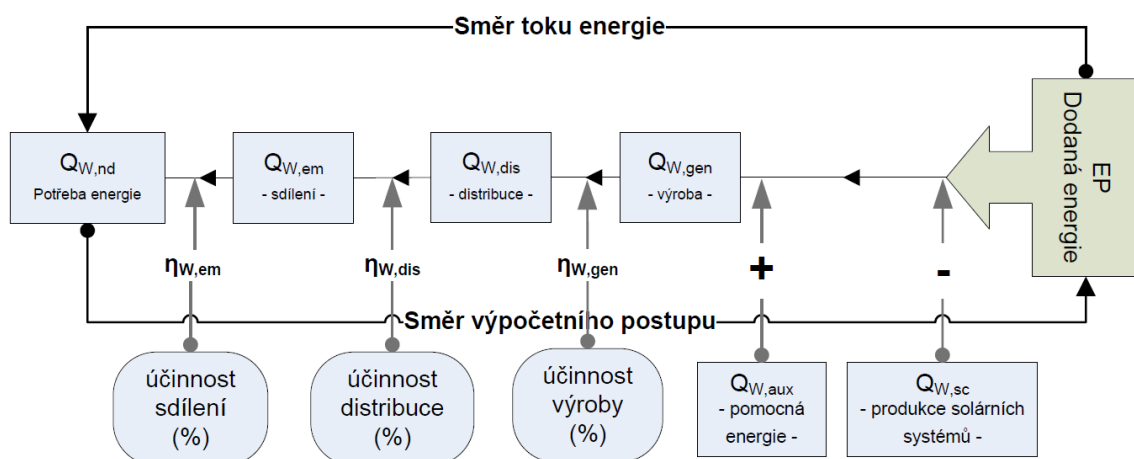
$l_{i,z}$ je délka i-té tepelné vazby na hranici z-té zóny [m]

$\psi_{i,z}$ je lineární činitel prostupu tepla i-té tepelné vazby na hranici z-té zóny [W/mK]

$\chi_{i,z}$ je bodový činitel prostupu tepla i-té bodové vazby [W/K]

A.2.1.3 ENERGETICKÉ SYSTÉMY

Výpočetní nástroj NKN II umožňuje definování jednotlivých energetických systémů zóny. Energetické systémy jsou předdefinovány v NKN II a uživatel programu si libovolně zvolí vhodný energetický systém pro konkrétní zónu. Princip výpočtu v NKN II je znázorněn na obrázku (Obrázek 4), kde je zobrazeno logické členění energetických systémů z hlediska výroby a krytí potřeby energie v objektu [8]:



Obrázek 4 Princip výpočtu dodané energie do budovy [8]

V NKN II jsou definovány tyto energetické systémy (záložky v tabulkovém procesoru MS Excel):

- Zdroje tepla
- Zdroje chladu
- Vzduchotechnika
- Příprava teplé vody
- Solární systémy

Celková roční dodaná energie do budovy EP [GJ] se stanoví jako součet jednotlivých dílčích dodaných energií pro všechny hodnocené zóny podle obecného vztahu:

$$EP = EP_H + EP_C + EP_F + EP_W + EP_L - EP_{PV} - EP_{CHP} \quad (1.7)$$

Kde:

EP_H je roční dodaná energie na vytápění včetně pomocné energie na provoz vytápěcího zařízení [GJ]

EP_C je roční dodaná energie na chlazení včetně pomocné energie na provoz chladicího zařízení [GJ]

EP_F je roční dodaná energie na mechanické větrání a úpravu vlhkosti větracího vzduchu [GJ]

EP_W je roční dodaná energie na přípravu teplé vody včetně pomocné energie na provoz zařízení na přípravu teplé vody [GJ]

EP_L je roční dodaná energie na osvětlení [GJ]

EP_{PV} je roční produkce energie fotovoltaickým systémem [GJ]

EP_{CHP} je roční produkce energie systémem kombinované výroby elektřiny a tepla [GJ]

A.2.1.4 ZDROJE TEPLA

Roční dodaná energie na vytápění včetně pomocné energie na provoz EP_H se stanoví podle vztahu:

$$EP_H = Q_{fuel,H} + Q_{aux,H} \quad (1.8)$$

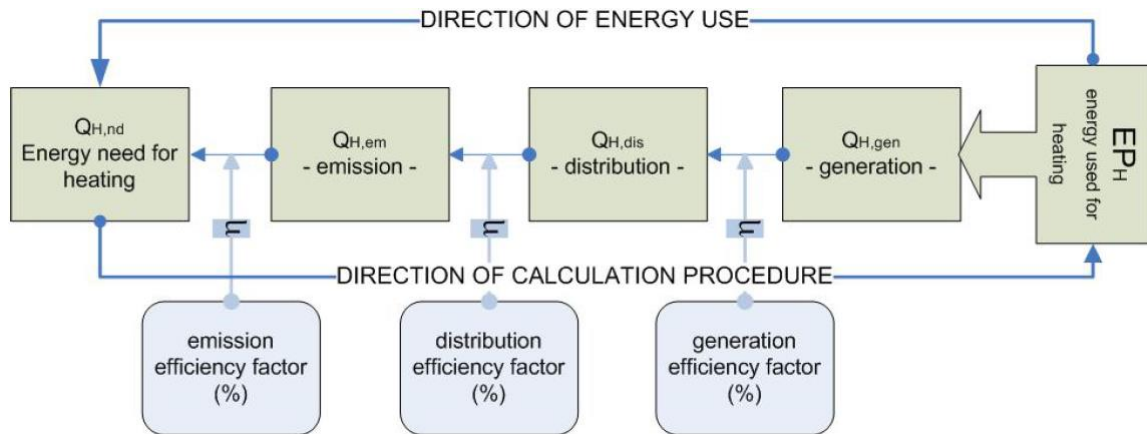
Kde:

$Q_{fuel,H}$ je roční dodaná energie na vytápění [GJ]

$Q_{aux,H}$ je roční dodaná pomocná energie systému vytápění (oběh. čerpadla, reg.) [GJ]

Výpočet potřeby energie na vytápění $Q_{H,nd}$, kde jsou zahrnuty všechny tepelné toky popsané na obrázku (Obrázek 5) se provádí podle ČSN EN ISO 13790 (měsíční nebo hodinový krok výpočtu). Na vstupu do objektu (zóny) je dodávána dílčí primární energie $Q_{fuel,H}$, která je

přeměněna ve zdroji „i“ (například předávací stanice napojená na CZT) a dále rozváděna distribučním systémem „sys“ do jednotlivých zón „z“.



Obrázek 5 Postup výpočtu potřeby energie na vytápění [8]

Roční dodaná energie na vytápění $Q_{fuel,H}$ se pak vypočte podle vztahu:

$$Q_{fuel,H} = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{sys=1}^n \left(\sum_{z=1}^n \frac{Q_{H,dis,z,j} * f_{H,z,sys}}{\eta_{H,sys}} \right) \right] \quad (1.9)$$

Kde:

$Q_{H,dis,z,j}$ je dodaná energie do distribučního systému vytápění v j-tém časovém úseku pro z-tou zónu [GJ]

$f_{H,z,sys}$ je podíl dodané pomocné energie do z-té zóny připadající na příslušný zdroj tepla [-]

$\eta_{H,sys}$ je celková účinnost výroby energie příslušným zdrojem tepla [-]

Dodaná energie do distribučního systému vytápění $Q_{H,dis,z,j}$ se v NKN II stanoví podle vztahu:

$$Q_{H,dis,z,j} = Q_{H,heat,z,j} + Q_{H,ahu,z,j} - Q_{H,sc,z,j} \quad (1.10)$$

Kde:

$Q_{H,heat,z,j}$ je energie na vytápění dodávaná do vytápěné z-té zóny v j-tém časovém úseku teplovodním systémem [GJ]

$Q_{H,ahu,z,j}$ je energie na vytápění dodávaná do vytápěné z-té zóny v j-tém časovém úseku systémem vzduchotechniky [GJ]

$Q_{H,sc,z,j}$ je energie vyrobená prostřednictvím systému solárních kolektorů pro vytápění z-té zóny v j-tém časovém úseku [GJ]

Energie na vytápění dodávaná do vytápěné z-té zóny v j-tém časovém úseku teplovodním systémem se vypočte podle vztahu:

$$Q_{H,heat,z,j} = \frac{Q_{H,nd,z,j} * (1 - f_{H,ahu,z} * f_{ahu,sys})}{\eta_{H,em,z} * \eta_{H,dis,z}} \quad (1.11)$$

Kde:

$Q_{H,nd,z,j}$ je potřeba energie na vytápění v j-tém časovém úseku a v z-té zóně [GJ]

$f_{H,ahu,z}$ je podíl potřeby energie na vytápění dodávaný do zóny systémem vzduchotechniky [-]

$f_{H,ahu,sys}$ je časový podíl spuštěného systému mechanického větrání [-]

$\eta_{H,em,z}$ je účinnost sdílení tepla mezi vytápěnou z-tou zónou a systémem sdílení tepla do z-té zóny [-]

$\eta_{H,dis,z}$ je účinnost systému distribuce energie na vytápění do z-té [-]

Energie na vytápění dodávaná do vytápěné z-té zóny v j-tém časovém úseku systémem vzduchotechniky se vypočte podle vztahu:

$$Q_{H,ahu,z,j} = \frac{Q_{H,nd,z,j} * f_{H,ahu,z} * f_{ahu,sys}}{\eta_{H,ahu,em,z} * \eta_{H,ahu,dis,z}} + Q_{H,RH+,z,j} \quad (1.12)$$

Kde:

$Q_{H,nd,z,j}$ je potřeba energie na vytápění v j-tém časovém úseku a v z-té zóně [GJ]

$f_{H,ahu,z}$ je podíl potřeby energie na vytápění dodávaný do zóny systémem vzduchotechniky [-]

$f_{H,ahu,sys}$ je časový podíl spuštěného systému mechanického větrání [-]

$\eta_{H,ahu,em,z}$ je účinnost sdílení tepla na vytápění mezi vytápěnou z-tou zónou a distribučními elementy systému vzduchotechniky podílející se na vytápění z-té zóny [-]

$\eta_{H,ahu,dis,z}$ je účinnost systému distribuce energie na vytápění do z-té zóny systémem vzduchotechniky [-]

$Q_{H,RH+,z,j}$ je potřeba energie na ohřev vzduchu v případě vodního vlhčení v j-tém časovém úseku a v z-té zóně[GJ]

A.2.1.5 ZDROJE CHLADU

Roční dodaná energie na chlazení včetně pomocné energie na provoz EP_c se stanoví podle vztahu:

$$EP_C = Q_{fuel,C} + Q_{aux,C} \quad (1.13)$$

Kde:

$Q_{fuel,C}$ je roční dodaná energie na chlazení [GJ]

$Q_{aux,C}$ je roční dodaná pomocná energie systému vytápění (oběh. čerpadla, reg.) [GJ]

Výpočet potřeby energie na chlazení $Q_{C,nd}$, kde jsou zahrnuty všechny tepelné toky, se provede podle ČSN EN ISO 13790 (měsíční nebo hodinový krok výpočtu). Na vstupu do objektu (zóny) je dodávána dílčí primární energie $Q_{fuel,C}$, která je přeměněna ve zdroji „i“ (kompresorová jednotka, absorpční zdroj chladu) a rozváděna distribučním systémem „sys“ do jednotlivých zón „z“. Roční dodaná energie na chlazení $Q_{fuel,C}$ se pak vypočte podle vztahu:

$$Q_{fuel,C} = \sum_{j=1}^n \left\{ \sum_{sys=1}^n \left[\sum_{z=1}^n Q_{C,dis,z,j} * f_{C,sys,z} * \left[\frac{1}{\eta_{C,gen,sys}} + \left(1 + \frac{1}{EER_{C,sys}} \right) * e_{r,sys} * f_{r,sys} \right] \right] \right\} \quad (1.14)$$

Kde:

$Q_{C,dis,z,j}$ je dodaná energie do distribučního systému chlazení v j-tém časovém úseku pro z-tou zónu [GJ]

$f_{C,sys,z}$ je podíl dodané pomocné energie do z-té zóny připadající na příslušný zdroj chladu [-]

$EER_{C,sys}$ je poměr mezi průměrným chladícím výkonem a příkonem elektrické, nebo tepelné energie příslušného zdroje chladu [-]

$e_{r,sys}$ je specifický součinitel elektřiny ventilátoru závislý na typu zpětného chlazení [-]

$f_{r,sys}$ je střední součinitel provozu zpětného chlazení [-]

$\eta_{r,gen,sys}$ je celková účinnost výroby energie v příslušném zdroji chladu [-]

Dále je postup výpočtu analogický jako u kapitoly ZDROJE TEPLA (A2.1.4), tedy výpočet navazuje na uvedené vztahy (1.10), (1.11) a (1.12).

A.2.1.6 VZDUCHOTECHNIKA

V NKN II se stanoví dodaná celková energie do systému vzduchotechniky rozumí hlavně energie pro provoz vzduchotechnického systému. Ohřev (případně chlazení) vzduchu je již uvažováno ve Zdroji tepla (případně ve Zdroji chladu). V rámci provozu systému vzduchotechniky je nutné určit hlavně účinnost zpětného získávání tepla $\eta_{H,hr,sys}$ pro příslušnou vzduchotechnickou jednotku. Podle DIN V 18599-7 (Tabulka 1) nebo z podkladu od výrobce.

Tabulka 1 Účinnost zpětného získávání tepla VZT systému [8]

| Systém zpětného získávání tepla | $\eta_{H,hr,sys}$ [-] |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Deskový výměník | 0,5 |
| Křížový deskový výměník | 0,65 |
| Křížový kompaktní deskový výměník | 0,7 |
| Rotační výměník (sorpční) | 0,7 |

Pomocná energie potřebná pro provoz větracího systému se pak stanoví na základě objemového množství větracího vzduchu, typu ventilátoru a časového podílu chodu vzduchotechniky. Pomocnou energii určuje měrná potřeba elektřiny pro ventilátory podle Tabulky 2:

Tabulka 2 Měrná potřeba elektřiny pro ventilátory systému mechanického větrání $e_{ahu,sys}$ [8]

| Typ ventilátoru | $e_{ahu,sys}$ [Ws/m ³] | Tlaková diference ventilátoru (při 60% zatížení) |
|---|---------------------------------------|---|
| | | $P_{ahu,tot}$ (60%) [Pa] |
| Odvodní ventilátor | 1250 | 750 |
| Přívodní ventilátor (VZT jednotka – ohřev) | 1600 | 960 |
| Přívodní ventilátor (klimatizační jednotka) | 2000 | 1200 |

A.2.1.7 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Potřeba energie na přípravu teplé vody se jako jediná složka do celkové roční dodané energie do budovy EP [GJ] určuje jako celková pro konkrétní objekt bez ohledu na definované zóny. Roční dodaná energie na přípravu teplé vody včetně pomocné energie na provoz EP_W se stanoví podle vztahu:

$$EP_W = Q_{fuel,W} + Q_{W,aux} \quad (1.15)$$

Kde:

$Q_{fuel,W}$ je roční dodaná energie na přípravu teplé vody [GJ]

$Q_{W,aux}$ je roční dodaná pomocná energie systému přípravy teplé vody (oběh. čerpadla, reg.) [GJ]

Postup výpočtu je znázorněn na obrázku (Obrázek 6), kdy je nutné určit výpočtem potřebu energie na přípravu teplé vody $Q_{W,nd}$. Podle DIN V 18599-10 je možné zjednodušeně určit potřebu energie pro přípravu teplé vody v příslušné z-té zóně podle vztahu:

a) na základě obsazenosti zóny

$$Q_{W,nd,z,d} = 3,6 * 10^{-3} * f_z * q_{W,nd,f,z,d} \quad (1.16)$$

Kde:

$q_{W,nd,f,z,d}$ je měrná denní potřeba energie na přípravu teplé vody podle obsazenosti z-té zóny (Tabulka 3) [kWh/mj.den]

f_z je počet měrných jednotek v z-té zóně [mj.]

b) nebo podle plochy zóny

$$Q_{W,nd,z,d} = 3,6 * 10^{-3} * A_{f,z} * q_{W,nd,A,z,d} \quad (1.17)$$

Kde:

$q_{W,nd,f,z,d}$ je měrná denní potřeba energie na přípravu teplé vody podle plochy z-té zóny (Tabulka 3) [kWh/m².den]

$A_{f,z}$ je celková plocha z-té zóny [mj.]

Tabulka 3 Měrná denní potřeba energie na přípravu teplé vody [8]

| Typ zóny | $q_{W,nd,f,z,d}$ [kWh/mj.den] | $q_{W,nd,f,z,d}$ [kWh/m ² .den] |
|--------------------------------|-------------------------------|--|
| Administrativní budova | 0,4 kWh na osobu a den | 30 Wh/(m ² .d) |
| Nemocnice - lůžka | 8 kWh na osobu a den | 530 Wh/(m ² .d) |
| Škola | 0,5 kWh na osobu a den | 170 Wh/(m ² .d) |
| Budovy pro obchod | 1 kWh na osobu a den | 10 Wh/(m ² .d) |
| Výrobní provozy, dílny (šatny) | 1,5 kWh na osobu a den | 75 Wh/(m ² .d) |
| Hotel (ubytovna) | 1,5 kWh na osobu a den | 190 Wh/(m ² .d) |
| Hotel (standart ***) | 4,5 kWh na osobu a den | 450 Wh/(m ² .d) |
| Hotel (vyšší standart ****) | 7 kWh na osobu a den | 580 Wh/(m ² .d) |
| Restaurace, stravování | 1,5 kWh na osobu a den | 1250 Wh/(m ² .d) |
| Kolej, domov mládeže | 3,5 kWh na osobu a den | 230 Wh/(m ² .d) |
| Sportovní zařízení (sprchy) | 1,5 kWh na osobu a den | - |

V případě pokud má objekt konstantní potřebu teplé vody (to znamená, že potřeba vody nekolísá ve výpočtovém časovém úseku), tak je možné roční potřebu teplé vody za daný j-tý časový úsek určit podle vztahu:

$$Q_{W,nd,j} = \frac{V_{W,z,j} * \rho_W * c_W * (\theta_{W,h} - \theta_{W,c})}{12 * 10^6} \quad (1.18)$$

Kde:

$V_{W,z,j}$ je potřeba teplé vody v z-té zóně za j-tý časový úsek [m³/měsíc(rok)]

ρ_w je hustota vody [kg/m³]

c_w je měrná tepelná kapacita vody [J/kg.K]

$\theta_{w,h}$ je průměrná roční teplota teplé vody v místě přípravy [°C]

$\theta_{w,c}$ je průměrná roční teplota přiváděné studené vody [°C]

Potřeba teplé vody v z-té zóně za j-tý časový úsek se pak vypočte ze vztahu:

$$V_{W,z,j} = \frac{V_{W,f,z,j} * f_z}{1000} \quad (1.19)$$

Kde:

$V_{W,f,z,j}$ je měrná potřeba teplé vody v z-té zóně za j-tý časový úsek [l/mj.perioda]

f_z je počet měrných jednotek [mj.]

Měrnou potřebu teplé vody lze stanovit pro bytové jednotky (obývané jednou rodinou):

a) $A_{f,z} > 27\text{m}^2$ podle vztahu:

$$V_{W,f,z,j} = \frac{\chi * \ln(A_{f,z}) - y}{A_{f,z}} \quad (1.20)$$

Kde:

χ je konstanta 39,5 [l/den]

y je konstanta 90,2 [l/den]

$A_{f,z}$ je celková podlahová plocha zóny [m²]

b) $A_{f,z} \leq 27\text{m}^2$ a současně $A_{f,z} \geq 17\text{m}^2$ podle vztahu:

$$V_{W,f,z,j} = z * A_{f,z} \quad (1.21)$$

Kde:

z je konstanta 1,49 [l/m².den]

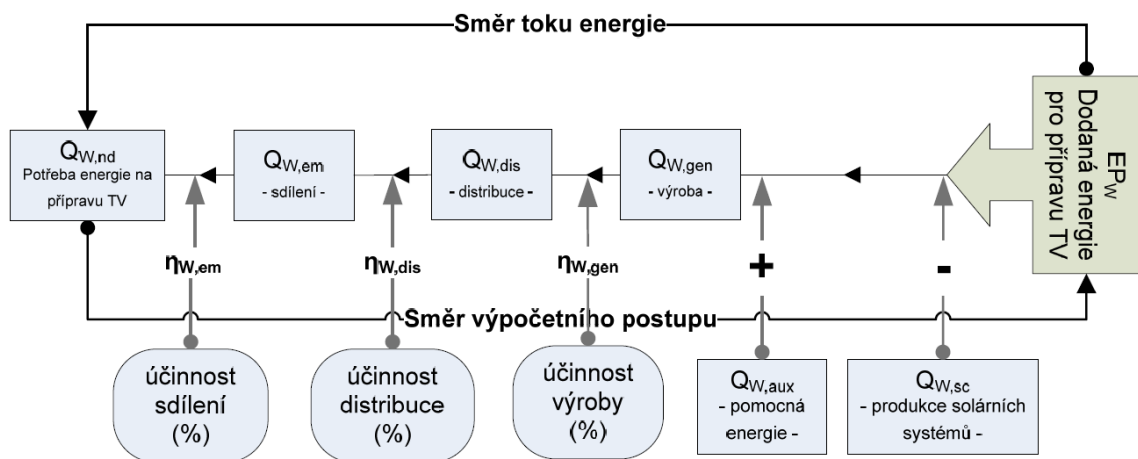
$A_{f,z}$ je celková podlahová plocha zóny [m²]

Pro ostatní typy budov se měrná potřeba tepla určí podle Tabulky 4:

Tabulka 4 Měrné potřeby teplé vody pro nebytové budovy [8]

| Typ budovy | $V_{W,f,z,j}$ [l/mj.den] | Měrná jednotka |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------|
| Zdravotnická zařízení (bez prádelny) | 56 | Lůžko |
| Zdravotnická zařízení (s prádelnou) | 88 | Lůžko |
| Stravovací zařízení (samoobslužné) | 4 | Host |
| Stravovací zařízení (s obsluhou) | 10 | host |
| Hotel 1*-4* (bez prádelny) | 56-118 | Lůžko |
| Hotel 1*-4* (s prádelnou) | 70-132 | Lůžko |
| Sportovní zařízení | 101 | Sprcha |

V rámci tabulkového procesoru MS Excel – NKN II stačí, aby uživatel zadal vypočtené množství potřeby teplé vody.



Obrázek 6 Postup výpočtu potřeby energie na ohřev teplé vody [8]

A.2.2 BSIM2000

Pokročilejší software pro simulaci energetické náročnosti budov byl vytvořený dánským stavebním výzkumným ústavem. BSim2000 řeší časově neustálené tepelné toky metodou kontrolních objemů. Samotné sdílení tepla stěnami je uvažováno jako úloha 1D vedení tepla. Software BSim2000 umožňuje vytvoření grafického modelu celého objektu, případně části objektu, ke které se definují upravené okrajové podmínky. V softwaru je možné nastavit optimální uživatelské profily užívání objektu (profily: Equipment, Heating, Infiltration, People Load, Moisture Load, Lighting). Jedním z výstupů BSim2000 je výpočet energetické bilance v simulovaném modelu objektu mezi okolím (exteriérem) a samotným modelem (interiérem). Pro definované zóny je vypočtena tepelná ztráta prostupem tepla, infiltrací a větráním, tepelné zisky od slunečního záření, osvětlení, osob a technologickým vybavením objektu.

A.2.2.1 OBECNÝ POPIS VÝPOČTU SOFTWARE BSIM2000

Výpočet BSim2000 numericky řeší soustavy fyzikálních rovnic pro konkrétní vytvořený a popsáný matematicko-fyzikální model. Do výpočtu jsou zahrnuty klimatické podmínky, které reprezentují venkovní prostředí kolem vytvořeného modelu. Samotný vytvořený model je rozdělen do definovaných zón, kdy exteriér tvoří samostatnou jednu zónu, která obklopuje geometrický model objektu, pokud nedefinujeme zvláštní okrajové podmínky na části vnějších konstrukcích.

Pro každou definovanou zónu je určen jeden uzlový bod, který nese informaci o teplotě a vlhkosti vzduchu v zóně. Zavádí se předpoklad, že vzduch v dané zóně má po celé zóně stejné parametry.

Výpočet přenosu tepla a vlhkosti v konstrukci je řešen jako 1D úloha. Výpočet je nestacionární, tedy průběh teplot a vlhkostí v konstrukci se mění v časových krocích v závislosti na definovaných klimatických podmínkách a uživatelských profilů v zóně definovaných ve vymodelovaném objektu. Samotná konstrukce před výpočtem přenosu tepla a vlhkosti v konstrukci se rozdělí do „vrstev“ a vytvoří se tzv. kontrolní objemy. Uprostřed kontrolního objemu je pak uzlový bod, pro který se provede výpočet tepelné a vlhkostní bilance. S navyšujícím se počtem kontrolních objemů se zvyšuje přesnost výpočtu a také i časová náročnost samotného výpočtu, přičemž minimální počet kontrolních objemů pro definovanou konstrukci jsou tři kontrolní objemy, respektive uzlové body, pro které se provede výpočet v daném časovém kroku.

Bilanční rovnice tepelných a vlhkostních toků pak popisuje dílčí tepelné toky a dílčí vlhkostní toky, které vycházejí z definovaných okrajových podmínek v softwaru BSim2000.

B. VÝPOČTOVÁ ČÁST

B.1 ANALÝZA OBJEKTU – SOUČASNÝ STAV

Samostatně stojící bytový dům se nachází v Brně v lokalitě Ponava. Bytový dům má půdorysný tvar písmene „H“. Objekt má jedenáct samostatných vchodů (jedenáct dílčích objektů) – vchody: ulice Klatovská 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 a ulice Hrnčířská 14, 16, 18, 20. Bytový dům má dvě podzemní podlaží, šest nadzemních podlaží a částečně obytné podkroví.

Ve druhém podzemním podlaží se nacházejí sklepní kóje, kryty CO a v objektu Klatovská 2 je umístěna výměňková stanice. V prvním podzemním podlaží, které je částečně na severní a na jihovýchodní straně nadzemní, se nacházejí sklepní kóje, jedna bytová jednotka situovaná v jihovýchodní části objektu a ve vchodech Klatovská 10 a 14 jsou provozovny stomatologických ordinací, které jsou také situovaná v jihovýchodní části objektu.



Obrázek 7 Řešený bytový dům

V nadzemních podlažích (1NP až 7NP) jsou bytové jednotky. V bytovém domě se nachází celkem 163 bytových jednotek. První až páté nadzemní podlaží půdorysně pokrývají celou půdorysnou plochu objektu a 6NP pokrývá částečně půdorysnou plochu objektu, přičemž v jihovýchodní části je už řešena střešní konstrukce, která je neobyvatelná. Střeška je šikmá valbová a část podkroví 7NP je využito k bydlení – 6 bytových jednotek.

Konstrukční systém objektu je řešen jako příčný stěnový systém z cihel plných pálených. Stropní konstrukce jsou železobetonové, tloušťka ŽB konstrukce stropu je 290 mm. Střešní konstrukce je vaznicová a krytina z pálených tašek. Na objektu bylo provedeno částečné zatep-

lení na čtyřech štítových stěnách obvodového pláště, zateplení stropu v nevyužitých prostorech podkroví a spodní strany stropu mezi bytovou jednotkou a společným prostorem. Hlavní vchodové dveře jednotlivých „vchodů“ jsou provedeny jako hliníkové a částečně průsvitné (zasklená plocha tvoří přibližně 25-35 % plochy dveří). Balkonové dveře jsou plastová, konstrukčně stejná jako okna s izolačním dvojsklem. Okna na objektu jsou převážně plastová s izolačním dvojsklem a na částech objektu jsou okna původní dřevěná.

Do bytového domu jsou dodávány tři druhy energií a to: tepelná energie, elektrická energie a zemní plyn. Tepelná energie je do objektu přiváděna z CZT. Přípojka z uličního rozvodu je vyvedena do objektu Klatovská 2, kde je umístěna v technické místnosti výměňková stanice. Tepelná energie je využita pro celoroční centrální zásobníkový ohřev teplé vody a pro systém centrálního vytápění. Systém ústředního topení je s nuceným oběhem topné vody s teplotním spádem 90/70 °C. Rozvod tvoří 3 hlavní topné větve, které mají horizontální rozvod vedený pod stropem v druhém podzemním podlaží a na tyto hlavní topné větve jsou dále napojeny vertikální větve, které jsou napojeny na otopná tělesa. Elektrická energie je do objektu dodávána pro účely osvětlení společných prostorů, provoz výtahů a pro provoz domácích spotřebičů v bytových jednotkách. Zemní plyn je pak výhradně využit pro účely vaření v bytových jednotkách.

B.1.1 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA U

Výpočet součinitele prostupu tepla byl proveden zjednodušeným postupem. Jako podklady k výpočtu sloužily stavební pohledy na bytový dům se základním popisem konstrukcí, půdorysy všech podlaží s obecnou charakteristikou konstrukcí a průkaz energetické náročnosti z roku 2011. V rámci provedení zateplení štítových zdí, výměny vchodových dveří a výměny původních oken byl vyhotoven souhrnný výpis oken a dveří, který byl také použit jako podklad.

Tabulka 5 Přehled hodnot součinitele prostupu tepla U

| KCE | Skladba konstrukce | d | ρ | λ | c | R | R_{se} | R_{si} | U |
|----------------|--------------------|-------|----------------------|-----------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | [m] | [kg/m ³] | [W/mK] | [J/kgK] | [m ² K/W] | [m ² K/W] | [m ² K/W] | [W/m ² K] |
| CP 450 mm | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | 0,04 | | 1,334 |
| | Zdivo z CPP | 0,450 | 1600 | 0,850 | 900 | 0,529 | | | |
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |
| CP 550 mm | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | 0,04 | | 1,153 |
| | Zdivo z CPP | 0,550 | 160 | 0,850 | 900 | 0,647 | | | |
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |
| CP 450 mm + IZ | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | 0,04 | | 0,337 |
| | Tep. Izolace | 0,100 | 40 | 0,045 | 650 | 2,222 | | | |
| | Zdivo z CPP | 0,450 | 1600 | 0,850 | 900 | 0,529 | | | |
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |
| CP 550 mm + IZ | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | 0,04 | | 0,324 |
| | Tep. Izolace | 0,100 | 40 | 0,045 | 650 | 2,222 | | | |
| | Zdivo z CPP | 0,550 | 1600 | 0,850 | 900 | 0,647 | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |
| CP 550 mm + zemina | Zemina | 0,500 | 2000 | 2,000 | | 0,250 | | | 0,951 |
| | Zdivo z CPP | 0,550 | 1600 | 0,850 | 900 | 0,647 | | | |
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |
| ŽB 550 mm + zemina | Zemina | 0,500 | 2000 | 2,000 | | 0,250 | | | 1,499 |
| | Železobeton | 0,550 | 2400 | 2,100 | 1020 | 0,262 | | | |
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |
| Zdivo mezi zónami | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | 0,04 | | 2,236 |
| | Zdivo z CPP | 0,200 | 1600 | 0,880 | 900 | 0,227 | | | |
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |
| Výplně otvorů - okna původní | Dřevěná okna | - | - | - | - | - | - | - | 2,300 |
| Výplně otvorů - okna nová | Plastová okna | - | - | - | - | - | - | - | 1,100 |
| Výplně otvorů - dveře původní | Dřevěné dveře | - | - | - | - | - | - | - | 2,500 |
| Výplně otvorů - dveře nové | Hliníkové dveře | - | - | - | - | - | - | - | 1,200 |
| Střeška šikmá | Střešní KCE | 0,250 | | 0,125 | 800 | 2,000 | 0,04 | 0,13 | 0,461 |
| Podlaha zemině | Zemina | 0,800 | 2000 | 2,000 | | 0,400 | | | 1,497 |
| | ŽB KCE pod- lahy | 0,290 | 2400 | 2,100 | 1020 | 0,138 | | 0,13 | |
| KCE stropu | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | 0,04 | | 0,696 |
| | ŽB KCE Stropu | 0,320 | 2400 | | 1020 | 1,216 | | | |
| | Omítka | 0,015 | 1700 | 0,600 | | 0,025 | | 0,13 | |

B.1.2 DEFINOVÁNÍ BYTOVÉHO DOMU V NKN II

V prostředí tabulkového procesoru MS Excel – součástí sady MS Office, Národního kalkulačního nástroje II (NKN II) [3], který je primárně určený pro zpracování průkazu energetické náročnosti budov byl definován řešený bytový dům. Bytový dům byl rozdělen na 2 základní

zóny. V NKN II je pro tyto účely možné využít katalog předdefinovaných zón. První zóna „Obytná zóna“ je vyhrazena pro prostory bytových jednotek a provozovny stomatologických ordinací v bytovém domě. Z katalogu předdefinovaných zón byla k této „Obytné zóně“ přiřazena zóna „Bytový dům – obytné prostory“. Druhá zóna „Společné prostory“ je vyhrazena pro společné prostory (schodiště a společné chodby) a pro dvě podzemní podlaží, kde se nacházejí sklepní kóje, CO kryty a výměňková stanice umístěná v technické místnosti. Z katalogu předdefinovaných zón byla k této zóně „Společné prostory“ přiřazena zóna „Bytový dům – společné prostory, komunikace“.

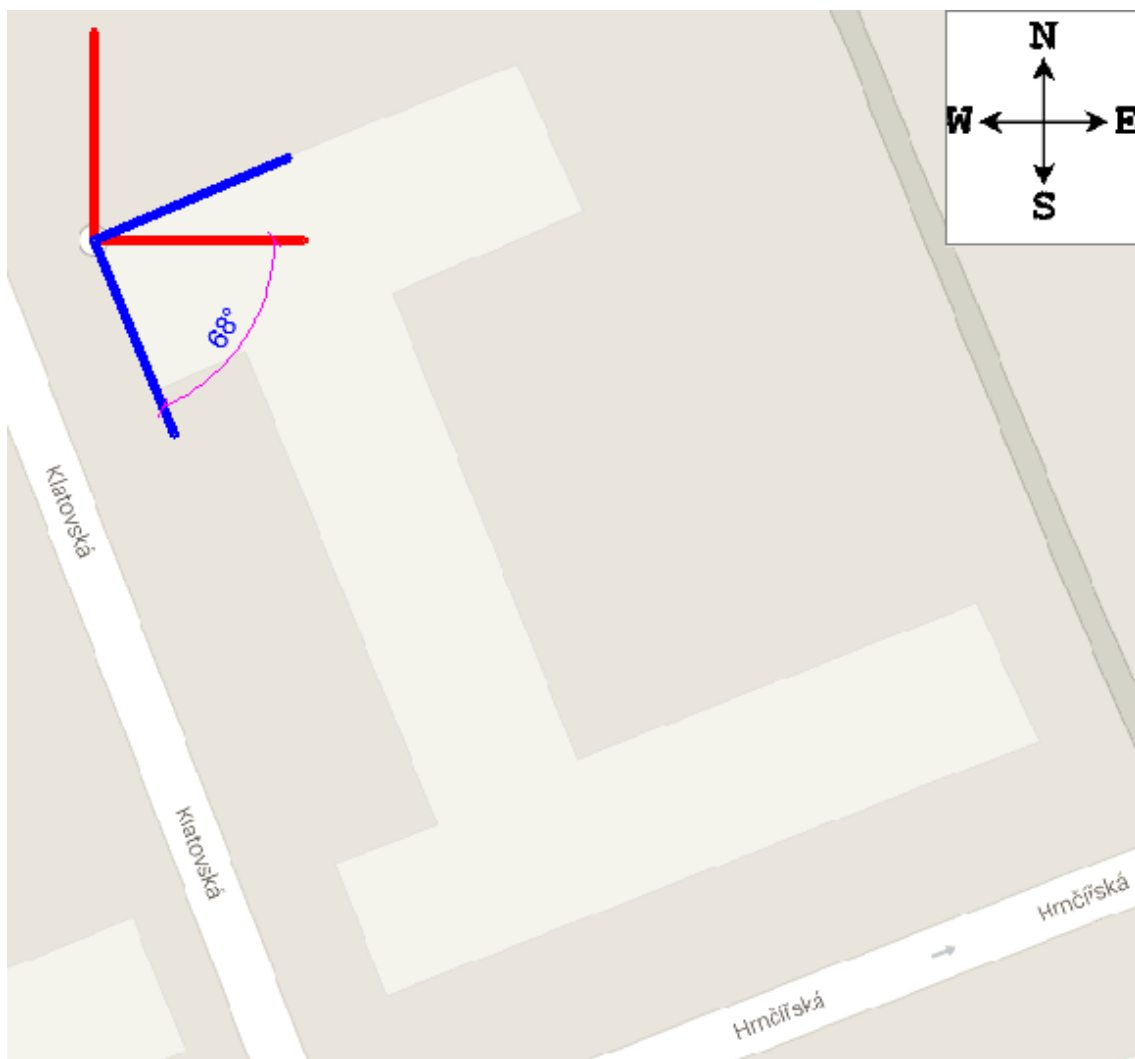
V kartě „katalog konstrukcí“ byly definovány stavební konstrukce bytového domu podle Tabulky 5. U průsvitných konstrukcí jako jsou okna a dveře bylo nutné definovat propustnost slunečního záření a korekční činitel rámu. Propustnost slunečního záření byla stanovena podle ČSN EN 13790 na hodnotu 0,67 podle tabulky 6: Typické hodnoty celkové propustnosti sluneční energie zasklení pro záření dopadající kolmo k povrchu, podle typu zasklení. Korekční činitel rámu se dá určit podle ČSN EN ISO 10077-1. Korekční činitel je definován jako podíl plochy prosklení k celkové ploše okna. V rámci výpočetního nástroje NKN II je doporučena hodnota 0,75, která byla také použita.

Tabulka 6 Typické hodnoty celkové propustnosti sluneční energie zasklení pro záření dopadající kolmo k povrchu

| Typ zasklení | g_n |
|---|-------|
| Jednoduché zasklení | 0,85 |
| Dvojsklo | 0,75 |
| Dvojsklo se selektivním nízkoemisivním povrchem | 0,67 |
| Trojsklo | 0,7 |
| Trojsklo se selektivním nízkoemisivním povrchem | 0,5 |
| Zdvojené okno | 0,75 |

U průsvitných konstrukcí bylo nutné určit správně jejich azimutový úhel vůči světové straně. Excel NKN II umožňuje zadat pootočení průsvitné konstrukce vůči světové straně s maximální přesností $\pm 15^\circ$. Protože bytový dům je pootočen vůči světovým stranám o $22,5^\circ$, respektive o $67,5^\circ$, bylo možné v tomto případě volit azimutový úhel v rozsahu $\pm 15^\circ$ nebo $\pm 30^\circ$. V rámci definování bytového domu byl uplatněn azimutový úhel průsvitných konstrukcí $\pm 30^\circ$ vzhledem k příslušné světové straně.

- Jihovýchodní průsvitné konstrukce – azimutový úhel $\pm 30^\circ$ od jižní světové strany
- Jihozápadní průsvitné konstrukce – azimutový úhel $\pm 60^\circ$ od jižní světové strany
- Severozápadní průsvitné konstrukce – azimutový úhel $\pm 150^\circ$ od jižní světové strany
- Severovýchodní průsvitné konstrukce – azimutový úhel $\pm 120^\circ$ od jižní světové strany



Obrázek 8 Orientace průsvitných konstrukcí

U systému TZB byla definována výměníková stanice o výkonu 1 504 kW jako zdroj tepla pro vytápění. Pro celoroční centrální zásobníkový ohřev teplé vody byl v NKN II definován zásobník na teplou vodu o velikosti 8 000 litrů a jmenovitém příkonu 500 kW. Roční spotřeba vody pak byla určena na základě již proběhlého měření na 4 180 m³/rok při teplotě (ve zdroji přípravy) 50 °C.

B.2 ET-KŘIVKA SESTAVENÁ Z VÝSTUPU NKN II

Pro definovaný bytový dům v MS Excelu NKN II je již možné z energetické bilance zpracovat ET-křivku pro bytový dům. ET-křivku je možné sestavit na základě výstupu „bilanční tabulky dílčích dodaných energií“ do bytového domu, jak pro současný stav bytového domu, tak i pro předchozí stav bytového domu, kdy bytový dům byl bez zateplení štitových zdí, nových vchodových dveří a měl původní dřevěná okna. Pro předchozí stav bytového domu stačí pouze upravit katalog stavebních konstrukcí a znova vyhodnotit „bilanční tabulku dílčích dodaných energií“.

B.2.1 NKN II STÁVAJÍCÍ STAV

V NKN II je dílčí dodaná energie vypočtena pro jednotlivé měsíce v roce. Uvažovaná je pouze dodaná energie pro vytápění, přípravu teplé vody a osvětlení. Energie pro stávající stav bytového domu v níže uvedené tabulce je v jednotkách [kWh].

Tabulka 7 Dílčí dodaná energie – stávající stav

| C.3 Hodnocená budova - Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
| | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec | Celkem |
| Vytápění | 324 971 | 266 597 | 221 777 | 132 313 | 56 243 | 21 474 | 7 212 | 7 745 | 62 718 | 148 023 | 240 358 | 298 296 | 1 787 727 |
| Chlazení | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Větrání | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Příprava teplé vody | 37 | 34 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 438 |
| Osvětlení | 7 948 | 6 973 | 7 142 | 6 649 | 6 571 | 6 313 | 6 487 | 6 571 | 6 682 | 7 125 | 7 304 | 7 915 | 83 679 |
| Celkem | 332 957 | 273 604 | 228 956 | 138 998 | 62 851 | 27 823 | 13 736 | 14 353 | 69 437 | 155 185 | 247 698 | 306 248 | 1 871 844 |

Pro účely sestavení ET-křivky, kdy je popisována závislost dodané energie na jednotkovou plochu do bytového domu v závislosti na venkovní teplotě, bylo nutné provést přepočty měsíční dodané energie na energii dodanou na jednotkovou plochu za týden podle vztahu:

$$E_{týden} = \frac{E_{měsíc}}{\text{počet dní v měsíci}} * 7 \quad (1.22)$$

Kde:

$E_{týden}$ je dodaná energie za týden v [kWh/týden]

$E_{měsíc}$ je dodaná energie za měsíc v [kWh/měsíc]

Vztažená otopná plocha bytového domu pak vychází z geometrie objektu, která byla určena jako **18 143** m². Dodanou energii za týden je možné přepočítat na jednotkovou plochu dle vztahu:

$$E_{pl} = \frac{E_{týden}}{\text{otopná plocha}} \quad (1.23)$$

Kde:

E_{pl} je dodaná energie vztažená na jednotkovou plochu v [kWh/m².týden]

$E_{týden}$ je dodaná energie za měsíc v [kWh/týden]

Poslední údaj pro sestavení ET-křivky je pak teplota. NKN II k výpočtu využívá okrajové podmínky definované podle TNI 730331 – Energetická náročnost budov – typické hodnoty pro výpočet [7], kde jsou definované mimo jiné průměrné výpočtové teploty pro každý uvedený měsíc v roce. V níže přiložené tabulce je proveden přepočty z měsíční dodané energie na energii dodanou na jednotkovou plochu s uvedenými průměrnými hodnotami teplot:

Tabulka 8 Energie dodaná na jednotkovou plochu NKN II – stávající stav

| měsíc | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červene | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|-----------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|----------|----------|
| kWh/měsíc | 332 957 | 273 604 | 228 956 | 168 998 | 56 243 | 27 823 | 13 736 | 14 353 | 69 437 | 155 185 | 247 698 | 306 248 |
| kWh/týden | 75 184 | 68 401 | 51 700 | 39 433 | 12 700 | 6 492 | 3 102 | 3 241 | 16 202 | 35 042 | 57 796 | 69 153 |
| te | -1,300 | -0,100 | 3,700 | 8,100 | 13,300 | 16,100 | 18,000 | 17,900 | 13,500 | 8,300 | 3,200 | 0,500 |
| kWh/m2 | 4,144 | 3,770 | 2,850 | 2,173 | 0,700 | 0,358 | 0,171 | 0,179 | 0,893 | 1,931 | 3,186 | 3,812 |

B.2.2 NKN II PŮVODNÍ STAV

Postup výpočtu pro původní stav bytového domu (bez zateplení štitových zdí, nových vchodových dveří a měl původní dřevěná okna) byl proveden shodně s přepočtem pro aktuální stav bytového domu (kapitola B.2.1 NKN II STÁVAJÍCÍ STAV)

Tabulka 9 Dílčí dodaná energie – původní stav

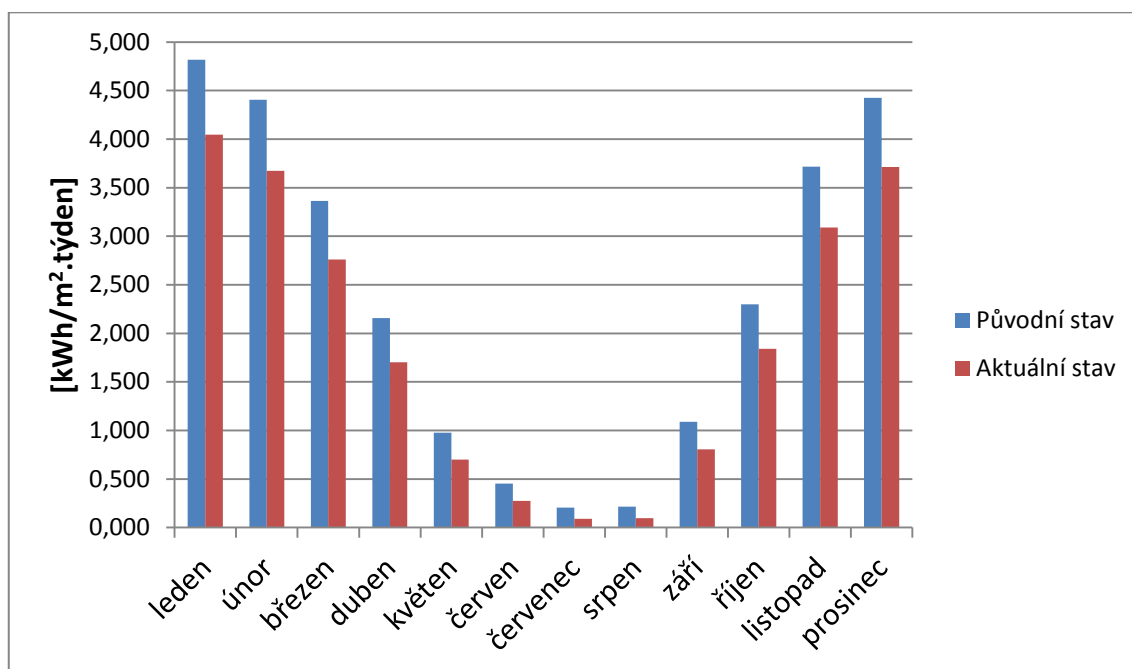
| C.3 Hodnocená budova - Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
| | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červene | srpen | září | říjen | listopad | prosinec | Celkem |
| Vytápění | 378 927 | 312 584 | 263 013 | 161 086 | 71 825 | 28 871 | 10 098 | 10 835 | 77 977 | 177 502 | 281 541 | 347 693 | 2 121 952 |
| Chlazení | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Větrání | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Příprava teplé vody | 37 | 34 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 438 |
| Osvětlení | 7 948 | 6 973 | 7 142 | 6 649 | 6 571 | 6 313 | 6 487 | 6 571 | 6 682 | 7 125 | 7 304 | 7 915 | 83 679 |
| Celkem | 386 913 | 319 590 | 270 192 | 167 771 | 78 433 | 35 220 | 16 622 | 17 443 | 84 695 | 184 664 | 288 881 | 355 645 | 2 206 069 |

Tabulka 10 Energie dodaná na jednotkovou plochu NKN II – původní stav

| měsíc | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červene | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|-----------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|----------|----------|
| kWh/měsíc | 386 913 | 319 590 | 270 192 | 167 771 | 78 433 | 35 220 | 16 622 | 17 443 | 84 695 | 184 664 | 288 881 | 355 645 |
| kWh/týden | 87 367 | 79 898 | 61 011 | 39 147 | 17 711 | 8 218 | 3 753 | 3 939 | 19 762 | 41 698 | 67 406 | 80 307 |
| te | -1,300 | -0,100 | 3,700 | 8,100 | 13,300 | 16,100 | 18,000 | 17,900 | 13,500 | 8,300 | 3,200 | 0,500 |
| kWh/m2 | 4,815 | 4,404 | 3,363 | 2,158 | 0,976 | 0,453 | 0,207 | 0,217 | 1,089 | 2,298 | 3,715 | 4,426 |

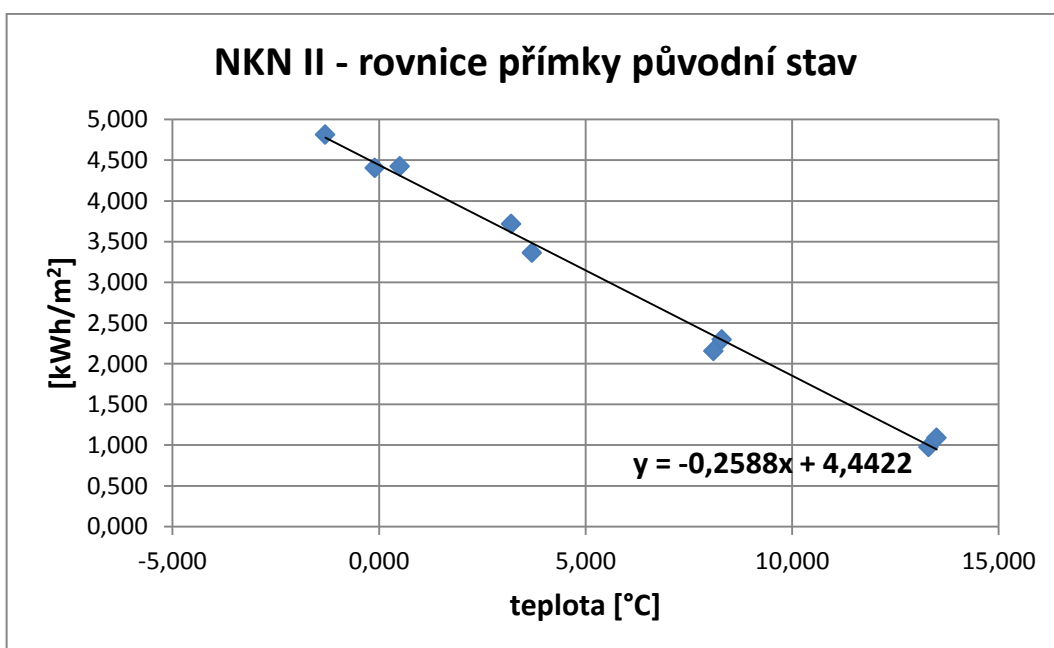
B.2.3 NKN II, ET-KŘIVKA PRO STÁVAJÍCÍ A PŮVODNÍ STAV

Z tabulek, po přepočtu dodané energie na jednotkovou plochu, lze vynést přehledný graf se zobrazením hodnot energií na ose „y“ k příslušným měsícům na ose „x“.

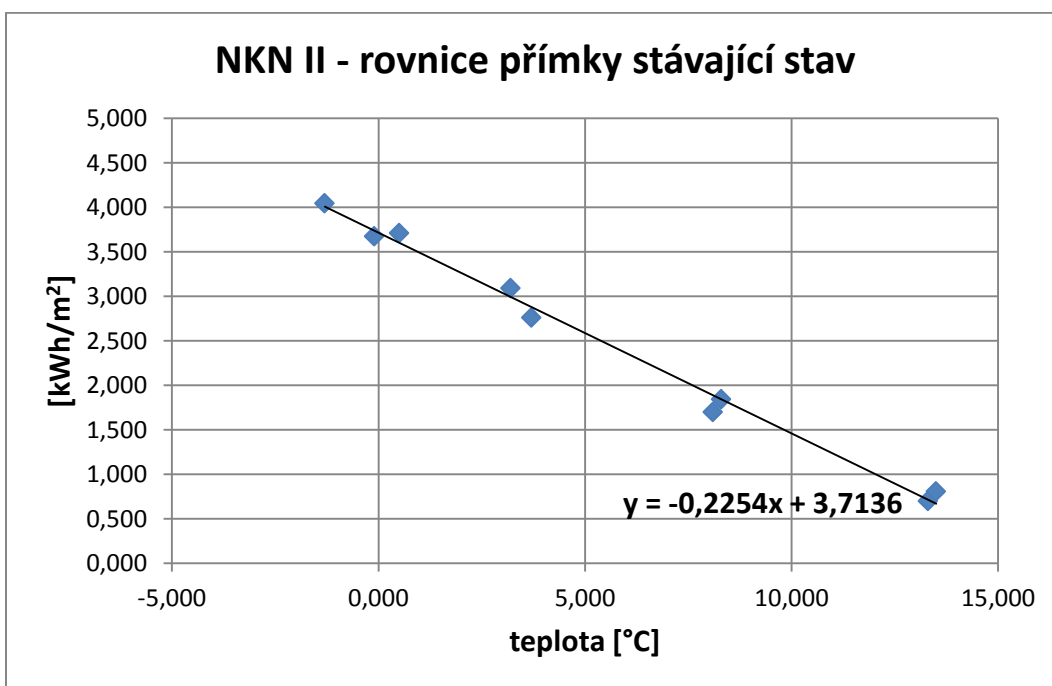


Graf 1: Porovnání NKN II aktuální stav a před stavební úpravou

Pro samotné zobrazení ET-křivky je nutné vypočítat rovnici přímky (1.1) popisující závislost dodané energie na jednotkovou plochu na venkovní teplotě. Vypočtená rovnice přímky je výsledkem aproximace přímky ze zadaných bodů metodou nejmenších čtverců.

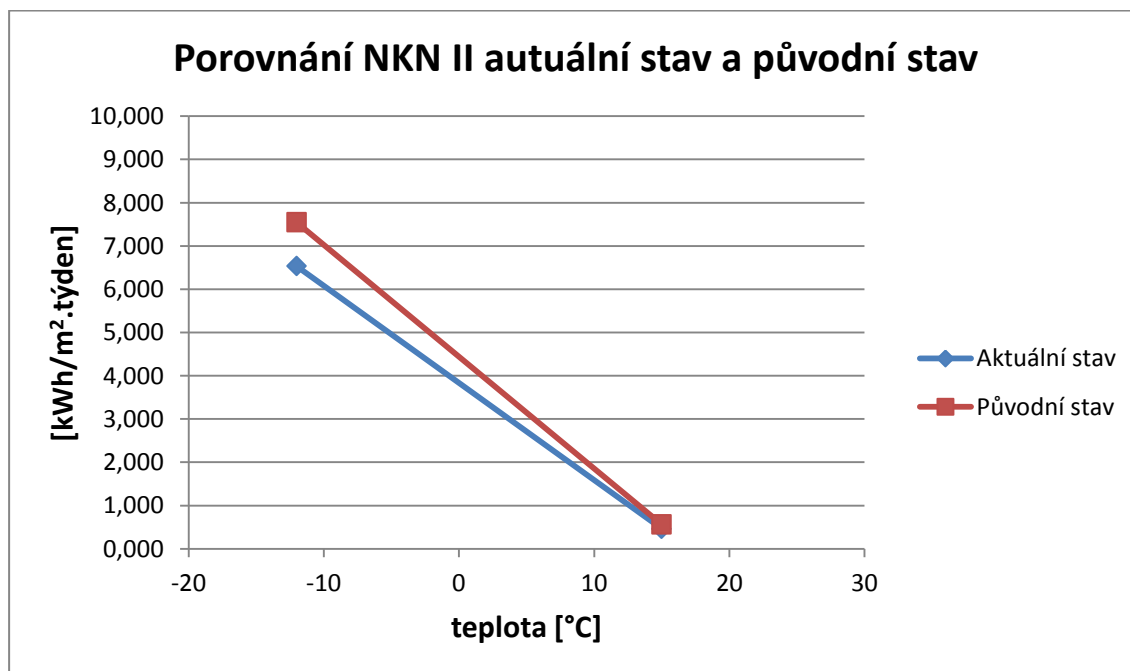


Graf 2: NKN II – ET-křivka: rovnice přímky původní stav



Graf 3: NKN II – ET-křivka: rovnice přímky stávající stav

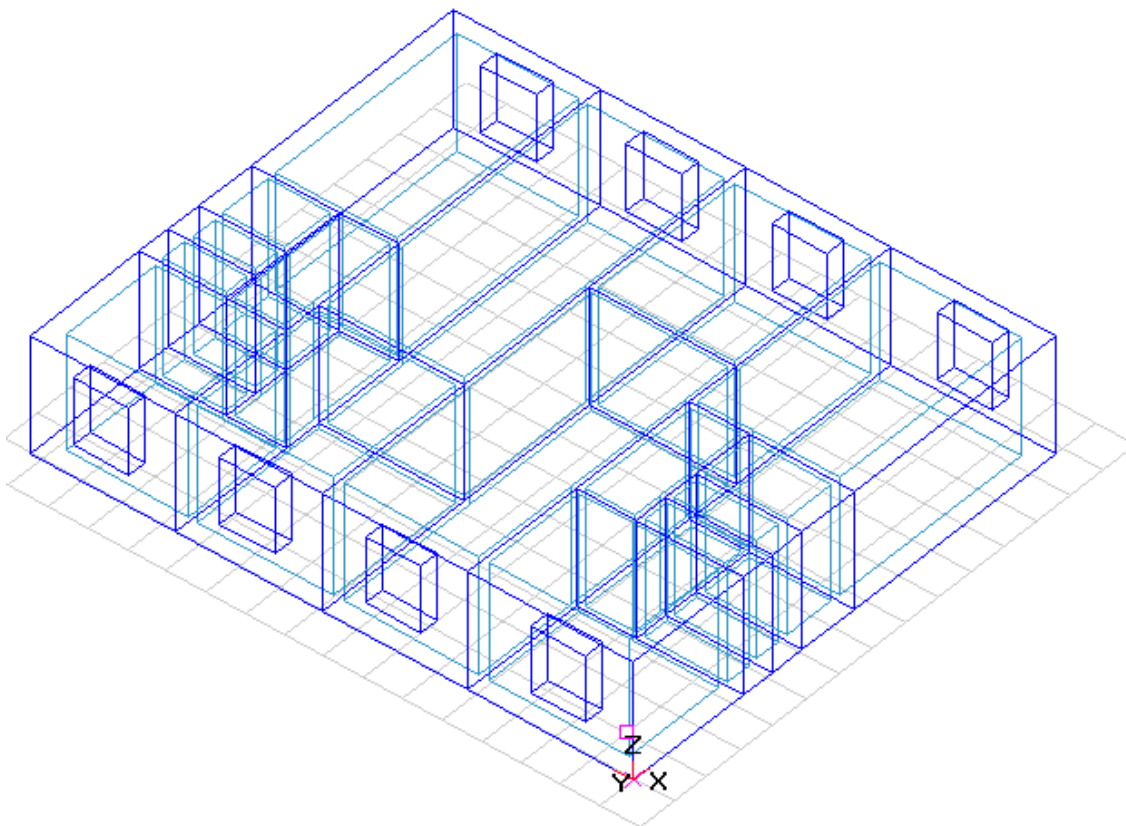
Po určení rovnic přímek pro aktuální a stávající stav, je možné přehledně definovat teplotní interval na ose „x“, kdy hodnota pro levou stranu intervalu byla zvolena jako výpočtová venkovní teplota pro město Brno (-12 °C) a pravá strana intervalu byla určena podle nejnižší dodávané hodnoty energie do bytového domu (po zaokrouhlení na celé číslo 15°C).



Graf 4: Porovnání NKN II – ET-křivka: aktuální stav a původní stav

B.3 MODEL BYTOVÉHO DOMU V BSIM2000

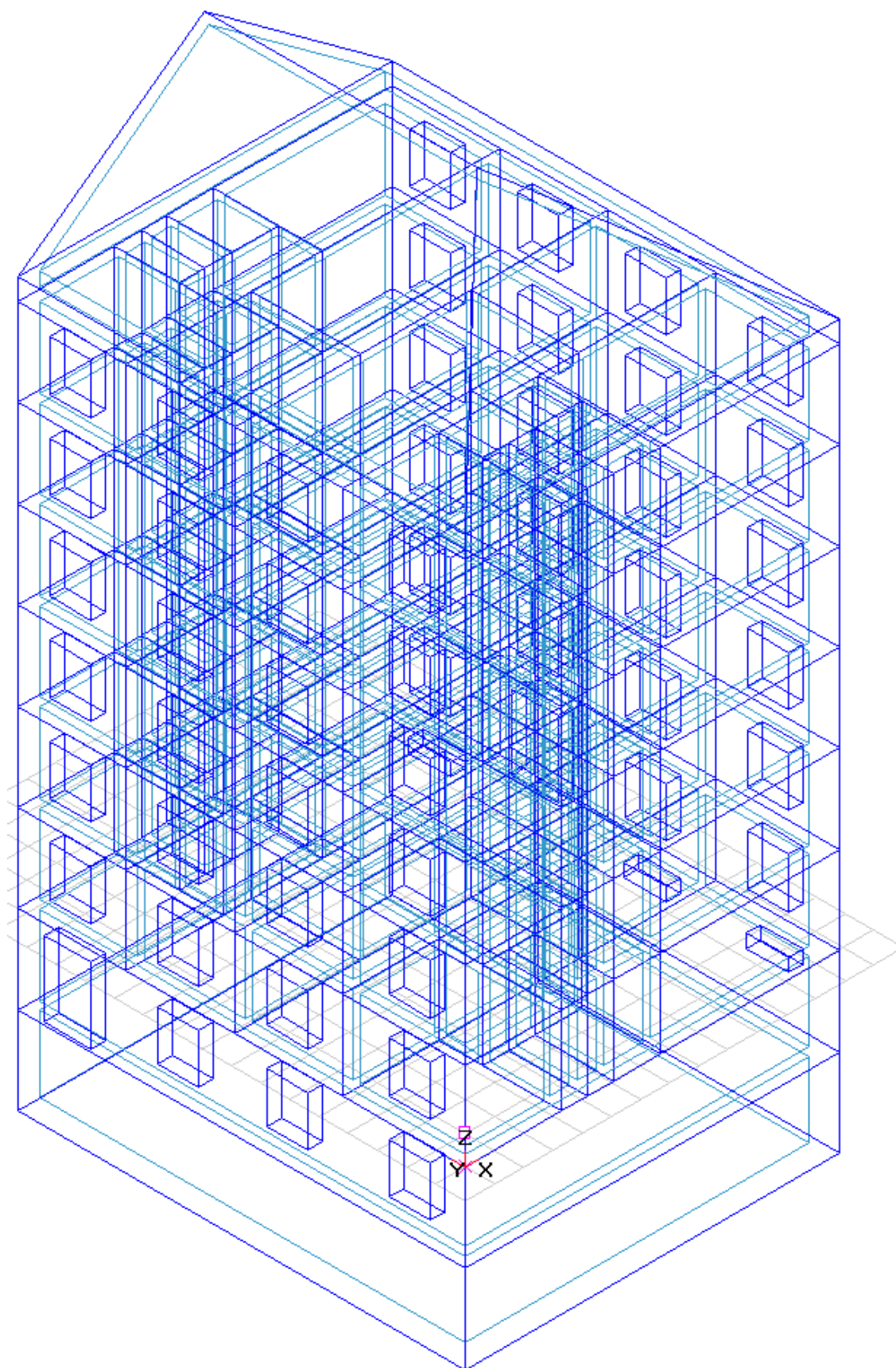
V grafickém prostředí BSim2000 byl pomocí uživatelských nástrojů vytvořena geometrická síť modelu řešeného bytového domu. Tvorbu modelu lze rozdělit na dvě základní fáze, kdy v první fázi bylo cílem konstrukčně definovat každé podlaží bytového domu. Typické nadzemní podlaží (1NP až 5NP) je rozděleno v půdorysu na 11 samostatných „vchodů“ a v jednom „vchodu“ jsou dvě bytové jednotky a společné prostory (chodba a schodiště). Bytová jednotka byla modelována konstrukčně identicky se stavebními podklady, pouze se zjednodušením definování dveřních otvorů.



Obrázek 9 Ukázka půdorysu jednoho „vchodu“

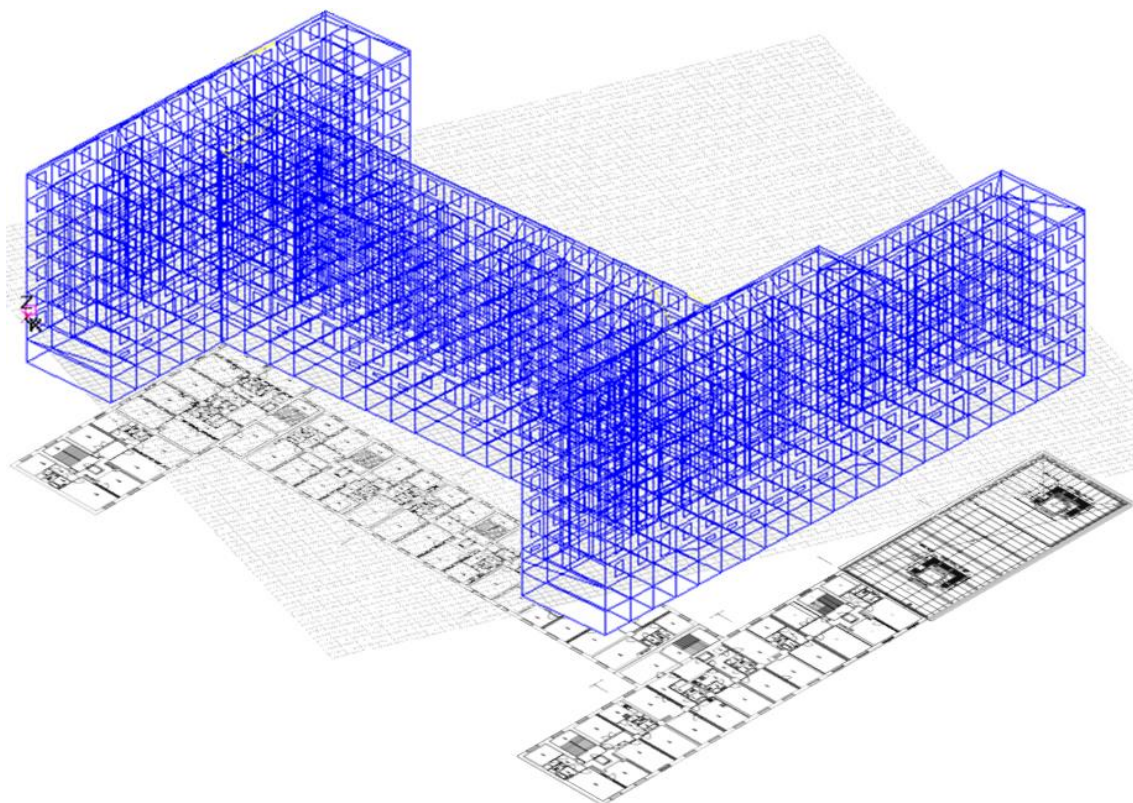
Ve druhém podzemním podlaží, kde se nacházejí sklepní kóje, kryty CO a v objektu Klatovská 2 je umístěna výměňková stanice, bylo přistoupeno ke konstrukčnímu zjednodušení celého půdorysu, kdy byl modelován pouze hlavní nosný systém. První podzemní podlaží bylo modelováno obdobně jako druhé podzemní podlaží s výjimkou jedné bytové jednotky a provozoven stomatologických ordinací, které byly konstrukčně modelovány detailně s ohledem se zjednodušením definování dveřních otvorů.

V 6NP a v 7NP jsou řešeny prvky střešní konstrukce. Ve střešní konstrukci bylo přistoupeno k obdobnému zjednodušení jako u podzemních podlaží, kdy byl modelován hlavní nosný konstrukční systém. Bytové jednotky nacházející se v 7NP byly také konstrukčně zjednodušeny oproti typickým nadzemním podlažím.



Obrázek 10 Model celého jednoho „vchodu“

Po vymodelování všech podlaží bytového domu, bylo možné v druhé fázi přistoupit ke složení celého objektu dohromady jako celek.



Obrázek 11 Model celého bytového domu

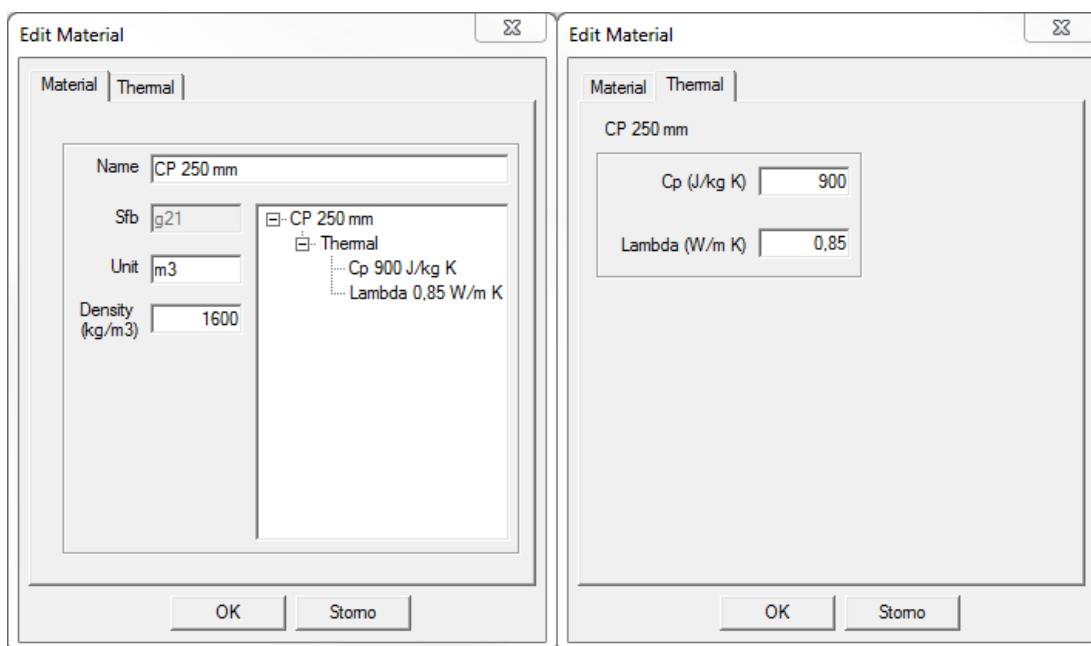
B.3.1 DATABÁZE KONSTRUKCÍ

Program BSim2000 využívá vlastní databázi stavebních konstrukcí, která je rozdělena na katalog stavebních materiálů a katalog stavebních konstrukcí. Katalog předdefinovaných stavebních konstrukcí lze dodatečně editovat, nebo je možné do tohoto katalogu přidávat stavební konstrukce vlastní. V rámci definování stavebních konstrukcí pro bytový dům byly veškeré konstrukce definovány jako vlastní. Jako podklad pro definování stavebních konstrukcí sloužily stavební pohledy na bytový dům se základním popisem konstrukcí, půdorysy všech podlaží s obecnou charakteristikou konstrukcí a průkaz energetické náročnosti z roku 2011. V rámci provedení zateplení štítových zdí, výměny vchodových dveří a výměny původních oken byl vyhotoven souhrnný výpis oken a dveří, který byl také použit jako podklad. Základní popis použitých konstrukcí je zobrazen v **Tabulce 5** Přehled hodnot součinitele prostupu tepla U .

Pro definování konstrukce jako celku je nutné nejprve definovat jednotlivé materiály do katalogu materiálů a následně z těchto materiálů složit celou konstrukci. Například pro vnitřní zdivo se definují v katalogu materiálů omítky a cihelné zdivo. Pro definování materiálů jsou vyžadovány hodnoty:

- Tepelná kapacita materiálu [J/kgK]
- Objemová hmotnost materiálu [kg/m^3]

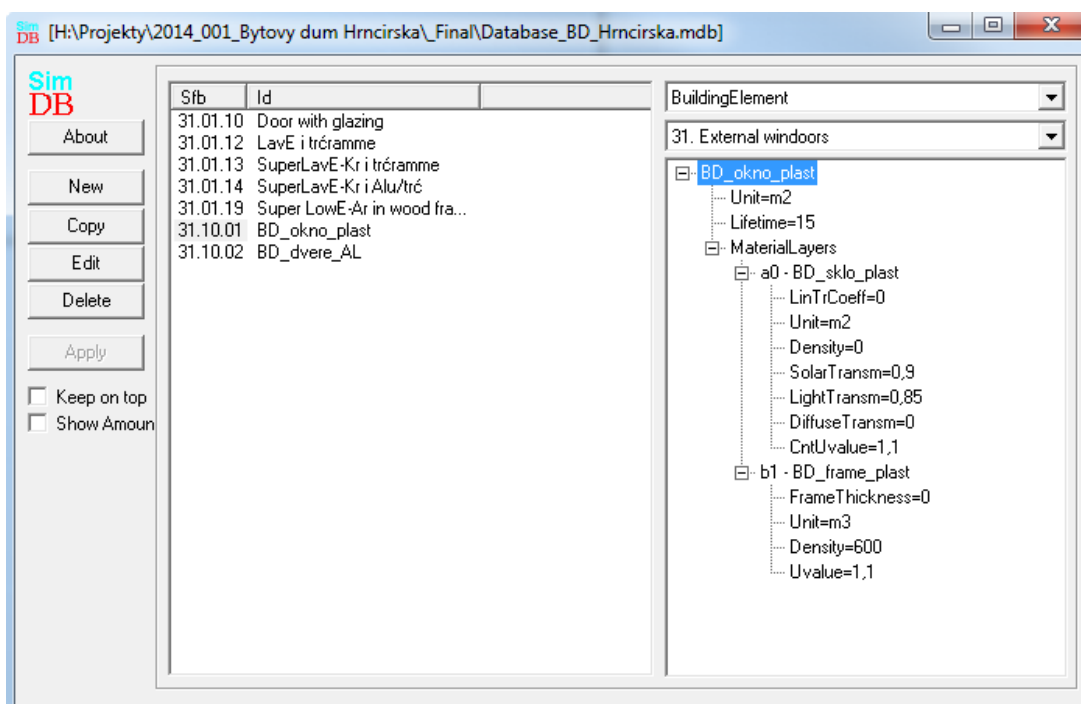
- Tepelná vodivost lambda [W/mK]



Obrázek 12 Náhled katalogu materiálů – definování vnitřního zdiva

Příklad definované hotové skladby okna, kdy jsou použity 2 základní materiály:

- Zasklení okna
- Rám okna



Obrázek 13 Náhled katalogu konstrukcí – skladba okna

B.3.2 ZÓNY V OBJEKTU

Pro model bytového domu byly definovány 4 základní zóny:

- Obývatelná zóna – bytové jednotky
- Neobývatelná zóna – společné prostory
- Neobývatelná zóna – střešní prostory
- Provozovny stomatologických ordinací

B.3.2.1 OBYVATELNÁ ZÓNA – BYTOVÉ JEDNOTKY

Do obývatelné zóny – bytové jednotky bylo zahrnuto všech 163 bytových jednotek v bytovém domě. Pro tuto zónu jsou pak definovány uživatelské profily:

- Equipment (Vybavení bytové jednotky spotřebiči)
- Heating (Způsob vytápění)
- Infiltration (Přirozené větrání bytové jednotky)
- Lighting (Osvětlení)
- MoistureLoad (Vlhkostní zátěž)
- PeopleLoad (Přítomnost osob v bytové jednotce)

Equipment:

Uživatelský profil Equipment popisuje vybavení bytové jednotky zejména elektrickými spotřebiči. Pro jednu bytovou jednotku byly definovány spotřebiče, které jsou trvale v provozu nebo reprezentují tzv. bílé spotřebiče (lednička, myčka, pračka atd.). Pro tyto spotřebiče v první skupině byla stanovena průměrná hodnota příkonu 150 W. Druhou skupinou spotřebičů tvoří spotřebiče určené pro zábavu nebo rekreaci (notebook, stolní počítač, televize, vysavač). Pro tyto spotřebiče v druhé skupině byla stanovena průměrná hodnota příkonu 150 W. Třetím zástupcem spotřebičů, jsou spotřebiče určené k úpravě pokrmů (mikrovlákná trouba, varná konvice, horkovzdušná trouba). Pro tyto spotřebiče ve třetí skupině byla stanovena průměrná hodnota příkonu 200 W. Poslední čtvrtou skupinou spotřebičů, jsou spotřebiče o malých příkonech (lokální osvětlení, hodiny, spotřebiče určené k hygieně). Pro tyto spotřebiče ve čtvrté skupině byla stanovena průměrná hodnota příkonu 50 W.

Tabulka 11 Elektrické spotřebiče pro bytovou jednotku

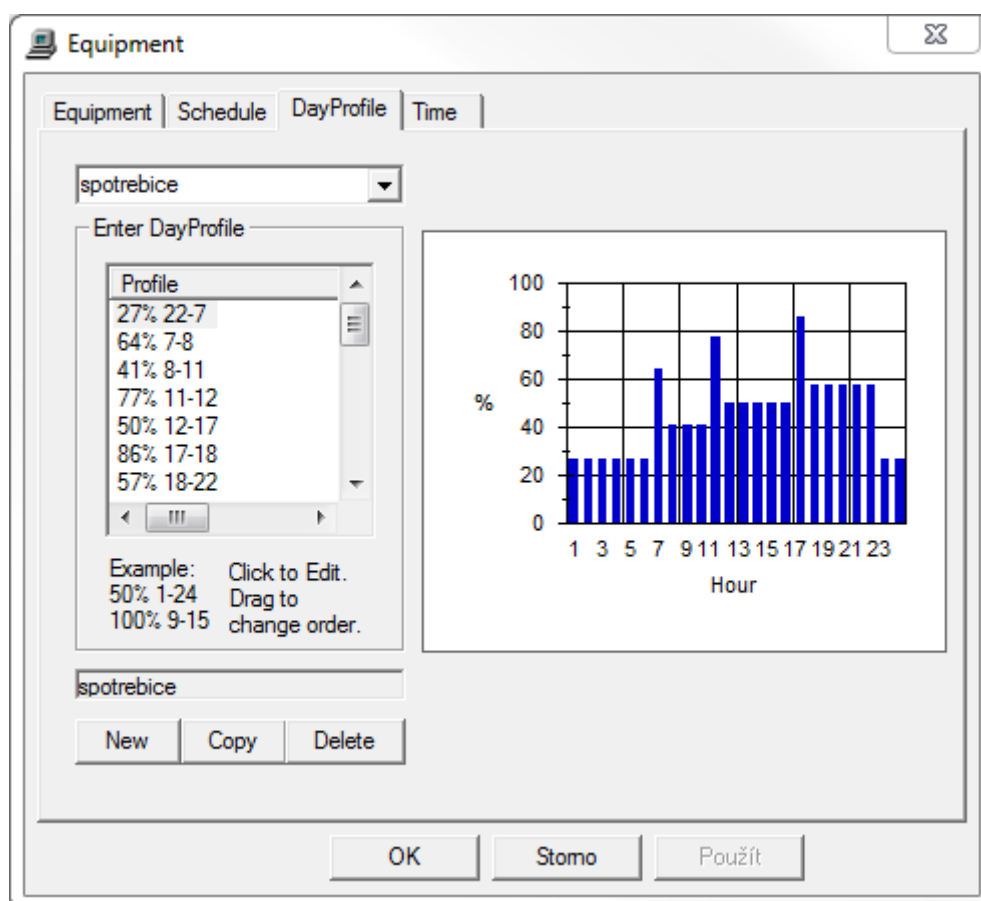
| | | |
|-----------|---|-------|
| Skupina 1 | Trvale zapojené nebo tzv. bílé spotřebiče | 150 W |
| Skupina 2 | Spotřebiče určené pro zábavu | 150 W |
| Skupina 3 | Spotřebiče určené k úpravě pokrmů | 200 W |
| Skupina 4 | Spotřebiče o malých příkonech | 50 W |
| | celkem | 550 W |

Průměrné hodnoty byly stanoveny s ohledem na současnost užívání spotřebičů a jejich využití, respektive jejich příkony byly rozpočteny na 24 hodin. Pro takto rozpočtenou průměr-

nou hodnotou byl definován časový harmonogram vytížení spotřebičů, který ještě zohledňuje vytížení jednotlivých skupin v čase.

Tabulka 12 Doba provozu spotřebičů v čase

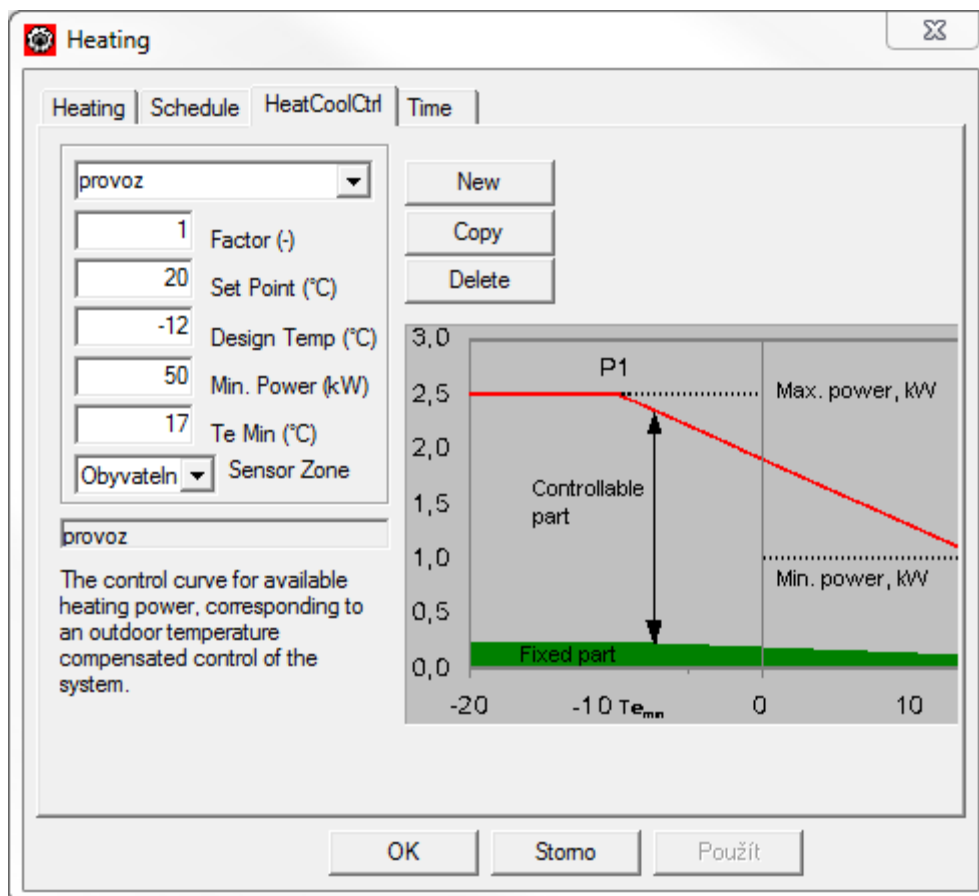
| Doba provozu spotřebičů v čase: | | Celkem | Vytížení |
|---------------------------------|---|--------|----------|
| Čas [h] | Spotřebiče | [W] | [%] |
| 22 až 7 | Skupina 1 | 150 | 27 |
| 7 až 8 | Skupina 1 + Skupina 3 | 350 | 64 |
| 8 až 11 | Skupina 1 + Skupina 2 - 50% | 225 | 41 |
| 11 až 12 | Skupina 1 + Skupina 2 - 50% + Skupina 3 | 425 | 77 |
| 12 až 17 | Skupina 1 + Skupina 2 - 50% + Skupina 4 | 275 | 50 |
| 17 až 18 | Skupina 1 + Skupina 2 - 50% + Skupina 3 + Skupina 4 | 475 | 86 |
| 18 až 22 | Skupina 1 + Skupina 2 - 75% + Skupina 4 | 313 | 57 |



Obrázek 14 Profil Equipment v programu BSim: Obyvatelná zóna – spotřebiče

Heating:

V profilu vytápění se definují okrajové podmínky zdroje jako je vnitřní teplota v bytové jednotce, venkovní výpočtová teplota, maximální a minimální výkon zdroje tepla a jeho spínací teplota, která reprezentuje referenční obytnou místnost.



Obrázek 15 Profil Heating v programu BSim: nastavení zdroje tepla

Infiltration:

Profil infiltrace definuje přirozené větrání pro bytové jednotky. Podle aktuálně platné vyhlášky č. 20/2012 Sb., je stanovena výměna vzduchu pro pobytové místnosti $25\text{m}^3/\text{h}$ na osobu, nebo minimální intenzita výměny vzduchu vztažená na objem místnosti $0,5\text{h}^{-1}$. V profilu infiltrace se definuje hodnota intenzity výměny vzduchu. Při zohlednění požadavku minimální intenzity výměny vzduchu $0,5\text{h}^{-1}$, zohlednění nových těsných plastových oken a zohlednění výrazného útlumu výměny vzduchu v nočních hodinách, byla definovaná průměrná hodnota $0,25\text{h}^{-1}$, která byla uvažována do výpočtu v programu BSim2000.

Lighting:

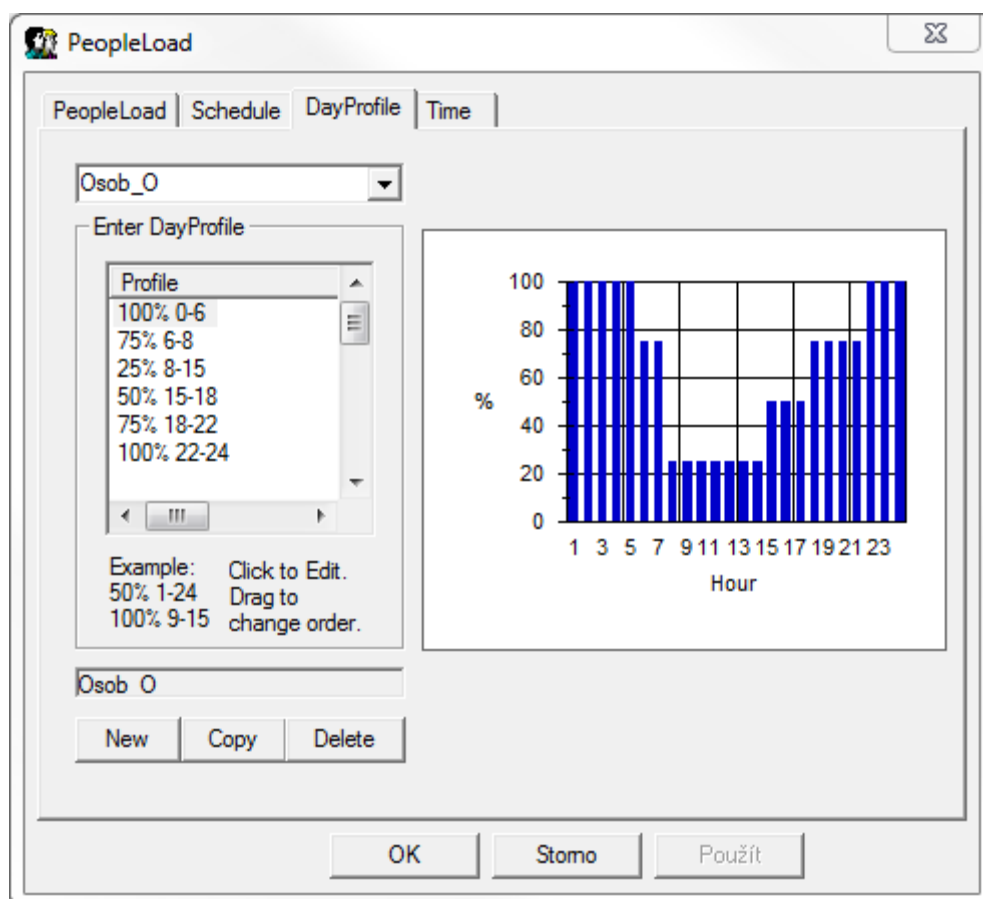
Profil osvětlení je časově nastaven vzhledem k aktivitě přítomným osobám v bytové jednotce. To znamená, že připouštíme možnost osvětlovat zónu od 5:00 až do 10h – ranní hodiny se zohledněním ročního období a od 17:00 až do 22:00 – večerní hodiny. Tento profil dále zohledňuje přítomnost osob, tedy v případě nepřítomnosti osob v bytové jednotce není plocha zóny osvětlena. Celkový příkon byl definován jako 200 W pro osvětlení v jedné bytové jednotce.

MoistureLoad:

Profil vlhkostí zátěž je vázán na přítomnost osob v bytové zóně a hodnota vlhkostí zátěže byla stanovena na 0,06 kg/h na osobu (vychází z přednastavené doporučené hodnoty).

PeopleLoad:

Profil definující přítomnost osob v bytové jednotce byl definován pro 3 osoby/bytová jednotka a použit na všechny bytové jednotky bez ohledu zda je v jiné bytové jednotce osob méně či více. Vlhkostí zátěž od jedné osoby byla stanovena jako 0,06 kg/h na osobu a teplo vyprodukované jednou osobou na 130 W. Přítomnost osob v bytové jednotce byla definována podle charakteru objektu, tedy se předpokládá, že v nočním čase od 22:00 a ranním čase do 7:00 budou přítomny všechny osoby. Následně se předpokládá odchod lidí a přibližně do odpoledních hodin kolem 15:00 je uvažováno s maximálně jednou přítomnou osobou v bytové jednotce. Následně do 22:00 se uvažuje s postupným příchodem všech osob.



Obrázek 16 Profil PeopleLoad v programu BSim: Obyvatelná zóna – přítomnost osob

B.3.2.2 NEOBYVATELNÁ ZÓNA – SPOLEČNÉ PROSTORY

Do neobyvatelné zóny – společné prostory byly zahrnuty schodiště a společné chodby. Pro tuto zónu jsou pak definovány uživatelské profily:

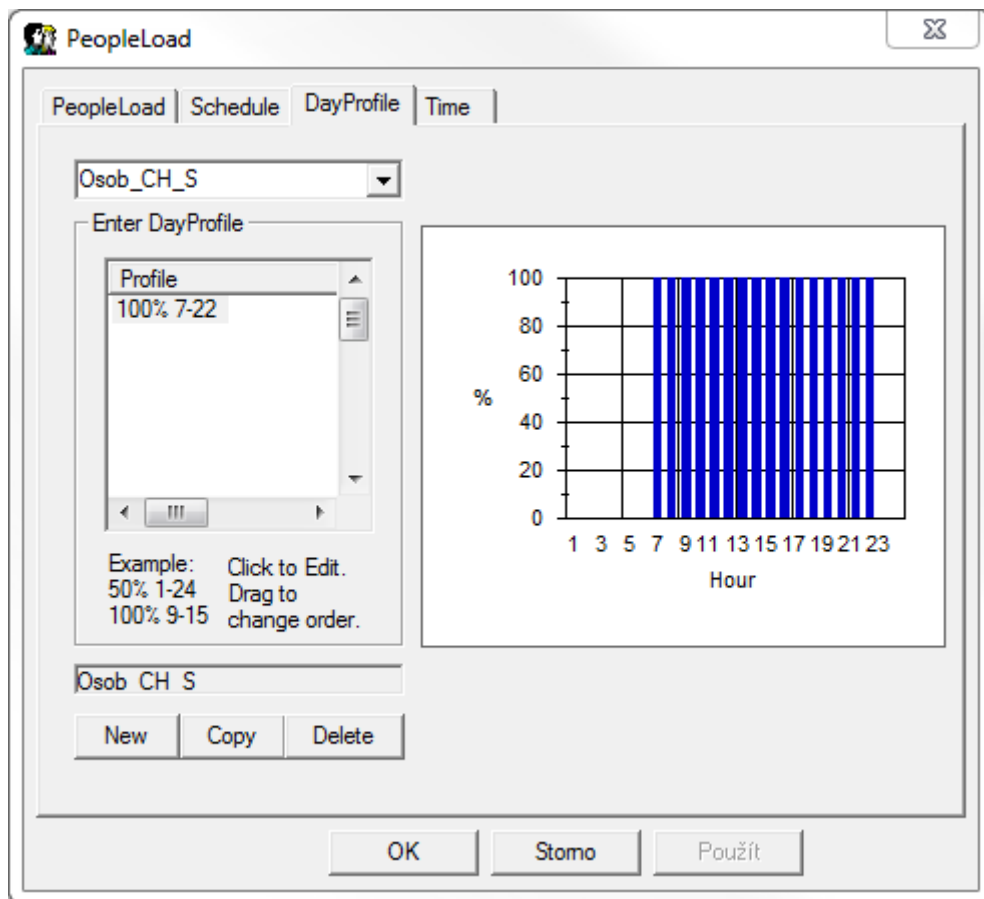
- Infiltration (přirozené větrání společných prostorů)
- Lighting (osvětlení)
- MoistureLoad (vlhkostní zátěž)
- PeopleLoad (Přítomnost osob ve společných prostorách)

Infiltration, Lighting a MoistureLoad:

Nastavení profilů Infiltration, Lighting a MoistureLoad odpovídá stejnému nastavení jako pro obytnou zónu. Jsou vázány hlavně na přítomnost osob v neobytné zóně.

PeopleLoad:

Profil definující přítomnost osob v neobytné zóně byl definován tak, že se uvažuje přítomnost jedné osoby od 7:00 do 22:00, bez ohledu zda se ve společných prostorách nachází v daný moment více či méně osob.



Obrázek 17 Profil PeopleLoad v programu BSim: Neobyvatelná zóna – přítomnost osob

B.3.2.3 NEOBYVATELNÁ ZÓNA – STŘEŠNÍ PROSTORY

Do neobyvatelné zóny – střešní prostory byla definována pouze jeden uživatelský profil infiltrace, který svým nastavením odpovídá obyvatelné zóně:

- Infiltration (přirozené větrání střešních prostorů)

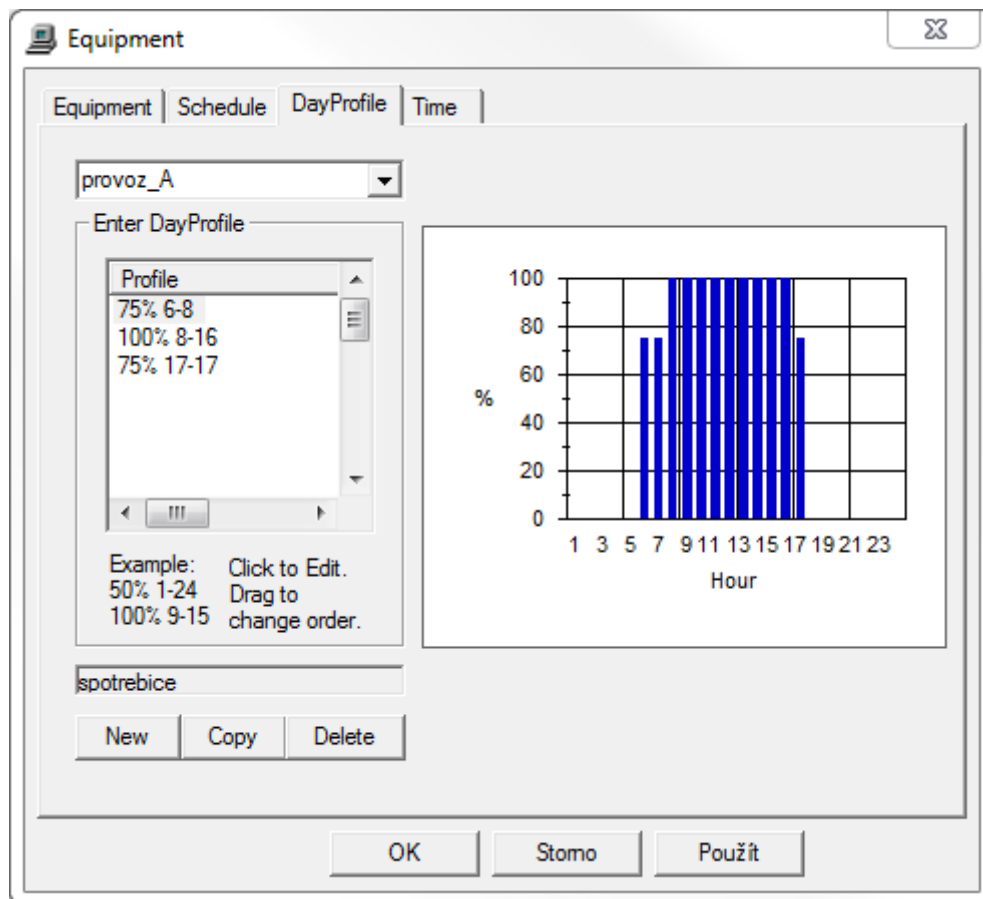
B.3.2.4 PROVOZOVNY STOMATOLOGICKÝCH ORDINACÍ

Do zóny – Provozovny stomatologických ordinací byly obě ordinace v bytovém domě. Pro tuto zónu jsou pak definovány uživatelské profily:

- Equipment (vybavení provozovny spotřebiči)
- Heating (způsob vytápění)
- Infiltration (přirozené větrání provozovny)
- Lighting (osvětlení)
- MoistureLoad (vlhkostní zátěž)
- PeopleLoad (Přítomnost osob v provozovně)

Equipment:

Pro zjednodušení byla uvažována stejná průměrná hodnota příkonu všech spotřebičů v provozovně jako pro bytovou jednotku, s rozdílem časového vytížení spotřebičů vzhledem k charakteru provozovny. Je uvažován provoz spotřebičů od 6:00 do 17:00 dle pracovní doby.



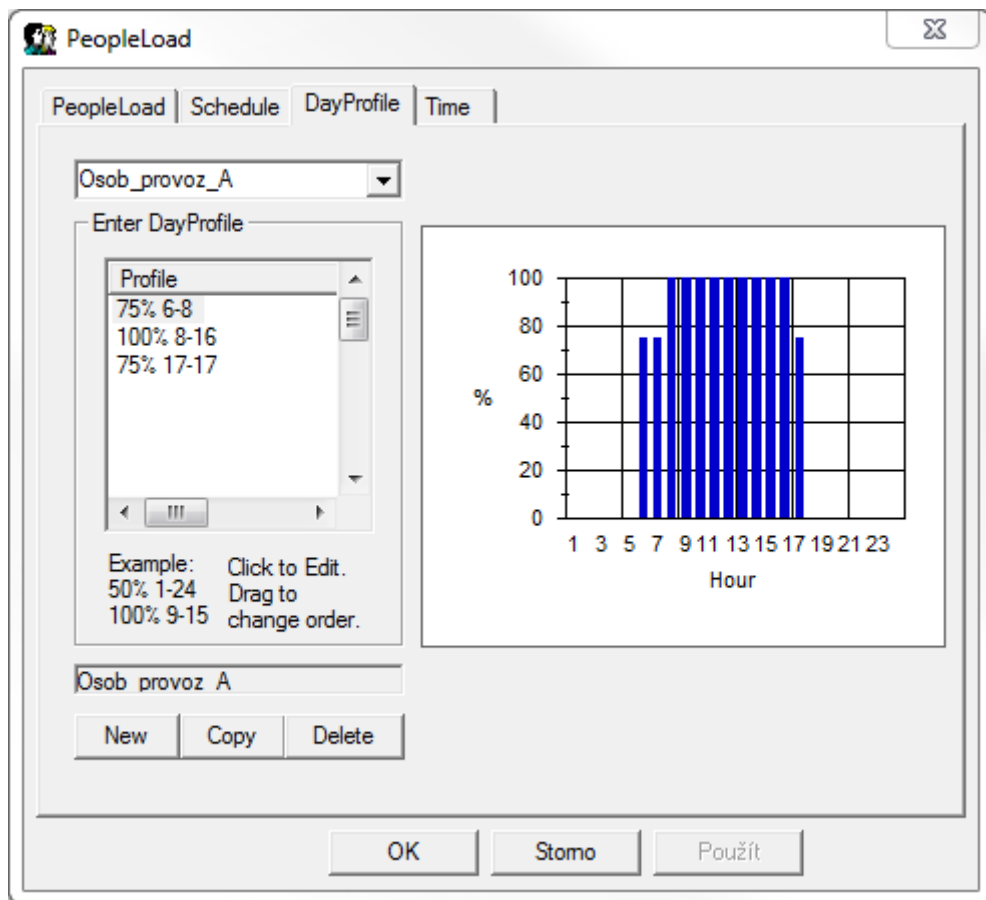
Obrázek 18 Profil Equipment v programu BSim: Provozovny – spotřebiče

Heating, Infiltration, Lighting a MoistureLoad:

Nastavení profilů Heating, Infiltration, Lighting a MoistureLoad odpovídá stejnému nastavení jako pro obytnou zónu. Jsou vázány hlavně na přítomnost osob v provozovně stomatologických ordinací.

PeopleLoad:

Profil definující přítomnost osob v provozovně stomatologických ordinací byl definován tak, že se uvažuje přítomnost dvou osob od 6:00 do 17:00, bez ohledu zda se v provozovně stomatologické ordinaci nachází v daný moment více či méně osob.



Obrázek 19 Profil PeopleLoad v programu BSim: Provozovny – přítomnost osob

B.3.3 KLIMATICKÁ DATA

Pro simulované výpočty v programu BSim2000 byla použita klimatická data z meteorologické stanice FAST VUT Brno [9]. Meteorologická stanice je umístěna v areálu Fakulty stavební na Veveří ulici č. p. 95, v šestém nadzemním podlaží budovy C. Jedná se o pozičně nejbližší meteorologickou stanici vzhledem k řešenému bytovému domu. Meteorologická stanice disponuje čtyřmi na sobě nezávislými měřícími systémy (Gas monitor, Meteos 4, Noel-vítr, NOEL 2000), pomocí kterých jsou zaznamenány veličiny uvedené v Tabulce 13.

Tabulka 13 Přehled měřených veličin – meteorologická stanice FAST VUT v Brně

| NOEL 2000 | Noel-vítr | Meteos 4 | Gas monitor |
|---------------------|--------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Suchá teplota | Průměrná rychlost větru | Teplota ve 2m | Koncentrace oxidu uhličitého |
| Vlhká teplota | Maximální rychlost větru | Minimální teplota | Koncentrace oxidu dusného |
| Atmosférické srážky | Minimální rychlost větru | Maximální teplota | Koncentrace vodní páry |
| Ovlhčení | Směrový azimut | Relativní vlhkost | |
| Barometrický tlak | | Globální sluneční radiace | |
| | | Integrovaná globální sluneční radiace | |

Klimatická data byla zpracována pro období 1. 1. 2011 do 31. 12. 2013. Do programu BSim2000 byly následně klimatické data vložena pro každý konkrétní rok samostatně z důvodu rozdělení časové náročnosti výpočtu. Program BSim2000 vyžaduje specifické veličiny uvedené v tabulce 14, aby bylo možné korektně provést simulace. Klimatická data z meteorologické stanice FAST VUT Brno jsou měřena každých 15 minut (výchozí čas je stanoven 00:00) a pro účely BSim2000 musí být data zpracována v hodinovém intervalu, tedy bylo nutné upravit získaná data z meteorologické stanice FAST VUT Brno jednoduchým nalezením průměrné hodinové hodnoty podle vztahu:

$$D_h = \frac{\sum_{i=1}^4 D_{h,i}}{4} \quad (1.24)$$

Kde:

$D_{h,i}$ je veličina v dané hodině naměřená v intervalech 15 minut

Tabulka 14 Přehled veličin – klimatická data BSim2000

| | Veličina | Jednotky |
|-----|-----------------------|---------------------|
| 1. | Month | [no] |
| 2. | Day | [no] |
| 3. | Hour | [no] |
| 4. | Ambient Temp. | [°C] |
| 5. | Dew Point Temp. | [°C] |
| 6. | Humidity Ratio | [kg/kg] |
| 7. | Enthalpy | [kJ/kg] |
| 8. | Rel. Humidity | [%] |
| 9. | Global Radiation | [W/m ²] |
| 10. | Diffuse Sky Radiation | [W/m ²] |
| 11. | Wind Speed | [m/s] |
| 12. | Wind Direction | [deg] |

B.3.4 VÝSLEDKY SIMULACÍ

S vytvořeným modelem bytového domu, definování všech stavebních konstrukcí, definování uživatelských profilů a po vložení klimatických dat, bylo možné provést simulace energetické náročnosti bytového domu pro roky 2011, 2012 a 2013. K rokům 2011 až 2013 je možné provádět zpětnou kontrolu provedených simulací s vyúčtováním energií pro bytový dům a tím dodatečně kalibrovat model bytového domu. Protože v BSim2000 nelze jednoduchým definováním uživatelského profilu uvažovat přípravu teplé vody, tak do výsledného výpočtu BSim2000 byla dodaná energie na ohřev teplé vody přičtena dodatečně na základě provedeného jednoduchého měření a na základě vyúčtování, které poskytlo společenství vlastníků bytového domu k nahlédnutí.

B.3.4.1 ROK 2011

V roce 2011 byly realizovány tyto stavební úpravy na bytovém domě:

- Zateplení štítových zdí
- Výměna oken
- Výměna dveří.

Stavební úpravy byly dokončeny v srpnu 2011. Od měsíce září bylo poskytnuto k nahlédnutí vyúčtování za energie a tomuto období byla přizpůsobena i simulace v BSim2000 pro tento rok, respektive od měsíce září je provedeno porovnání s vyúčtováním. Souhrnné tabulky s výstupy výpočtu programem BSim2000 jsou přílohou této práce, zde je uvedena upravená tabulka. Pro přesnější výpočet rovnice přímky ET-křivky pro rok 2011 byly dopočítány i zbylé měsíce, které vstupují do výpočtu pouze pro účely sestavení ET-křivky. Z výpočtu BSim2000 lze vygenerovat dodanou energii pro jednotlivé měsíce v závislosti na definování uživatelských profilů (energie pro vytápění, elektrická energie pro spotřebiče a osvětlení). Veškeré energie jsou v jednotkách [kWh]. Pro sestavení ET-křivky bylo nutné provést přepočítání měsíční dodané energie na energii dodanou na jednotkovou plochu za týden podle vztahu:

$$E_{pl} = \frac{\left(\frac{E_{vytápění, měsíc} + E_{teplá voda, měsíc} + E_{elektrina, měsíc}}{\text{počet dní v měsíci}} \right) * 7}{\text{otopná plocha}} \quad (1.25)$$

Kde:

E_{pl} je celková dodaná energie vztažená na jednotkovou plochu v [kWh/m².týden]

$E_{vytápění, měsíc}$ je dodaná energie na vytápění za měsíc v [kWh/měsíc]

$E_{teplá voda, měsíc}$ je dodaná energie na ohřev teplé vody za měsíc v [kWh/ měsíc]

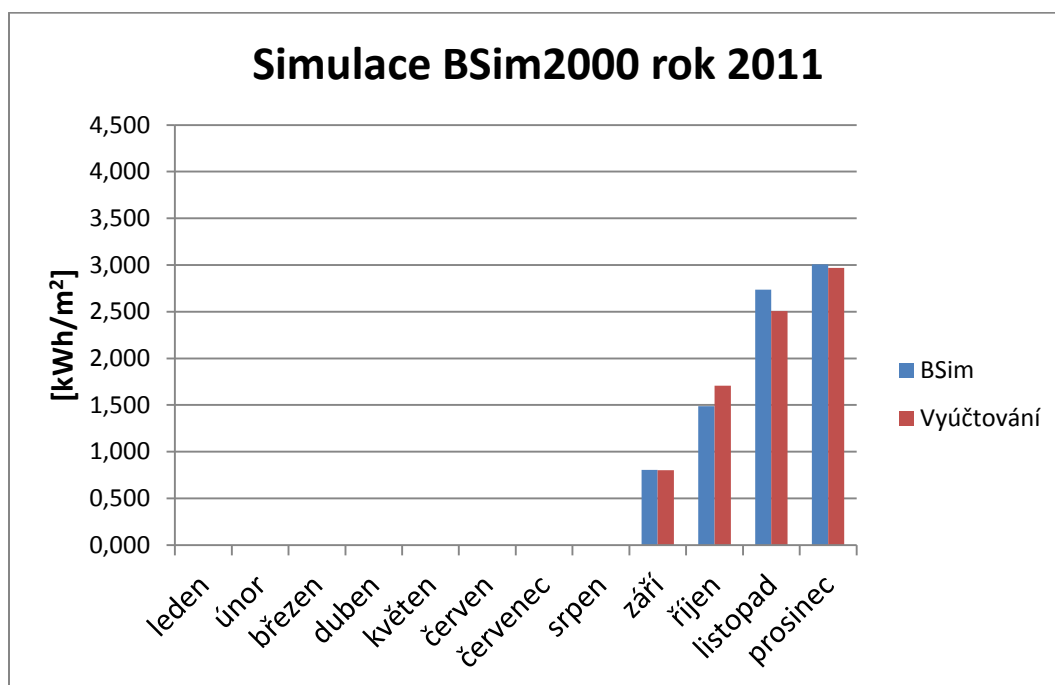
$E_{elektrina, měsíc}$ je dodaná elektrická energie za měsíc v [kWh/ měsíc]

Vztažená otopná plocha bytového domu pak vychází z geometrie objektu, která byla určena jako **18 143 m²**. Průměrné měsíční teploty pak vychází z klimatických dat z meteorologické stanice FAST VUT Brno.

Tabulka 15 Energie dodaná na jednotkovou plochu BSim2000 – aktuální stav 2011

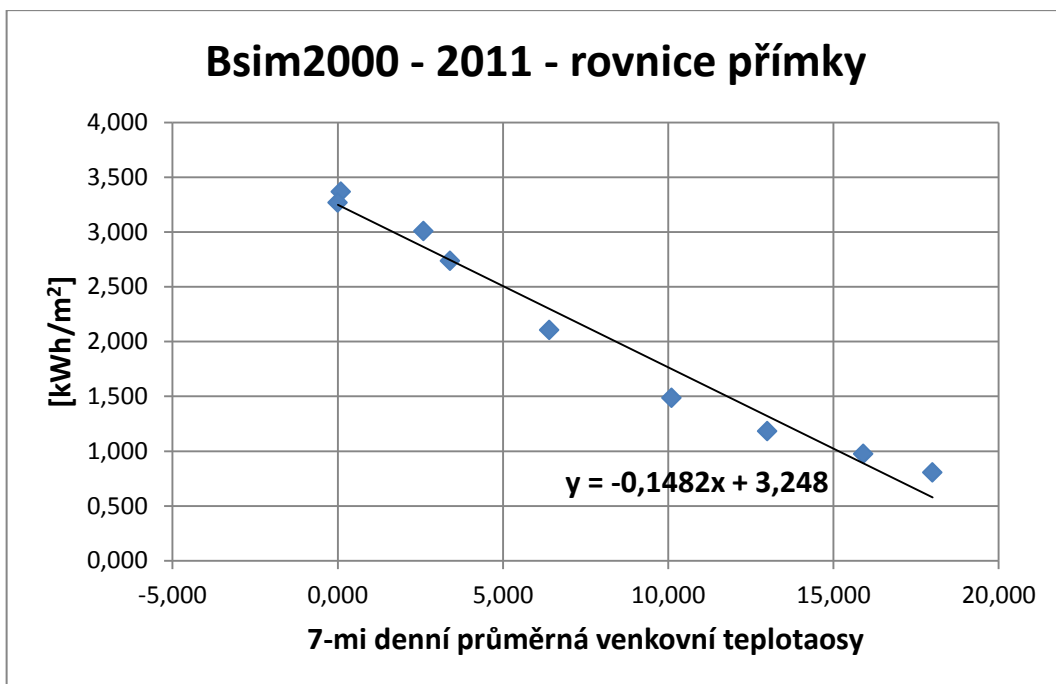
| měsíc | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červene | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| kWh/měsíc | 211 130 | 183 344 | 109 714 | 34 326 | 18 763 | 0 | 0 | 0 | 5 029 | 59 988 | 155 252 | 182 218 |
| kWh/t vtp | 47 674 | 45 836 | 24 774 | 8 010 | 4 237 | 0 | 0 | 0 | 1 173 | 13 546 | 36 225 | 41 146 |
| kWh/t voda | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 |
| kWh/t el | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 |
| te | -0,800 | 1,000 | 2,000 | 11,100 | 14,800 | 18,700 | 23,000 | 21,500 | 14,400 | 10,900 | 6,000 | 2,300 |
| kWh/m2 | 3,368 | 3,266 | 2,105 | 1,181 | 0,973 | 0,740 | 0,740 | 0,740 | 0,805 | 1,486 | 2,736 | 3,008 |

Z tabulky, po přepočtu dodané energie na jednotkovou plochu, lze vynést přehledný graf se zobrazením hodnot energií na ose „y“ k příslušným měsícům na ose „x“ a porovnání s vyúčtováním pro rok 2011 (od měsíce září).



Graf 5: Porovnání BSim2000 aktuální stav a vyúčtování pro rok 2011

Pro samotné zobrazení ET-křivky pro rok 2011 je nutné vypočítat rovnici přímky (1.1) popisující závislost dodané energie na jednotkovou plochu na venkovní teplotě v otopném období. Vypočtená rovnice přímky je výsledkem aproximace přímky ze zadaných bodů metodou nejmenších čtverců. Do výpočtu rovnice přímky vstupuje všech 9 měsíců, které jsou reprezentovány sestavenými body z výstupu simulace BSim2000.



Graf 6: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2011: rovnice přímky aktuální stav

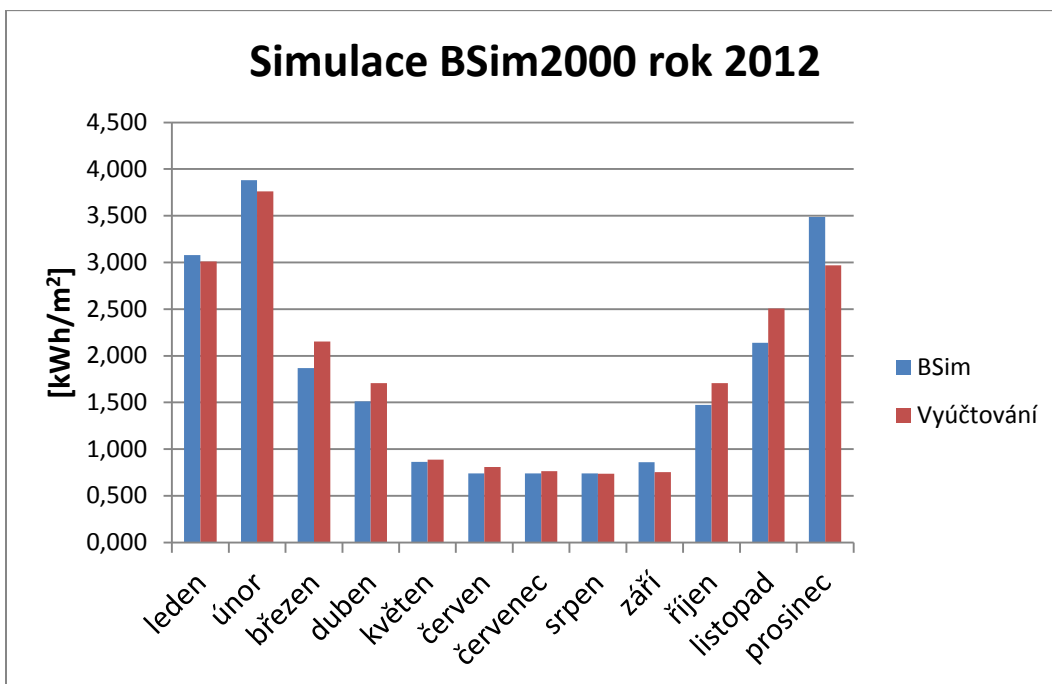
B.3.4.2 ROK 2012

Rok 2012 byl už počítán standardně pro všechny měsíce v roce. Pro sestavení ET-křivky se provedl obdobný přepočítání měsíční dodané energie na energii dodanou na jednotkovou plochu za týden podle vztahu (1.34) jako pro rok 2011.

Tabulka 16 Energie dodaná na jednotkovou plochu BSim2000 – aktuální stav 2012

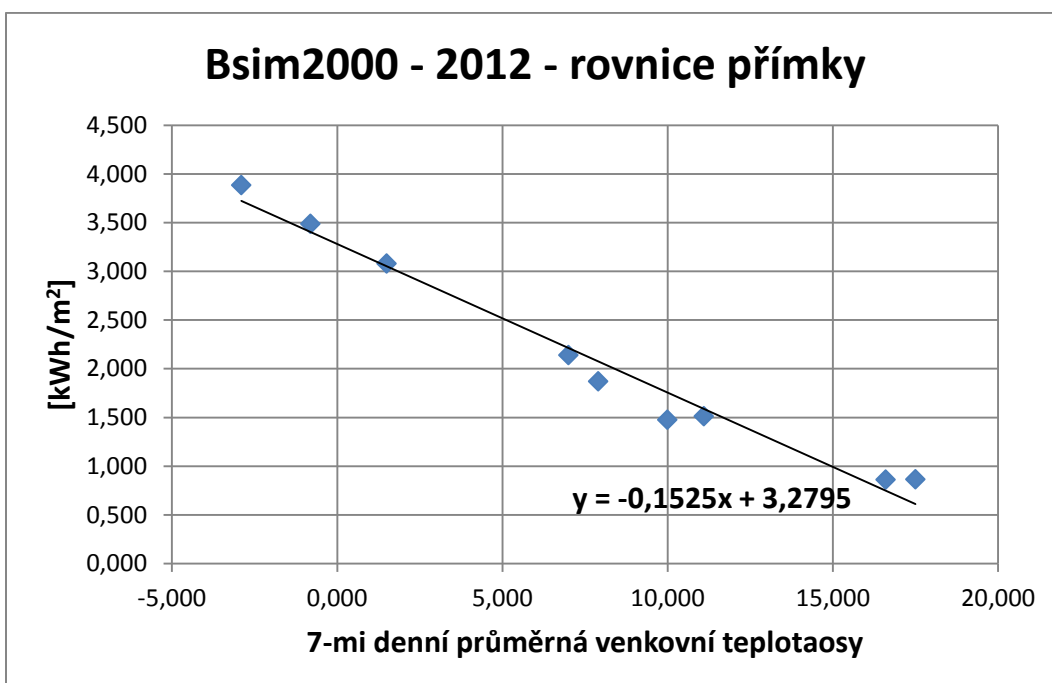
| měsíc | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červene | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| kWh/měsíc | 187 858 | 227 995 | 90 722 | 59 892 | 9 870 | 0 | 0 | 0 | 9 249 | 58 926 | 108 801 | 220 624 |
| kWh/t vtp | 42 420 | 56 999 | 20 486 | 13 975 | 2 229 | 0 | 0 | 0 | 2 158 | 13 306 | 25 387 | 49 818 |
| kWh/t voda | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 |
| kWh/t el | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 |
| te | 1,500 | -2,900 | 7,900 | 11,100 | 17,500 | 20,100 | 21,700 | 21,900 | 16,600 | 10,000 | 7,000 | -0,800 |
| kWh/m2 | 3,078 | 3,881 | 1,869 | 1,510 | 0,863 | 0,740 | 0,740 | 0,740 | 0,859 | 1,473 | 2,139 | 3,486 |

Z tabulky je mimo jiné patrné, že u jednotlivých měsíců jsou uvedeny jiné průměrné venkovní teploty, než je tomu pro rok 2011. To je dáno tím, že se jedná o reálná klimatická data, oproti tomu pro NKN II se vynášely teploty definované podle TNI 730331 – Energetická náročnost budov – typické hodnoty pro výpočet [7]. Z tabulky, po přepočtu dodané energie na jednotkovou plochu, lze vynést přehledný graf se zobrazením hodnot energií na ose „y“ k příslušným měsícům na ose „x“ a porovnání s vyúčtováním pro rok 2012.



Graf 7: Porovnání BSim2000 aktuální stav a vyúčtování pro rok 2012

Pro samotné zobrazení ET-křivky pro rok 2012 je nutné vypočítat rovnici přímky (1.1) popisující závislost dodané energie na jednotkovou plochu na venkovní teplotě v otopném období. Vypočtená rovnice přímky je výsledkem aproximace přímky ze zadaných bodů metodou nejmenších čtverců.



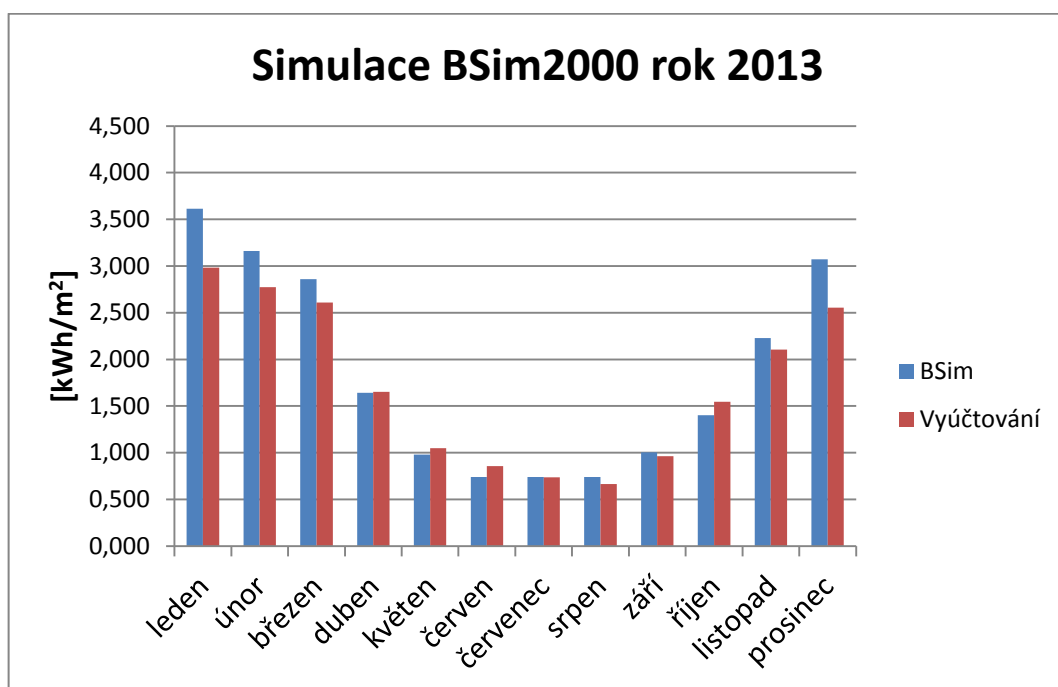
Graf 8: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2012: rovnice přímky aktuální stav

B.3.4.3 ROK 2013

Rok 2013 byl opět počítán standardně pro všechny měsíce v roce. Pro sestavení ET-křivky se provedl přepočítání měsíční dodané energie na energii dodanou na jednotkovou plochu za týden podle vztahu (1.34):

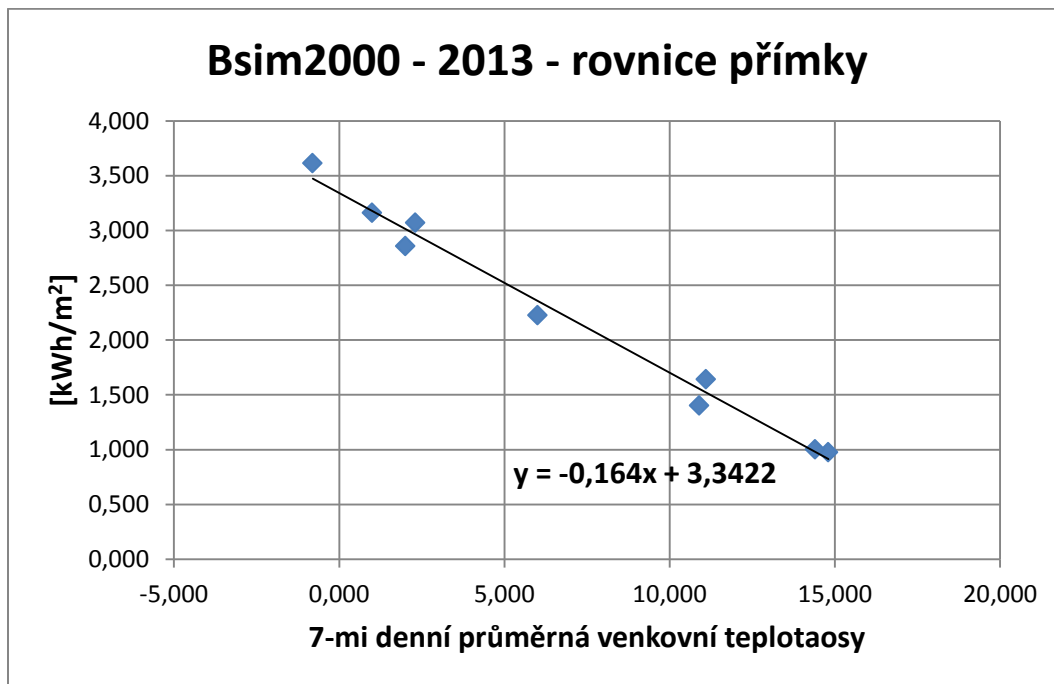
Tabulka 17 Energie dodaná na jednotkovou plochu BSim2000 – aktuální stav 2013

| měsíc | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červene | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| kWh/měsíc | 230 970 | 175 685 | 170 224 | 70 177 | 19 167 | 0 | 0 | 0 | 20 535 | 53 323 | 115 648 | 187 266 |
| kWh/t vtp | 52 155 | 43 921 | 38 438 | 16 375 | 4 328 | 0 | 0 | 0 | 4 792 | 12 041 | 26 985 | 42 286 |
| kWh/t voda | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 | 0,358 |
| kWh/t el | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 | 6 936,30 |
| te | -0,800 | 1,000 | 2,000 | 11,100 | 14,800 | 18,700 | 23,000 | 21,500 | 14,400 | 10,900 | 6,000 | 2,300 |
| kWh/m ² | 3,614 | 3,161 | 2,858 | 1,642 | 0,978 | 0,740 | 0,740 | 0,740 | 1,004 | 1,403 | 2,227 | 3,071 |



Graf 9: Porovnání BSim2000 aktuální stav a vyúčtování pro rok 2013

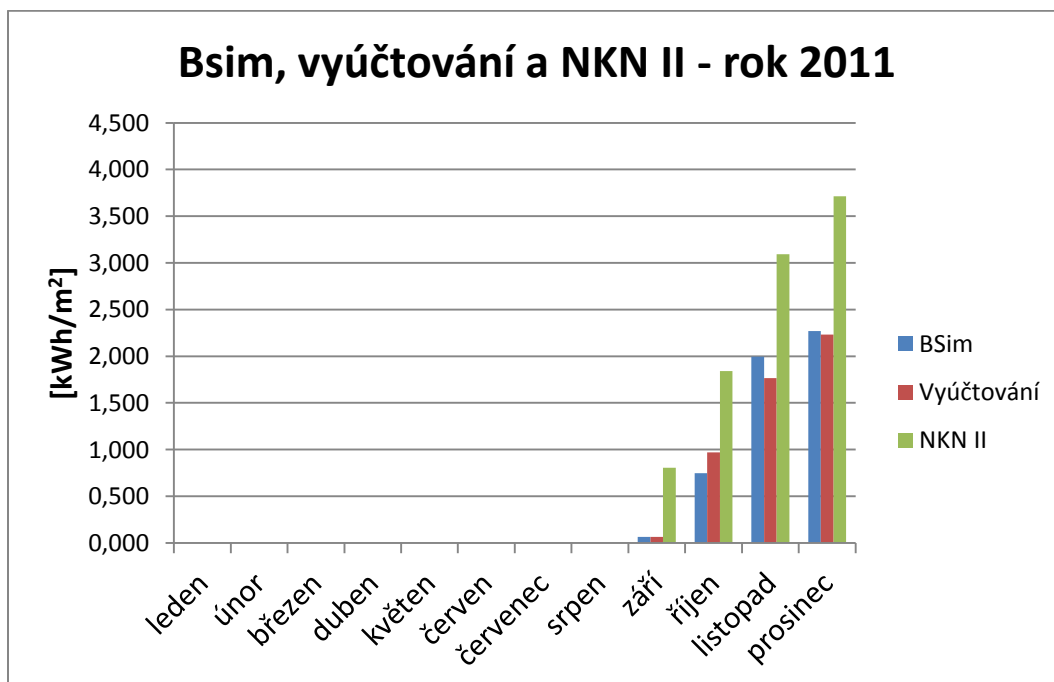
Rovnice ET-křivky pro rok 2013:



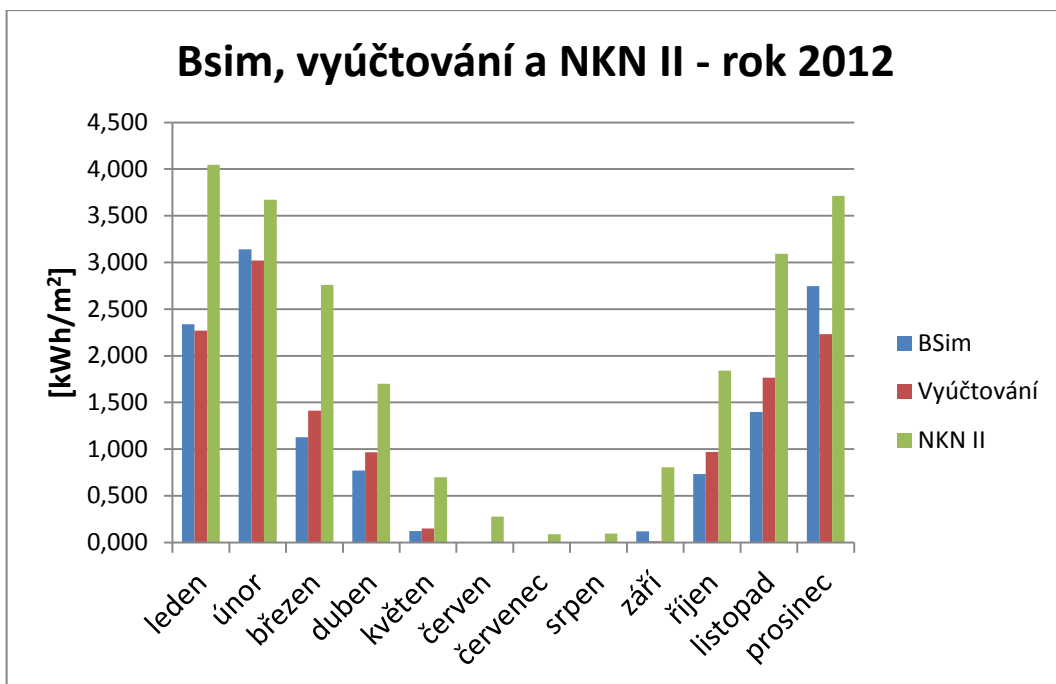
Graf 10: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2013: rovnice přímky aktuální stav

B.3.5 POROVNÁNÍ BSIM2000, VYÚČTOVÁNÍ A NKN II – VTP

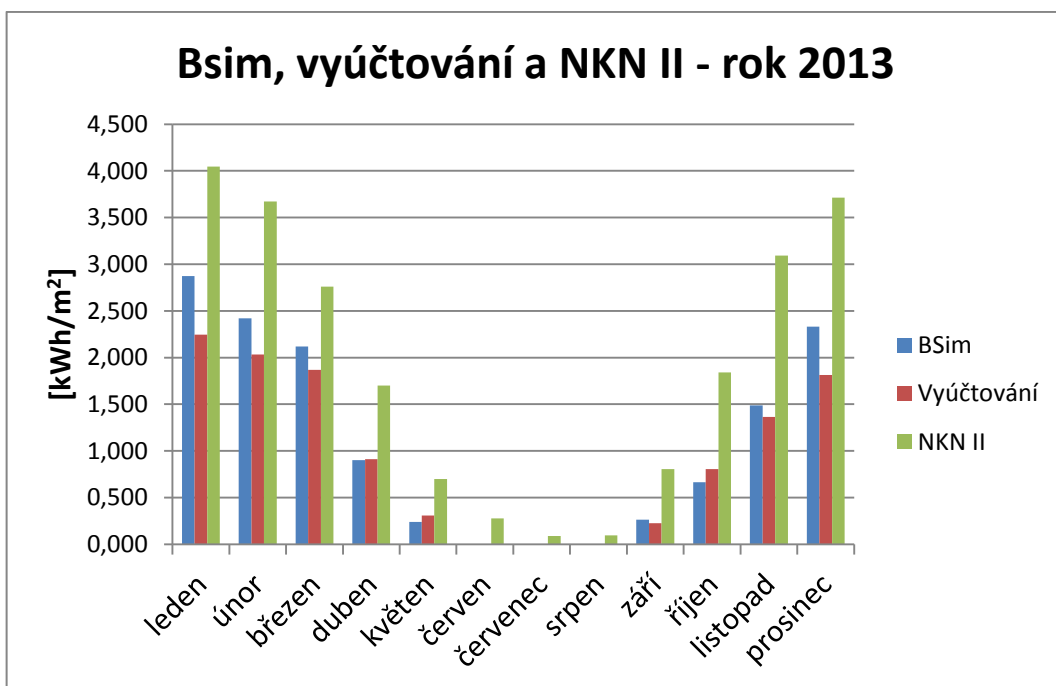
Porovnání dílčí složky energie pro vytápění je vyhodnoceno na základě provedených simulací v programu BSim2000, poskytnutého vyúčtování a výstupu z tabulkového procesoru Excel NKN II. Všechny výstupy zohledňují aktuální stavební stav bytového domu.



Graf 11: Porovnání vytápění: BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav pro rok 2011



Graf 12: Porovnání vytápění: BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav pro rok 2012



Graf 13: Porovnání vytápění: BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav pro rok 2013

Za referenční hodnotu k porovnání jednotlivých výstupů je uvažováno vyúčtování za energie pro bytový dům. Vyúčtování zobrazuje skutečně dodané energie pro vytápění v konkrétním období, mimo jiné v závislosti na venkovní teplotě, kdy o množství dodané energie

rozhodují samotní uživatelé bytového domu v závislosti na jejich komfortu při užívání bytové jednotky.

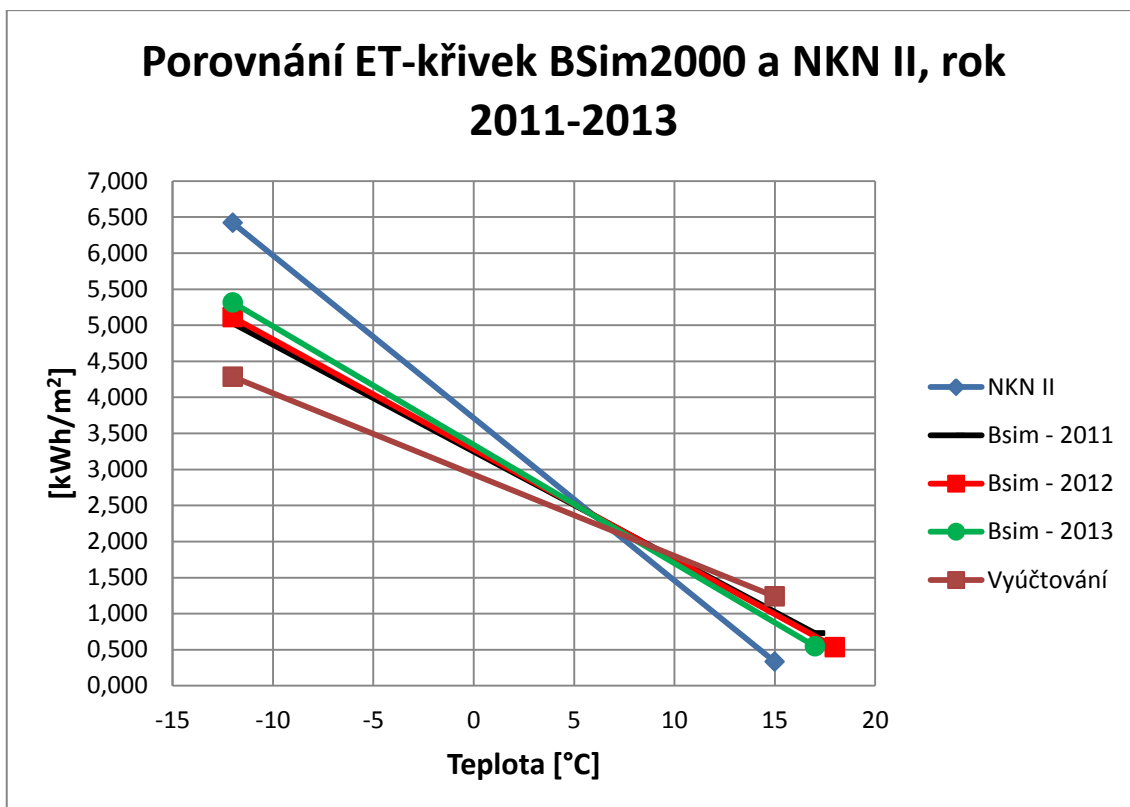
Z výše uvedených grafů je patrná celkem dobrá shoda výstupu z programu BSim2000 a vyúčtování. BSim2000 se neshoduje s vyúčtováním hlavně v měsíci prosinec 2012, leden 2013 a prosinec 2013. Tato neshoda může být dána tím, že BSim2000 má jasně definované uživatelské profily, které i přes co nejpřesnější nastavení nejsou schopny monitorovat reálné chování uživatelů, které mohlo být v daných měsících odlišné od běžných měsíců.

NKN II, zejména v otopném období, značně nadhodnocuje množství potřebné energie na pokrytí tepelných ztrát. Nutno zmínit, že výpočet NKN II vychází hlavně z normových hodnot, vyhlášek a jiných předpisů, které mohou mít na výpočet zásadní vliv ve smyslu, že výpočet je proveden s ohledem na vyšší komfort uživatelů.

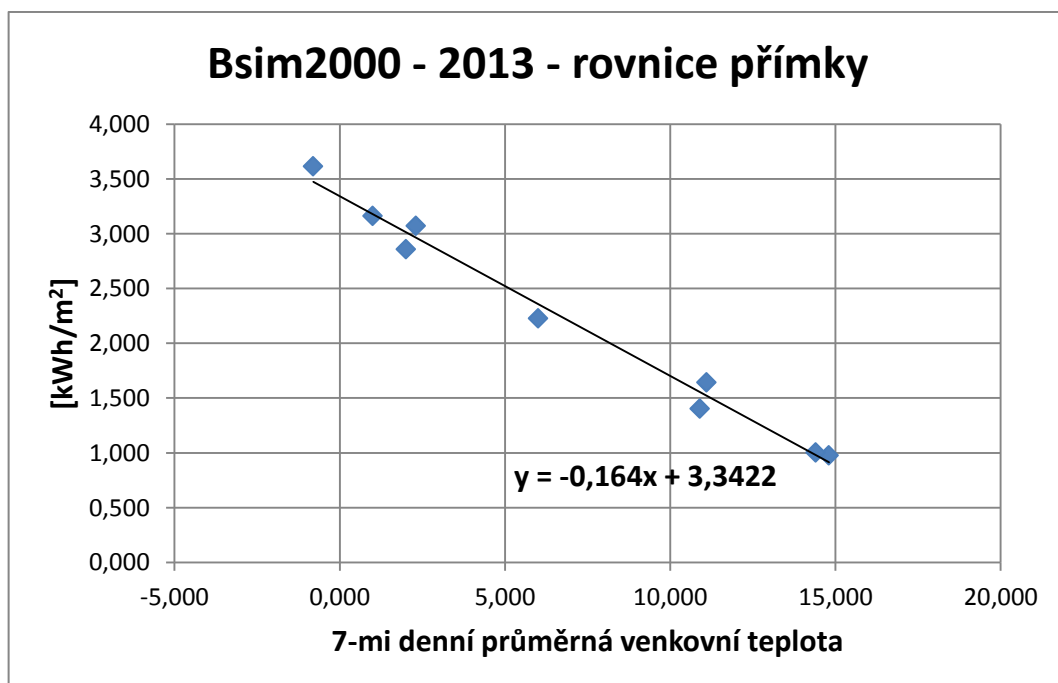
B.4 ET-KŘIVKA PRO BYTOVÝ DŮM

ET-křivku je možné sestavit na základě několika postupů. Jedním postupem může být uplatnění výstupů z NKN II – energetické bilance pro zadaný objekt. Dalším a zároveň relativně nejpřesnějším postupem se jeví sestavit ET-křivku na základě vyúčtování, přičemž kritickým je správné určení venkovních teplot z objektivních zdrojů. V zásadě se jedná o velmi levný a efektivní přístup energetického managementu k vytvoření účinného kontrolního nástroje monitorování dodávky energií v podobě ET-křivky. Dalším možným řešením se nabízí sledování spotřeby dodávaných energií do bytového domu v čase, přičemž je důležité dbát na délku časového intervalu, mít k dispozici kvalitní zdroj venkovních teplot, které je možné přiřadit k časovému intervalu a následně mít přehled o reálné spotřebě dodávaných energií. Při významném nashromáždění dat je možné pomocí metody nejmenších čtverců provést aproximaci přímkou z naměřených bodů. V rámci hledání možných úsporných variant se naopak jeví jako vhodné využití sofistikovanějších programů, například BSim2000, kde je možné v relativně krátkém čase hledat i úsporné varianty pro bytový dům a mimo jiné predikovat různé varianty ET-křivek.

Zvolená referenční ET-křivka pro bytový dům vychází z výstupu programu BSim2000, konkrétně rok 2013.



Graf 14: Porovnání ET-křivek BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav



Graf 15: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2013: rovnice přímky aktuální stav

B.5 NÁVRH A ZHODNOCENÍ ÚSPORNÉ VARIANTY

Návrh možné úsporné varianty spočívá v dokončení tepelné izolace bytového domu. V současné době je na objektu provedeno částečné zateplení obvodového zdiva (na čtyřech štítových zdech), zateplení sklepů a půdních prostorů. Celková plocha, kterou je možné zateplit je 4 101,42 m². Výpočet navrhované úsporné varianty byl proveden pomocí NKN II, kdy se upravily v katalogu konstrukcí nové parametry obvodového zdiva. Byla navržena tepelná izolace Isover EPS 70F 100mm. Celková plocha tepelné izolace byla stanovena s ohledem na požadavek zateplení obvodového zdiva plus přibližně 5 % na prořez. Počet balení byl následně zaokrouhlen na celé číslo.

$$A_{IZ} = 4101,42 * 1,05 = 4306,49m^2$$

$$B_{IZ} = \frac{4306,49}{2,5} = 1722 \approx 1750 \text{ ks} \quad (1.26)$$

Kde:

A_{IZ} je plocha tepelné izolace [m²]

B_{IZ} je počet balení tepelné izolace [ks]

Isover EPS 70F 100 mm

$\lambda_b=0,039 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$



Vyberte požadovanou variantu:

100 mm

Požadované množství

4375 m² = 17 balení Celkové množství
Množství bylo zaokrouhleno na celá balení.

Eshop sleva **40%**

Cena: 151,73 Kč/m² s DPH

Cena celkem: 663 818,75 Kč s DPH

[Ověřit dostupnost](#) Do košíku

| Balení obsahuje (m ²) | (m ³) | Rozměry (mm) | Cena bez DPH (Kč/m ²) |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|
| 2.50 | 0.25 | 1000 x 500 | 125,40 Kč |

Obrázek 20 Tepelná izolace Isover EPS 70F 100mm, 1 750 ks balení [10]

Tabulka 18 Dílčí dodaná energie – stávající stav

| C.3 Hodnocená budova - Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
| | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec | Celkem |
| Vytápění | 324 971 | 266 597 | 221 777 | 132 313 | 56 243 | 21 474 | 7 212 | 7 745 | 62 718 | 148 023 | 240 358 | 298 296 | 1 787 727 |
| Chlazení | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Větrání | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Příprava teplé vody | 37 | 34 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 438 |
| Osvětlení | 7 948 | 6 973 | 7 142 | 6 649 | 6 571 | 6 313 | 6 487 | 6 571 | 6 682 | 7 125 | 7 304 | 7 915 | 83 679 |
| Celkem | 332 957 | 273 604 | 228 956 | 138 998 | 62 851 | 27 823 | 13 736 | 14 353 | 69 437 | 155 185 | 247 698 | 306 248 | 1 871 844 |

Tabulka 19 Dílčí dodaná energie – návrh úsporné varianty

| C.3 Hodnocená budova - Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Dílčí dodaná energie | | | | | | | | | | | | | |
| | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec | Celkem |
| Vytápění | 242 363 | 196 198 | 158 713 | 88 688 | 33 565 | 11 432 | 0 | 3 827 | 39 975 | 103 065 | 177 313 | 222 669 | 1 277 808 |
| Chlazení | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Větrání | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Příprava teplé vody | 37 | 34 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 438 |
| Osvětlení | 7 948 | 6 973 | 7 142 | 6 649 | 6 571 | 6 313 | 6 487 | 6 571 | 6 682 | 7 125 | 7 304 | 7 915 | 83 679 |
| Celkem | 250 348 | 203 204 | 165 892 | 95 372 | 40 173 | 17 781 | 6 524 | 10 436 | 46 693 | 110 228 | 184 653 | 230 621 | 1 361 925 |

Na základě úpravě katalogu stavebních konstrukcí bytového domu v NKN II je patrná z tabulky 19 úspora energie na vytápění 509 919 kWh (1 835,7 GJ). Tedy po úpravě obvodové stavební konstrukce je potřeba o **28,5 %** méně energie na pokrytí tepelných ztrát. Protože NKN II nezohledňuje reálné užívání objektu, tak byla uvažována poměrná úspora energie na vytápění (**28,5 %**), která bude zohledněna v reálném vyúčtování. Ročně je dodáno do bytového domu přibližně 4 500 GJ/rok a s uvažováním teoretické úspory 28,5 % (1 282,5 GJ) to je nově 3 216,5 GJ. Cena za 1GJ byla určena 561,55 Kč/GJ.

Cena za 1m² zateplovacího systému byla obecně určena [11]:

- Isover EPS 70F 100mm 151,73 Kč/m²
- Lepící a stěrková hmota (střední kvalita) 85 Kč/m²
- Armovací tkanina Vertex R131 20 Kč/m²
- Talířová hmoždinka plastový trn 10/210 (6 ks/m²) 35 Kč/m²
- Polystyrenová zátka EPS70mm 15 Kč/m²
- Penetrace pod omítkou 20 Kč/m²
- Silikonová omítka 1,5mm 130 Kč/m²
- Systémové prvky + lišty 60 Kč/m²
- Montážní práce (lepení, stěrkování, omítka) 440 Kč/m² (150 + 150 + 140)
- Lešení (montáž, demontáž, pronájem, doprava) 145 Kč/m²
- Úklid + odvoz sutí 30 Kč/m²

Celkem 1 131,73 Kč/m². Celková plocha je uvažována 4 375 m² (4 951 318,75 Kč).

Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické efektivity investic

| Základní parametry investice | | |
|---|---|--------------------------------|
| Doba životnosti projektu | <input type="text" value="20"/> | [počet let] ??? |
| Celková investice do zařízení | <input type="text" value="4951318,75"/> | [Kč] ??? |
| Úvěr nutný pro pořízení zařízení ??? | | |
| Úvěr (vypůjčená částka) | <input type="text" value="0"/> | [Kč] |
| Úroková sazba | <input type="text" value="0"/> | [%] |
| Doba splácení úvěru | <input type="text" value="0"/> | [počet let] |
| Roční výnos z provozovaného zařízení ??? | | |
| Roční výnos z pořízovaného zařízení | <input type="text" value="720188"/> | [Kč] |
| Roční změna výnosu z pořízovaného zařízení | <input type="text" value="3"/> | [%] |
| Roční náklady na provoz pořízovaného zařízení ??? | | |
| | Roční náklady [Kč] | Roční změna nákladů [%] |
| č. 1 | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |
| č. 2 | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |
| Doplňkové parametry investice | | |
| Diskont - výnos alternativní investice | <input type="text" value="3"/> | % ??? |
| Bude se danit zisk z projektu? ??? | <input checked="" type="radio"/> Ne <input type="radio"/> Ano | |
| <input type="button" value="Vypočítat"/> | | |
| VÝSLEDKY | | |
| NPV - čistá současná hodnota projektu: | 9032914 Kč ??? | |
| Roční ekvivalentní finanční toky investice: | 607154 Kč ??? | |
| Doba návratnosti: | 7 let ??? | |
| Diskontovaná doba návratnosti: | 8 let ??? | |
| IRR - vnitřní výnosové procento investice: | 16 % ??? | |

Autor: Mgr. Tomáš Chadim, FEL ČVUT

Obrázek 21 TZB-info, finanční kalkulátor [12]

Teoretická návratnost investice je za 7 let, přičemž do výpočtu nejsou uvažovány další práce jako například ošetření fasády, osazení hromosvodu, klempířské práce a jiné drobné práce nutných k realizaci samotného zateplení bytového domu.

C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

C.1 CÍLE EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

V experimentální části se zaměřuji na sledování reálné spotřeby energií dodávané do bytového domu. Konkrétně se jedná o teplo pro vytápění a teplo pro ohřev teplé vody. Na základě odečtů dodávky energií pravidelných intervalech, se předpokládá vynesení bodů do grafu s referenční Et-křivkou (BSim2000, výpočet pro rok 2013). Z vynesených bodů je možné vygenerovat reálný průběh Et-křivky a následně provést porovnání s predikovanou Et-křivkou.

V druhé části je sledováno interní mikroklima vybraných prostorů bytového domu. Vybrány byly společné prostory (tři sledovaná místa) a dvě bytové jednotky.

C.2 MĚŘENÍ REÁLNÉ SPOTŘEBY ENERIGIÍ

C.2.1 ENERGY INT 6

Jedná se o elektronické počítadlo tepla, které ve spojení s průtokoměrem a teplotními čidly měří tepelnou/chladicí energii. Princip měření energie spočívá ve vysílání impulzů z vysílače průtokoměru, kdy se současně zaznamenají teploty z jednotlivých instalovaných teplotních čidel. Z teplotního rozdílu, průtoku a příslušných teplotních koeficientů se vypočte hodnota tepelné energie, která se následně uloží do interní paměti měřícího zařízení.



Obrázek 22 Energy INT 6

Přístroj je schopen zobrazit energii v jednotkách MWh (megawatthodiny), kWh (kilowatthodiny), GJ (gigajouly), Gcal (gigacalorie) a MBtu (British thermal unit / Britská tepelná jednotka).

C.2.2 SHARKY 775

SHARKY 775 je kompaktní ultrazvukový měřič tepla určený k měření tepelné energie nebo chladicí energie. Ultrazvukový průtokoměr využívá pro měření rychlosti průtoku tekutiny v potrubí ultrazvukového vlnění. Princip měření spočívá v tom, že se ze dvou, za sebou umístěných vysílačů ve směru proudění vysílají ultrazvukové signály. Jeden vysílač vysílá ultrazvukový signál po směru proudění a druhý proti směru proudění tekutiny. Rozdíl mezi dobou průchodu obou signálů k druhému vysílači je úměrný rychlosti proudění tekutiny. Teplotní čidla monitorují v pravidelných intervalech teplotu tekutiny, které se zaznamená do interní paměti. Kalorimetrické počítadlo následně vyhodnotí množství dodané energie, která se po vyhodnocení uloží do interní paměti přístroje.



Obrázek 23 SHARKY 775

C.2.3 COMERT LOGGER S3120

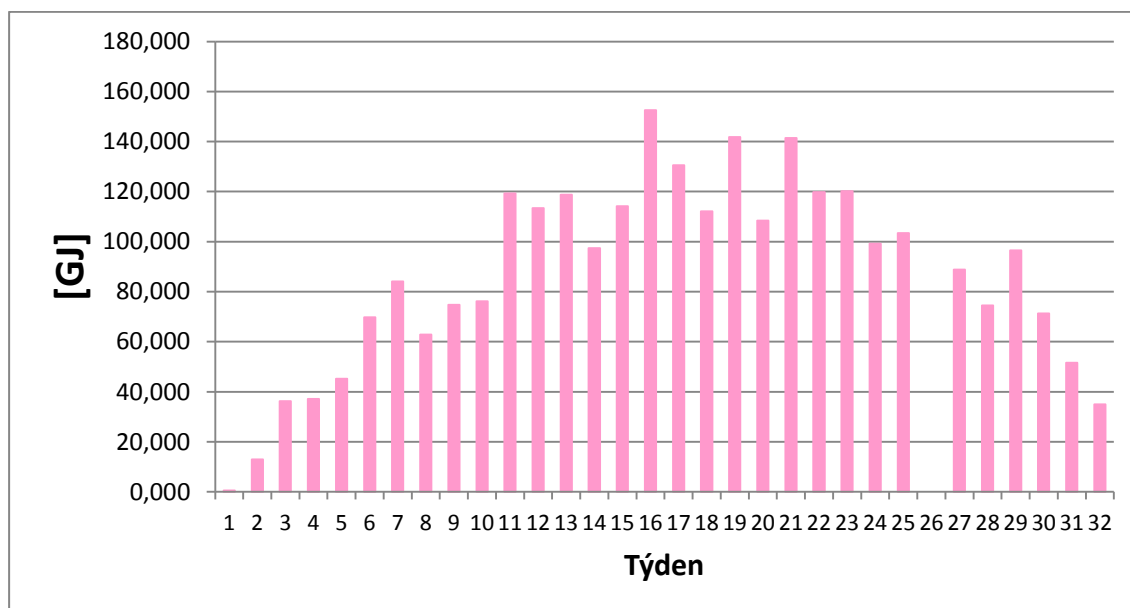
Datalogger COMET logger S3120 je měřicí přístroj určen k zaznamenání teploty interiéru a relativní vlhkosti. Další graficky zobrazenou veličinou je teplota rosného bodu, která je pak dopočítána.



Obrázek 24 Comet logger S3120

C.2.4 TEPLO PRO VYTÁPĚNÍ

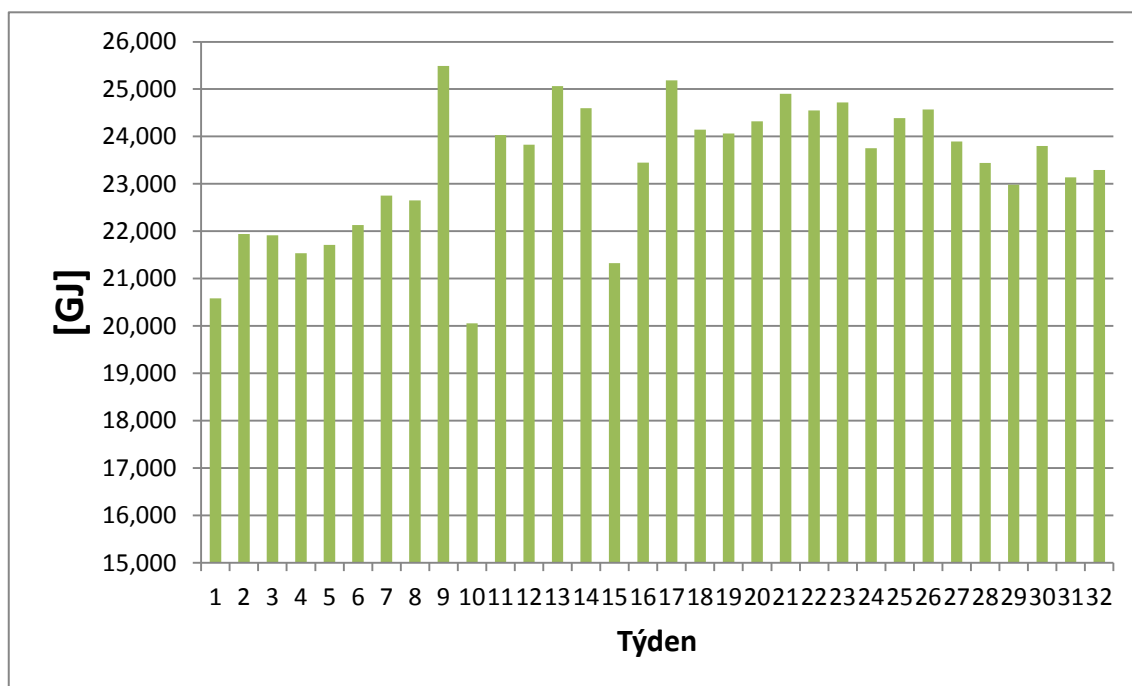
Pravidelné odečty dodané energie pro vytápění do bytového domu probíhaly v období od 22. 9. 2014 do 27. 4. 2015 v pravidelném týdenním intervalu. Celkem proběhlo 32 odečtů (tomu odpovídá 32 týdnů), kdy tepelná energie byla zaznamenána v jednotkách GJ. V týdnu 16. 3. 2015 došlo k výměně měřícího zařízení a tedy nebylo možné zaznamenat dodanou tepelnou energii. Bod 26 nebude do výpočtu reálné Et-křivky zahrnut.



Graf 16: Tepelná energie pro vytápění bytového domu

C.2.5 TEPLA PRO PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Současně s pravidelnými odečty dodané energie pro vytápění do bytového domu probíhaly odečty i tepelné energie pro přípravu teplé vody. Celkem proběhlo 32 odečtů (tomu odpovídá 32 týdnů), kdy tepelná energie byla zaznamenána v jednotkách GJ.

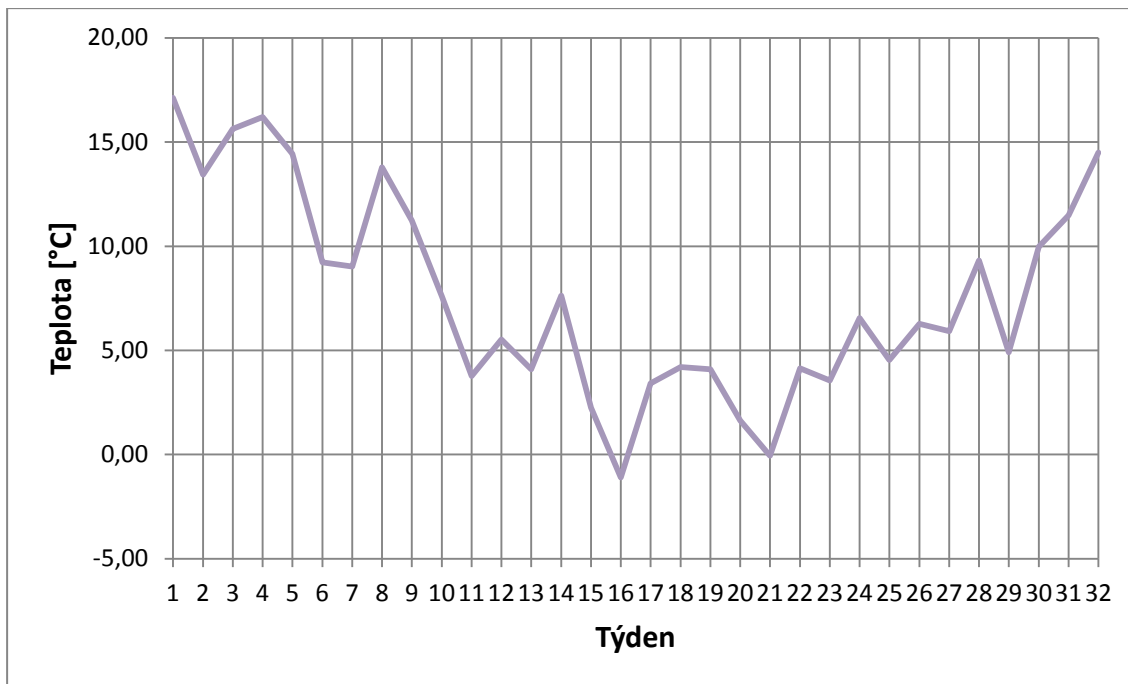


Graf 17: Tepelná energie pro přípravu teplé vody v bytovém domě

Průměrně za jeden týden je potřeba $23,38 \pm 1,38$ GJ tepelné energie na přípravu teplé vody.

C.2.6 VENKOVNÍ PRŮMĚRNÉ TEPLoty

Jako druhý zdroj venkovním teplot, k venkovním teplotám naměřených meteostanicí FAST VUT, byly teploty poskytnuté z měřící meteostanice společnosti Teplárny Brno a.s. Teploty byly zpracovány z denních průměrných teplot na průměrné týdenní teploty, tak, aby bylo možné vynášet body k vypočtené Et-křivce.



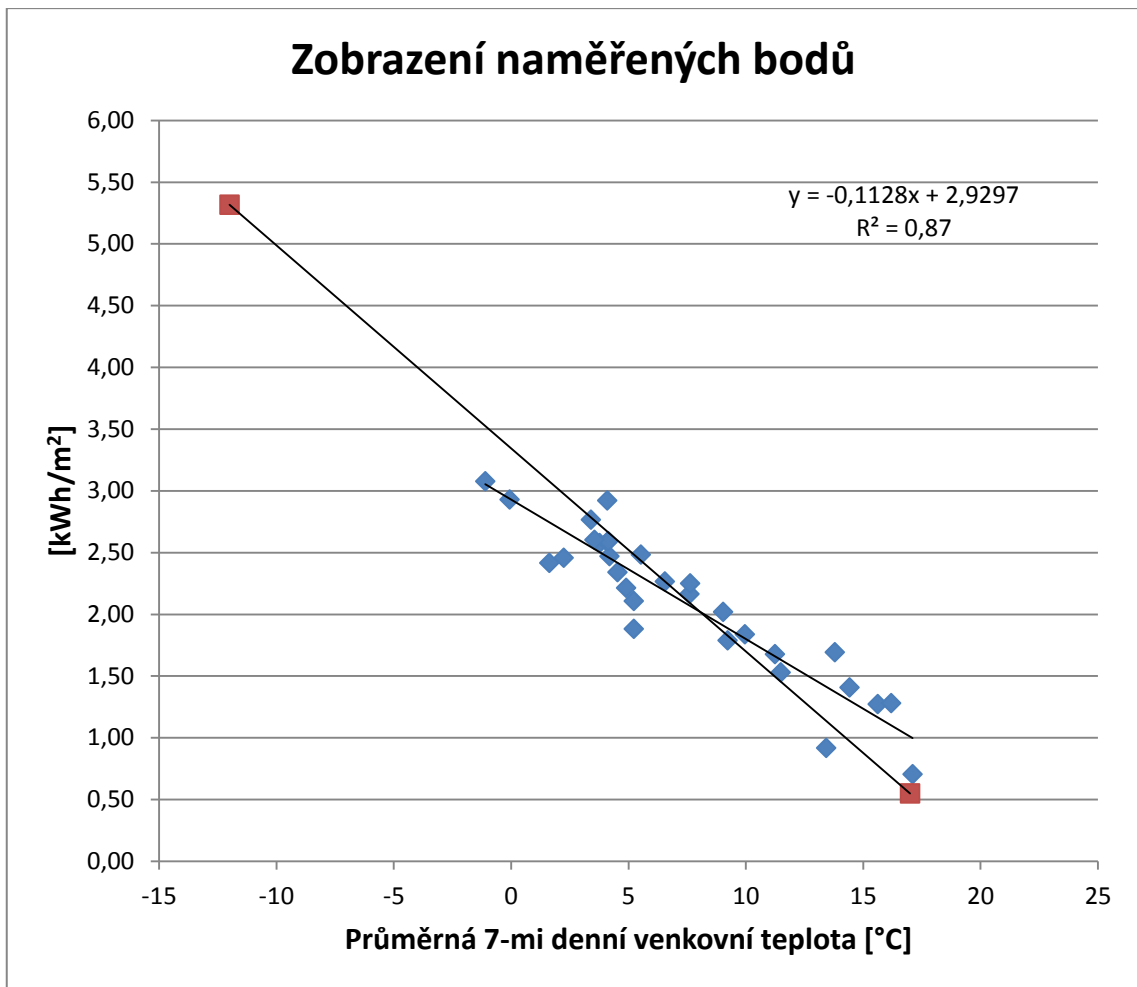
Graf 18: Průměrné (týdenní) venkovní teploty

C.2.7 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Regresní přímku z vynesných bodů jsem vyhodnotil metodou nejmenších čtverců, kdy se předpokládá lineární funkce křivky $y = ax + b$.

Následně po dosazení bodů získáme soustavu lineárních rovnic s neznámými koeficienty a , b . Po vyřešení úlohy lineárních rovnic získáme koeficienty a , b do rovnice přímky $y = ax + b$. V grafu 19 je zobrazená vypočtená rovnice přímky z vynesných bodů. Přímka v grafu 19 vynesná červenými body znázorňuje výstup ze simulace BSim2000 pro rok 2013. Souřadnici bodu „ x “ tvoří průměrné venkovní teploty a souřadnici „ y “ tvoří dodanou energii do bytového domu na jednotkovou plochu, kdy je přistoupeno k součtu dílčích energií (po přepočtu na stejné fyzikální jednotky):

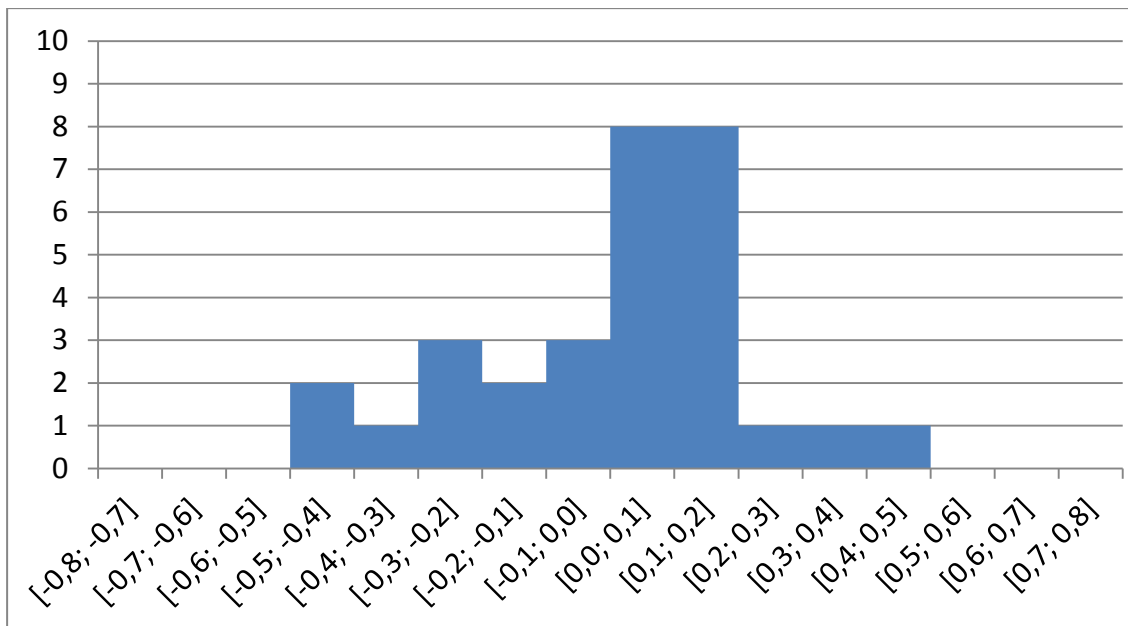
- Energie pro vytápění [kWh/m²]
- Energie pro přípravu teplé vody [kWh/m²]
- Elektrická energie [kWh/m²]



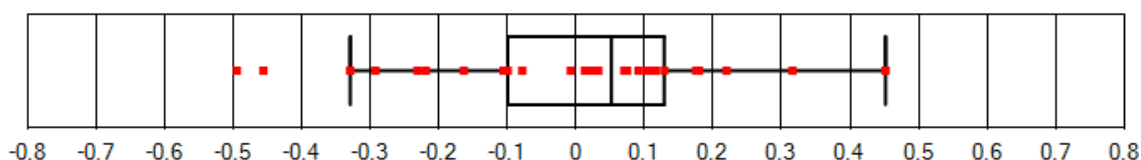
Graf 19: Vypočtená Et-křivka z vynesných bodů a porovnání s vypočtenou křivkou

C.2.8 VYHODNOCENÍ VZDÁLENOSTI BODŮ OD ET-KŘIVKY

Z rovnice přímky v obecném tvaru a souřadnic jednotlivých bodů $A_i [x_i ; y_i]$ byly dpočítány vzdálenosti bodů od přímky. Z vypočtených vzdáleností byl sestaven histogram, kdy osa „x“ vymezuje intervaly vzdálenosti bodu od přímky a osa „y“ reprezentuje četnost výskytu bodů v intervalu. Základní interval byl zvolen $0,1 \text{ kWh/m}^2$.



Graf 20: Histogram vzdáleností bodů od vypočtené Et-křivky

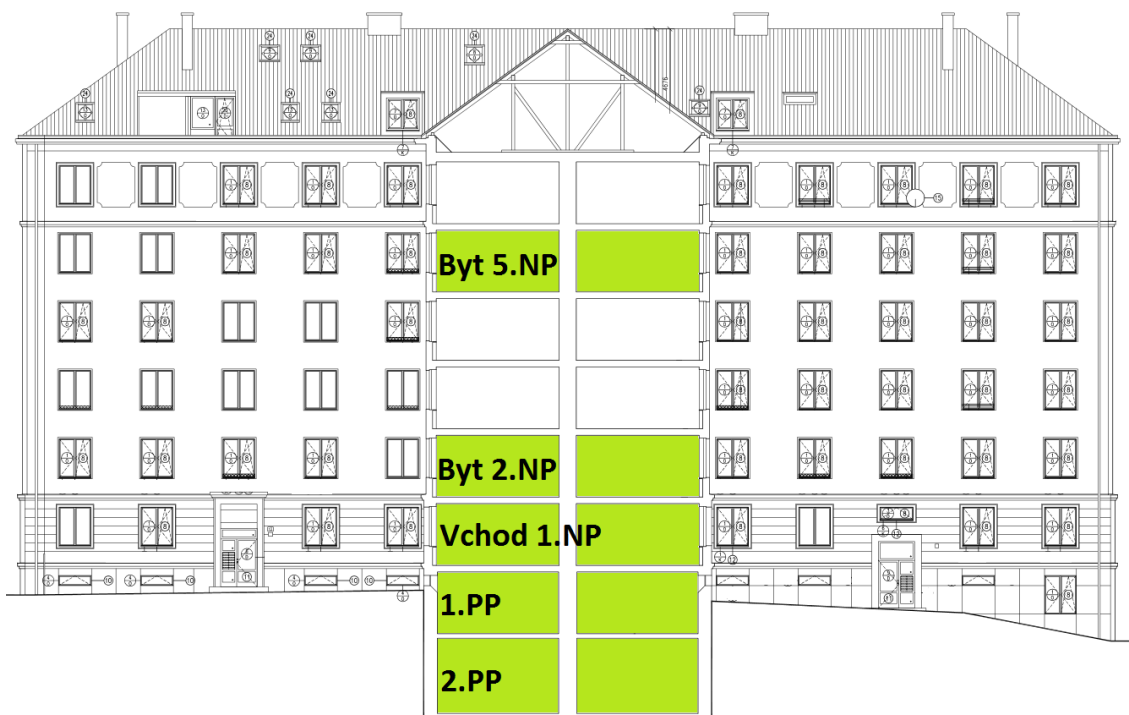


Graf 21: Krabicový graf

K vyhodnocení množiny bodů byl použit krabicový graf. Vyhodnocení bodů je založeno na základě kvantilových podmínek, kdy se porovnává vzdálenost bodů od hlavní množiny bodů vymezených dolním (x_{25}) a horním (x_{75}) kvantilem. Body mimo hranice minima a maxima krabicového grafu znamenají, že jejich poloha je natolik vzdálená od hlavní množiny bodů (oblast dolního (x_{25}) a horního (x_{75}) kvantilu), že vykazují jinou než obvyklou dodávku energie do bytového domu. Je nutné také dodat, že vzdálenost bodů od nuly je $\pm 0,5 \text{ kWh/m}^2$, tedy tyto body nutně nemusejí znamenat odchylku v dodávce tepla do objektu, ale pouze mohou vykazovat například změnu užívání objektu v konkrétním týdnu vzhledem k běžnému užívání objektu.

C.3 INTERNÍ MIKROKLIMA VYBRANÝCH PROSTORŮ

V bytovém domě bylo zvoleno celkem pět stanovišť, na kterých se provádělo měření teploty a relativní vlhkosti v období od 19. 12. 2014 do 12. 1. 2015. Měření probíhalo ve dvou bytech, které se nacházejí ve druhém a pátém nadzemním podlaží a na třech místech ve společných prostorech. Ve společných prostorech byla zvolena obě podzemní podlaží a první nadzemní podlaží, které zahrnuje hlavní vchod do objektu.

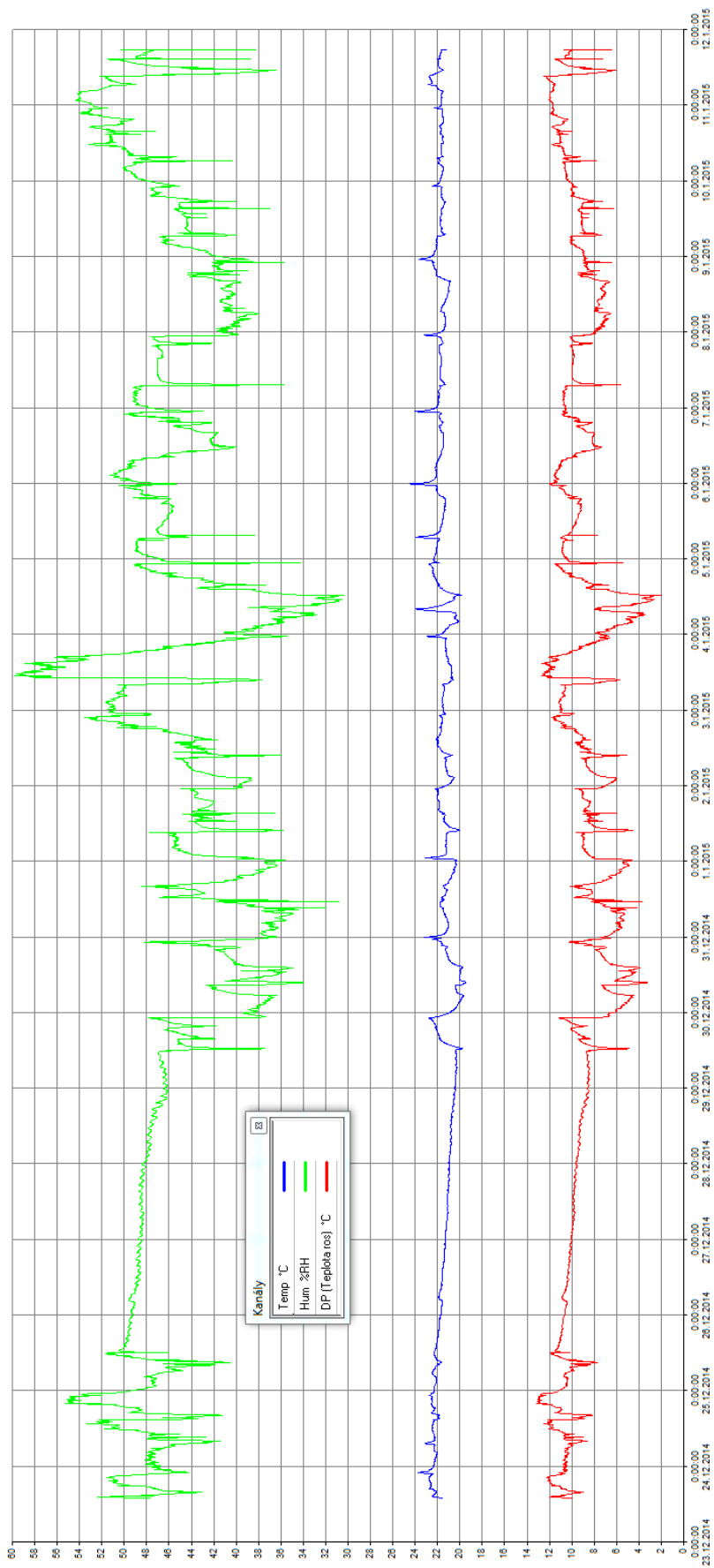


Obrázek 25 Schéma znázorňující umístění měřících zařízení ve výškovém rozložení objektu

C.3.1 PŮRBĚHY TEPLOT A RELATIVNÍ VLHKOSTI

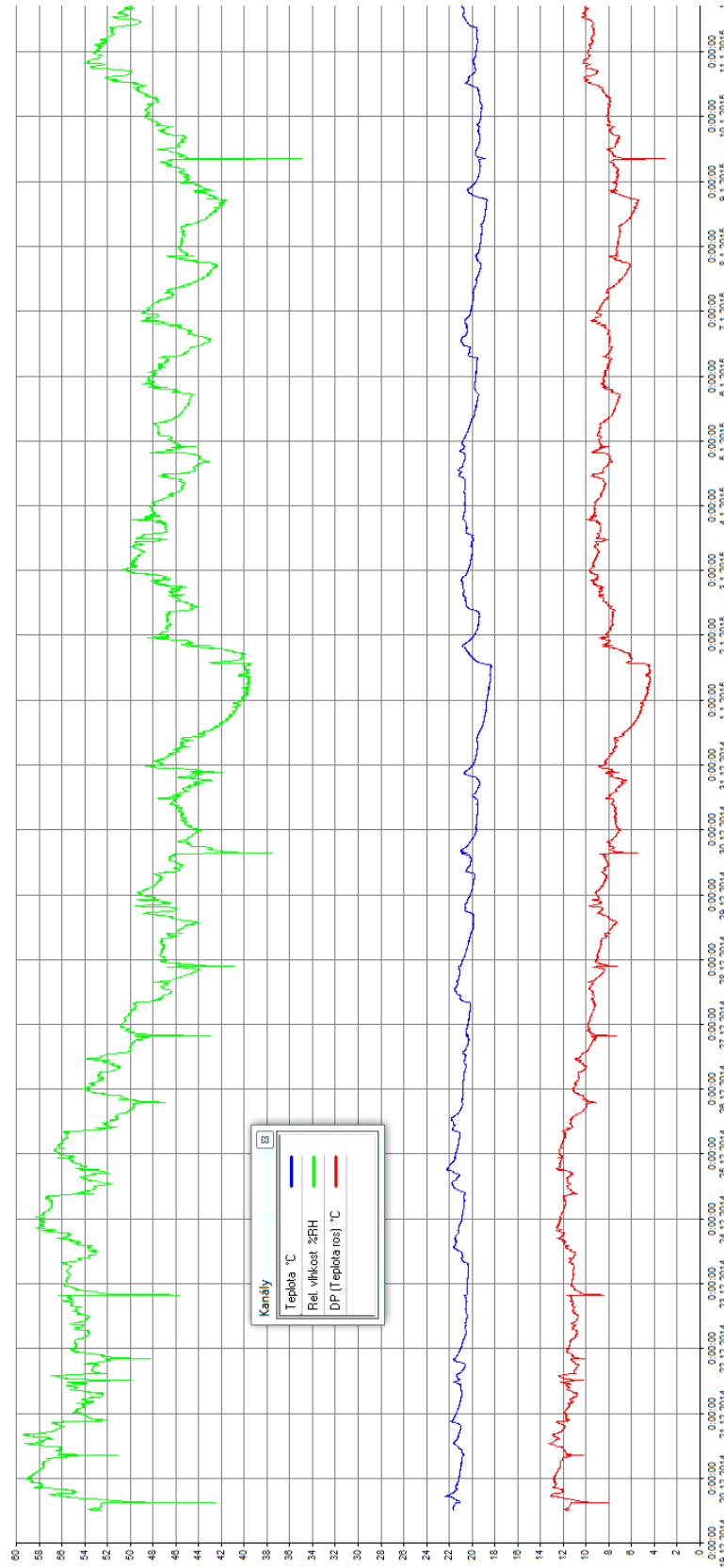
C.3.1.1 BYTOVÁ JEDNOTKA 5. NP

Ve vybrané bytové jednotce probíhalo měření od 23. 12. 2014 do 12. 1. 2015. K měření této bytové jednotky bylo přistoupeno dodatečně v průběhu již započatého měření interního mikroklimatu na čtyřech vybraných místech. Z obrázku 27 je patrné, že v období od 25. 12. 2014 do 29. 12. 2014 nedochází k oscilaci vnitřní teploty v bytové jednotce, která by byla způsobena přítomností osob nebo užíváním domácích elektrických spotřebičů.



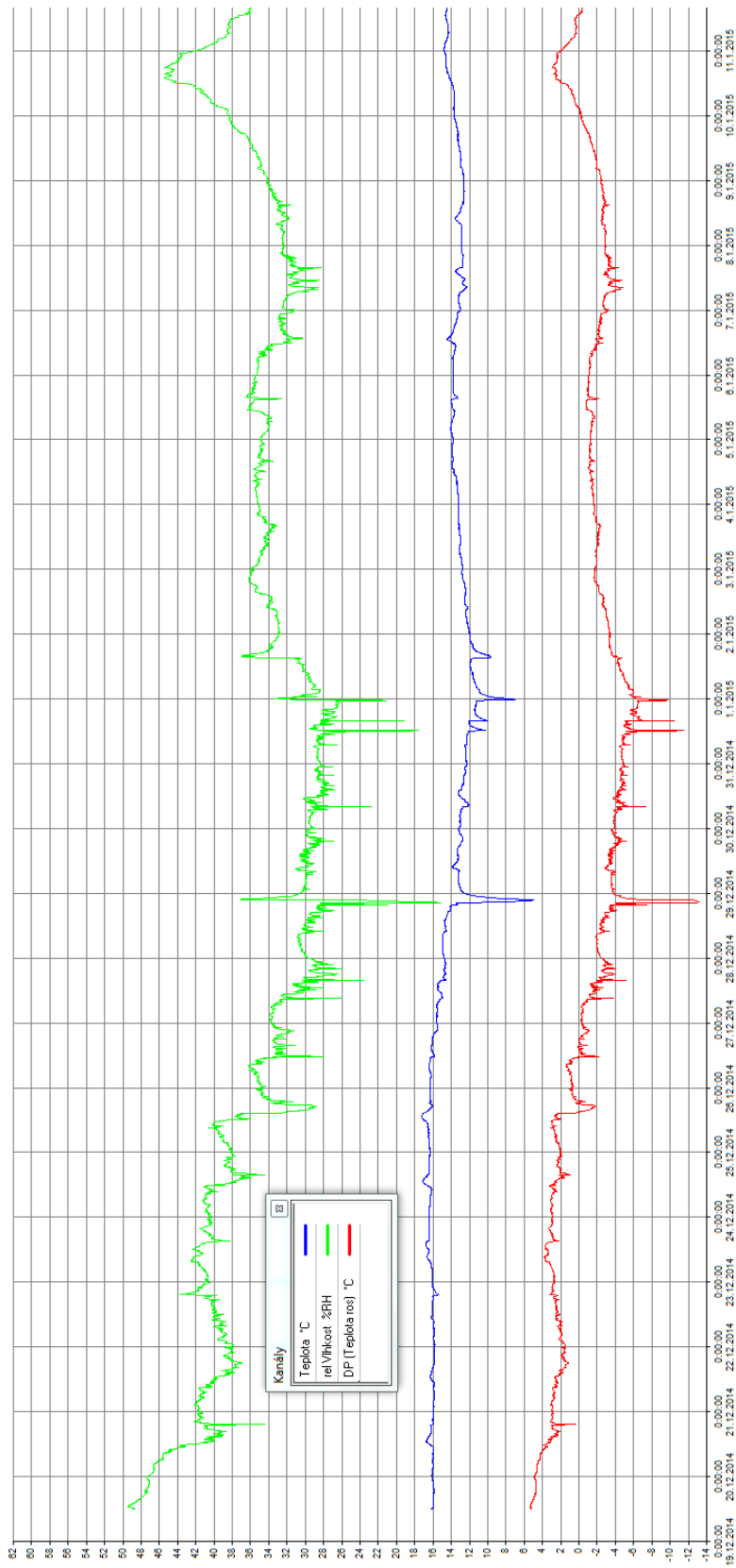
Graf 22: Bytová jednotka 5. NP

C.3.1.2 BYTOVÁ JEDNOTKA 2. NP



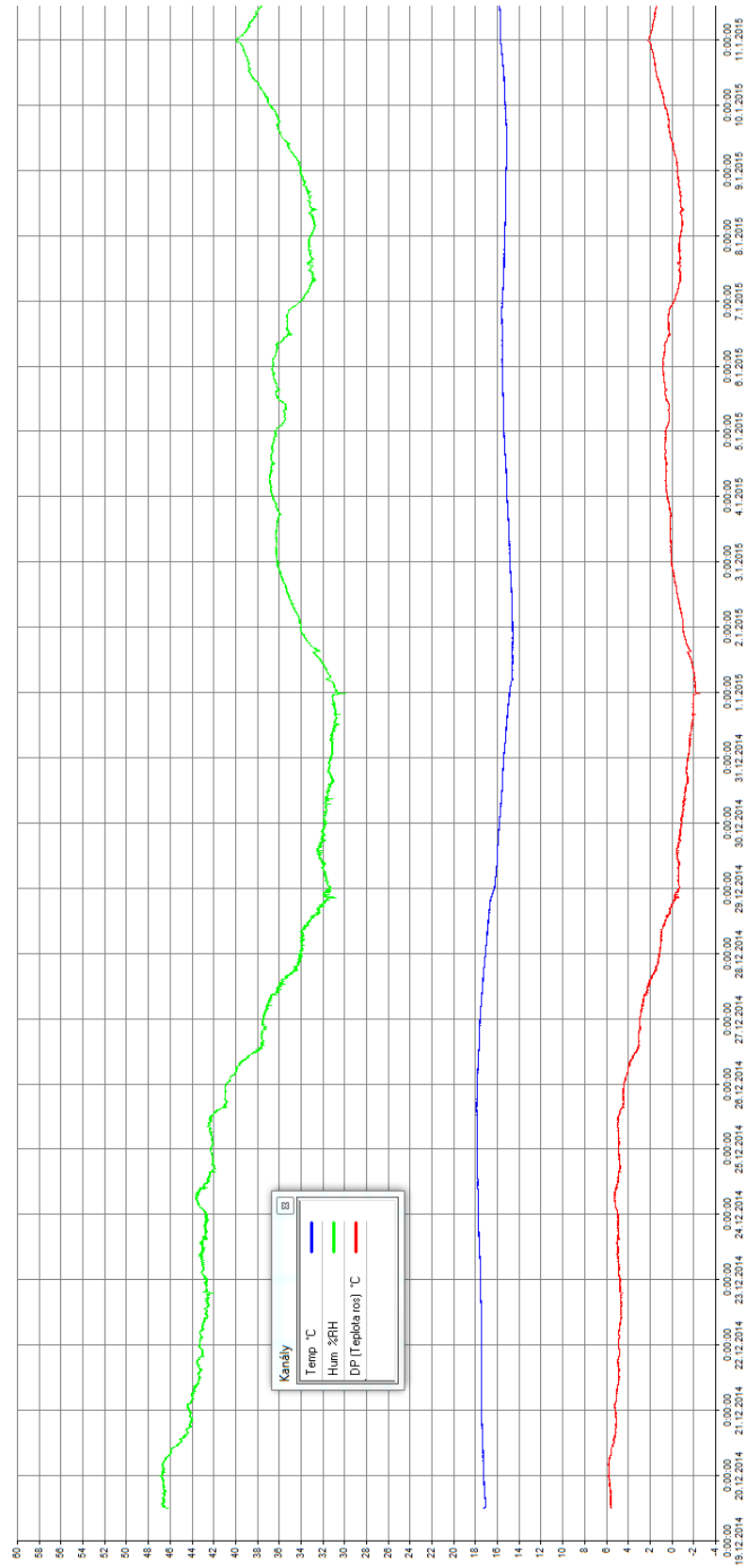
Graf 23: Bytová jednotka 2. NP

C.3.1.3 SPOLEČNÉ PROSTORY 1. NP



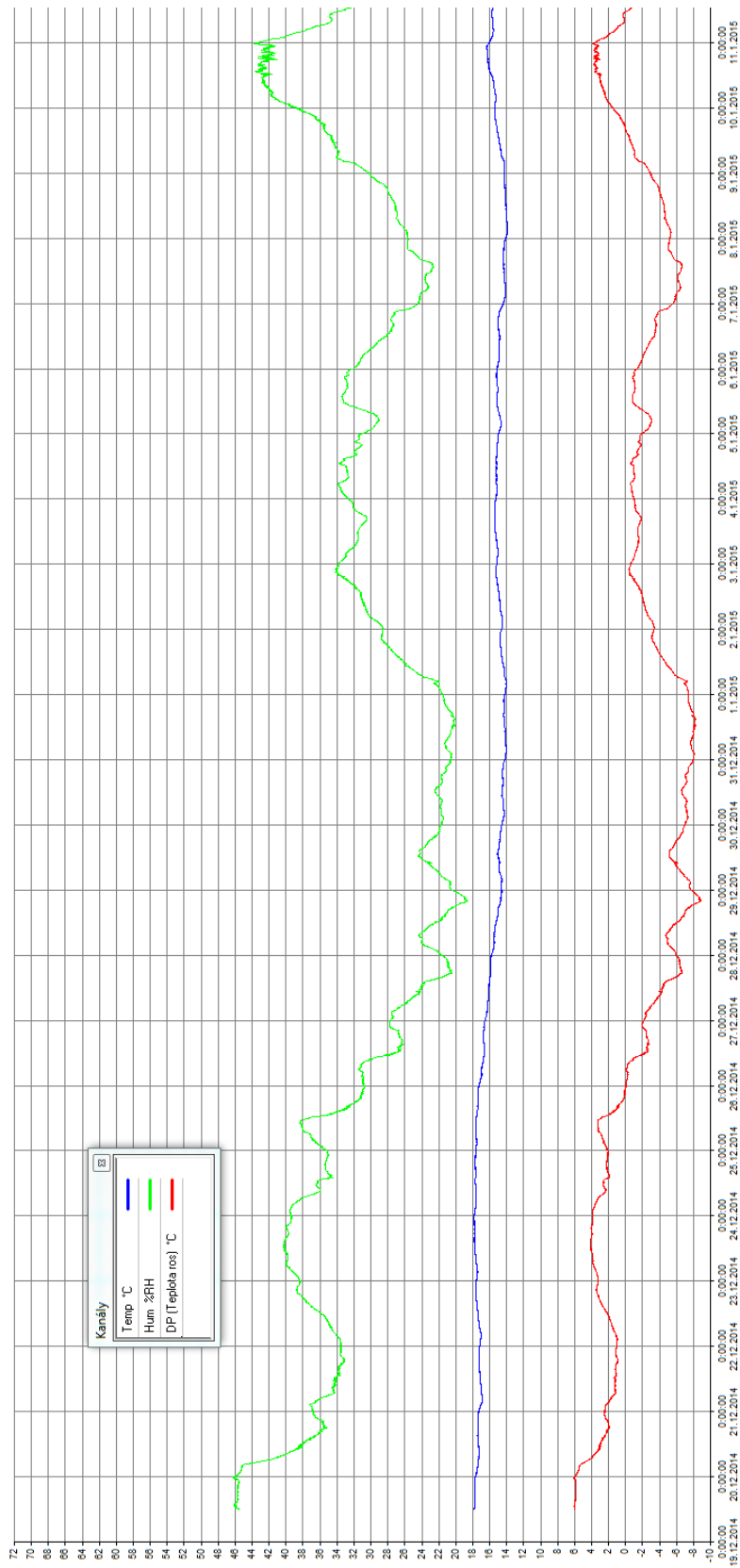
Graf 24: Společné prostory 1. NP

C.3.1.4 SPOLEČNÉ PROSTORY 1. PP



Graf 25: Společné prostory 1. PP

C.3.1.5 SPOLEČNÉ PROSTORY 2. PP



Graf 26: Společné prostory 2. PP

D. ZÁVĚR

Cílem práce byl výpočet Et-křivky pro zadaný bytový dům. K výpočtu bylo přistoupeno třemi různými přístupy, kdy byly uplatněny dva rozdílné výpočetní nástroje a vyúčtovací období. NKN II vychází z předem definovaných výpočetních postupů (vyhlášky, TNI, ČSN), zatímco výpočet pomocí softwaru BSim2000 je založen na reálných okrajových podmínkách a jsou uplatněny numerické postupy výpočtu.

V experimentální části jsem se zaměřil na měření spotřeb energií a následné jejich vyhodnocení. Vyhodnocení množiny bodů nevykazuje významné odchylky v dodávce energií do bytového domu ve sledovaném období.

E. POUŽITÉ ZDROJE

1. **Binder, Ing. Pavel.** Energetický Management jako nedílná součást Facility Managementu - TZB-info. *www.TZB-info.cz*. [Online] 17. říjen 2013. [Citace: 26. říjen 2014.] <http://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0104/010463o3.png>. ISSN 1801-4399.
2. <http://domat-int.com/>. *domat control system*. [Online] 2013. [Citace: 30. prosinec 2014.] <http://domat-int.com/systemova-reseni/contport>. ISSN 1801-4399.
3. **Urban, Ph.D., Ing. Miroslav a Kabele, CSc., prof. Ing. Karel.** NKN II. *Hodnocení energetické náročnosti budov*. [Online] katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, ČVUT, 2014. [Citace: 30. prosinec 2014.] <http://nkn.fsv.cvut.cz/download-nkn>. ISSN 1801-4399.
4. **BSim2000.** Literature. *Danish building research institute*. [Online] 21. únor 2013. [Citace: 30. prosinec 2014.] <http://sbi.dk/en/bsim/literature>. ISSN 1801-4399.
5. Předpis č. 406/200 Sb. *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, 25. říjen 2000. [Citace: 30. prosinec 2014.] <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>. ISSN 1801-4399.
6. Předpis č. 78/2013 Sb. *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, 22. březen 2013. [Citace: 30. prosinec 2014.] <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>. ISSN 1801-4399.
7. TNI 730331. *Hodnocení energetické náročnosti budov*. [Online] katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, ČVUT, 2014. [Citace: 30. prosinec 2014.] <http://nkn.fsv.cvut.cz/tni-730331>. ISSN 1801-4399.
8. **Urban, Ph.D., Ing. Miroslav.** NKN. *Manuál pro využití výpočetního nástroje NKN*. [Online] ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov, zaří 2010. [Citace: 30. prosinec 2014.] http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni_materialy/eabi/mur_skripta_ib.pdf. ISSN 1801-4399.
9. Meteorologická stanice FAST VUT V Brně. *Meteostanice VUT Brno*. [Online] [Citace: 30. prosinec 2014.] <http://www.fce.vutbr.cz/vhk/meteo.html>. ISSN 1801-4399.
10. Isover TF PROFI 100mm. *Isover*. [Online] Divize Isover, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. [Citace: 16. květen 2015.] <http://www.isover-eshop.cz/isover-tf-profi?v=637>. ISSN 1801-4399.
11. Zateplení fasády cena za m2. *Zofi fasády*. [Online] Zofi fasády s.r.o., 2011. [Citace: 20. květen 2015.] <http://www.zatepleni-fasad.eu/vse-o-zatepleni/zatepleni-fasady-cena-za-m2/>. ISSN 1801-4399.
12. tabulky a výpočty. *Finanční kalkulator*. [Online] Topinfo s.r.o., 2001-2015. [Citace: 16. květen 2015.] <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>. ISSN 1801-4399.

F. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

NKN II – Národní kalkulační nástroj II, verze 3.051, březen 2014

TZB – Technická zařízení budov

ČSN – Česká technická norma

TNI – Technické normalizační informace

CZT – Centrální zásobování teplem

DIN – Německá národní norma

VZT – Vzduchotechnické systémy

NP – Nadzemní podlaží

Fyzikální veličiny

E, Q – Energie [MWh], [kWh], [GJ], [Gcal], [MBtu]

t, Θ – teplota [°C]

H – měrná tepelná ztráta [W/K]

U – součinitel prostupu tepla [W/m².K]

A – plocha [m²]

b – činitel teplotní redukce [-]

l – délka [m]

ψ – lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]

χ – bodový činitel prostupu tepla [W/m.K]

η – účinnost [-]

e – měrná elektrická energie [Ws/m³]

q – měrná energie za den [kWh/m²d]

V – Objem [m³]

ρ – hustota [kg/m³]

c – měrná tepelná kapacita [J/kg.K]

d – tloušťka [m]

λ – součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]

R – tepelný odpor [m².K/W]

g – součinitel propustnosti [-]

Indexy

i – interiér, pořadí

z – zóna

iu – prostup tepla do interiéru

eu – prostup tepla do exteriéru

e – exteriér

t_{bm} – tepelné vazby

id – ideální výsek konstrukce

H – roční dodaná energie, vytápění

C – roční dodaná energie, chlazení

F – roční dodaná energie, vlhčení

W – roční dodaná energie, teplá voda
L – roční dodaná energie, osvětlení
PV – roční produkce energie, fotovoltaický systém
CHP – kombinovaná výroba elektřiny a tepla
j – časový interval
kce – konstrukce
sol – radiace, sluneční záření
inf – infiltrace
vzt – vzduchotechnická jednotka
h – hodina
pl – plocha

G. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Schéma energetického managementu [1]..... | 16 |
| Obrázek 2 Et-křivka – varianta 1 | 17 |
| Obrázek 3 Et-křivka – varianta 2 | 18 |
| Obrázek 4 Princip výpočtu dodané energie do budovy [8]..... | 21 |
| Obrázek 5 Postup výpočtu potřeby energie na vytápění [8] | 23 |
| Obrázek 6 Postup výpočtu potřeby energie na ohřev teplé vody [8]..... | 29 |
| Obrázek 7 Řešený bytový dům..... | 32 |
| Obrázek 8 Orientace průsvitných konstrukcí..... | 36 |
| Obrázek 9 Ukázka půdorysu jednoho „vchodu“ | 41 |
| Obrázek 10 Model celého jednoho „vchodu“ | 42 |
| Obrázek 11 Model celého bytového domu | 43 |
| Obrázek 12 Náhled katalogu materiálů – definování vnitřního zdiva..... | 44 |
| Obrázek 13 Náhled katalogu konstrukcí – skladba okna | 44 |
| Obrázek 14 Profil Equipment v programu BSim: Obyvatelná zóna – spotřebiče | 46 |
| Obrázek 15 Profil Heating v programu BSim: nastavení zdroje tepla..... | 47 |
| Obrázek 16 Profil PeopleLoad v programu BSim: Obyvatelná zóna – přítomnost osob..... | 48 |
| Obrázek 17 Profil PeopleLoad v programu BSim: Neobyvatelná zóna – přítomnost osob..... | 49 |
| Obrázek 18 Profil Equipment v programu BSim: Provozovny – spotřebiče..... | 50 |
| Obrázek 19 Profil PeopleLoad v programu BSim: Provozovny – přítomnost osob..... | 51 |
| Obrázek 20 Tepelná izolace Isover EPS 70F 100mm, 1 750 ks balení [10] | 62 |
| Obrázek 21 TZB-info, finanční kalkulačtor [12] | 64 |
| Obrázek 22 Energy INT 6..... | 66 |
| Obrázek 23 SHARKY 775..... | 67 |
| Obrázek 24 Comet logger S3120..... | 68 |
| Obrázek 25 Schéma znázorňující umístění měřících zařízení ve výškovém rozlišení objektu | 73 |

Tabulky

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 Účinnost zpětného získávání tepla VZT systému [8] | 26 |
| Tabulka 2 Měrná potřeba elektřiny pro ventilátory systému mechanického větrání $e_{ahu,sys}$ [8] 26 | 26 |
| Tabulka 3 Měrná denní potřeba energie na přípravu teplé vody [8] | 27 |
| Tabulka 4 Měrné potřeby teplé vody pro nebytové budovy [8]..... | 29 |
| Tabulka 5 Přehled hodnot součinitele prostupu tepla U | 33 |
| Tabulka 6 Typické hodnoty celkové propustnosti sluneční energie zasklení pro záření dopadající kolmo k povrchu | 35 |
| Tabulka 7 Dílčí dodaná energie – stávající stav..... | 37 |
| Tabulka 8 Energie dodaná na jednotkovou plochu NKN II – stávající stav | 38 |
| Tabulka 9 Dílčí dodaná energie – původní stav | 38 |
| Tabulka 10 Energie dodaná na jednotkovou plochu NKN II – původní stav | 38 |
| Tabulka 11 Elektrické spotřebiče pro bytovou jednotku | 45 |

| | |
|---|----|
| Tabulka 12 Doba provozu spotřebičů v čase | 46 |
| Tabulka 13 Přehled měřených veličin – meteorologická stanice FAST VUT v Brně..... | 52 |
| Tabulka 14 Přehled veličin – klimatická data BSim2000..... | 52 |
| Tabulka 15 Energie dodaná na jednotkovou plochu BSim2000 – aktuální stav 2011..... | 54 |
| Tabulka 16 Energie dodaná na jednotkovou plochu BSim2000 – aktuální stav 2012..... | 55 |
| Tabulka 17 Energie dodaná na jednotkovou plochu BSim2000 – aktuální stav 2013..... | 57 |
| Tabulka 18 Dílčí dodaná energie – stávající stav | 63 |
| Tabulka 19 Dílčí dodaná energie – návrh úsporné varianty | 63 |

Grafy

| | |
|---|----|
| Graf 1: Porovnání NKN II aktuální stav a před stavební úpravou | 39 |
| Graf 2: NKN II – ET-křivka: rovnice přímkou původní stav | 39 |
| Graf 3: NKN II – ET-křivka: rovnice přímkou stávající stav | 40 |
| Graf 4: Porovnání NKN II – ET-křivka: aktuální stav a původní stav..... | 40 |
| Graf 5: Porovnání BSim2000 aktuální stav a vyúčtování pro rok 2011..... | 54 |
| Graf 6: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2011: rovnice přímkou aktuální stav..... | 55 |
| Graf 7: Porovnání BSim2000 aktuální stav a vyúčtování pro rok 2012..... | 56 |
| Graf 8: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2012: rovnice přímkou aktuální stav..... | 56 |
| Graf 9: Porovnání BSim2000 aktuální stav a vyúčtování pro rok 2013..... | 57 |
| Graf 10: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2013: rovnice přímkou aktuální stav..... | 58 |
| Graf 11: Porovnání vytápění: BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav pro rok 2011..... | 58 |
| Graf 12: Porovnání vytápění: BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav pro rok 2012..... | 59 |
| Graf 13: Porovnání vytápění: BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav pro rok 2013..... | 59 |
| Graf 14: Porovnání ET-křivek BSim2000, vyúčtování a NKN II – aktuální stav..... | 61 |
| Graf 15: BSim2000 – ET-křivka pro rok 2013: rovnice přímkou aktuální stav..... | 61 |
| Graf 16: Tepelná energie pro vytápění bytového domu..... | 68 |
| Graf 17: Tepelná energie pro přípravu teplé vody v bytovém domě | 69 |
| Graf 18: Průměrné (týdenní) venkovní teploty..... | 70 |
| Graf 19: Vypočtená Et-křivka z vnesených bodů a porovnání s vypočtenou křivkou | 71 |
| Graf 20: Histogram vzdáleností bodů od vypočtené Et-křivky | 72 |
| Graf 21: Krabicový graf | 72 |
| Graf 22: Bytová jednotka 5. NP..... | 74 |
| Graf 23: Bytová jednotka 2. NP..... | 75 |
| Graf 24: Společné prostory 1. NP..... | 76 |
| Graf 25: Společné prostory 1. PP | 77 |
| Graf 26: Společné prostory 2. PP | 78 |

PŘÍLOHY

- Příloha č. 1: Výstup NKN II, PENB – původní stav bytového domu
- Příloha č. 2: Výstup NKN II, PENB – současný stav bytového domu
- Příloha č. 3: Výstup ze simulace softwaru BSim2000, rok výpočtu 2013
- Příloha č. 4: Výstup ze simulace softwaru BSim2000, rok výpočtu 2012
- Příloha č. 5: Výstup ze simulace softwaru BSim2000, rok výpočtu 2011
- Příloha č. 6: výkres, funkční schéma výměňkové stanice