



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**Modelování nákladů rodinného domu na teplo
z konvenčních zdrojů**

**Modelling the costs on heating
from the conventional resources**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení elektrotechniky

Vedoucí práce: Prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.

Lukáš Ferfecki

PRAHA 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Ferfecki Lukáš

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management
Obor: ekonomika a řízení elektrotechniky

Název tématu: Modelování nákladů rodinného domu na teplo z konvenčních zdrojů

Pokyny pro vypracování:

- vytvoření modelu pro výběr optimálního energetického řešení rodinných domků
 - vytvoření DB produktů a jejich cen
- citlivostní analýza vývoje nákladů na provoz domu
- softwarová implementace navržených modelů

Seznam odborné literatury:

Garlík B.: Inteligentní budovy, BEN 2012, ISBN 9788073004008

Murtinger K.: Úsporný rodinný dům, Grada Publishing, 2013

Vedoucí diplomové práce: Prof.Ing. Oldřich Starý, CSc. – ČVUT FEL – K 13116

Platnost zadání: do 1. srpna 2015

L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 22.6.2015

Abstrakt

Náplní diplomové práce je návržení a vytvoření aplikace k modelování nákladů na vytápění objektů z konvenčních zdrojů v programovém prostředí Matlab.

V teoretické části se práce věnuje popisu ekonomických parametrů čisté současné hodnotě (NPV) a ekvivalentním ročním nákladům (EAC). Dále technickým parametrům modelu tepelné ztráty objektu a návaznému výpočtu potřebného tepla k vytápění. Vypočtené hodnoty EAC slouží k posouzení jednotlivých variant technického zařízení budov (TZB) v modelu.

V praktické části je popsán postup návrhu a popisu funkčnosti aplikace. Je věnován prostor programovému prostředí MEX - Matlab [3]. Model je konfigurován z databáze MySQL [4] a grafického rozhraní Matlab.

V závěrečné části se práce věnuje výstupům modelu a porovnání jednotlivých variant TZB.

Klíčová slova: Matlab, MEX, MySQL, TZB, NPV, EAC

Abstract

The main goal of this thesis is design and development of a software application to model the overall costs on heating from the conventional resources in Matlab environment.

In the theoretical part of work we give attention to description of Net Present Value (NPV) and Equivalent Annual Cost (EAC). Further, the technical parameters of model, heat loss from buildings and the related calculation of required heat for heating. Calculated values EAC are used to compare individual variants of HVAC in model.

The practical part deals with steps leading to design and description of functionality of the application. Some room is dedicated to Matlab external interface MEX [3]. Model is configured from MySQL database [4] and graphical interface of Matlab.

The final chapter is devoted to compare a particular variants of HVAC.

Key words: Matlab, MEX, MySQL, TZB, NPV, EAC

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne
11.5.2015

.....

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Oldřich Starý, CSc. za podporu a inspiraci, která zásadně přispěla ke vzniku této práce.

OBSAH

Seznam použitých zkratk	7
Úvod	8
1. Ekonomické parametry	10
1.1. NPV	10
1.2. Ekvivalentní roční náklady	11
1.3. Výpočet cash flow v jednotlivých letech provozu	12
2. Modelování vývoje cen energií a komodit	15
2.1. Geometrický Brownův pohyb	15
2.2. Historické ceny pro odhad parametrů σ a u	17
2.3. Tvorba modelu	18
3. Tepelná ztráta budovy	22
4. Modelování sestav technických zařízení budov	24
5. Aplikace TZBsim	26
5.1. Úvod	26
5.2. Architektura aplikace TZBsim	28
5.3. Databáze aplikace TZBsim	29
5.4. Generování a filtrace otopných soustav - Matlab/MEX/C++	30
5.5. Finanční modul	33
5.5.1. Třída TZBComodity	33
5.5.2. Třída TZBEquipment	34
5.5.3. Třída TZBSystem	34
5.5.4. Třída TZBCalculation	34
5.5.5. Třída TZBObserver	35
5.6. Grafické rozhraní TZBsim	36
5.6.1. Filtry	36
5.6.2. Šablony a sestavy	38
5.6.3. Finanční parametry	39
5.6.4. Panel modelování cen energií a komodit	40
6. Modelové případy	42
6.1. Nízkoenergetický dům s $Q_c \sim 5\text{kW}$	42
6.2. Obvyklý dům staré zástavby s $Q_c \sim 12\text{kW}$	50
6.3. Pasivní dům s $Q_c \sim 2\text{kW}$	52
Závěr	55
Seznam použitých zdrojů	57
Seznam obrázků	58
Příloha	60

Seznam použitých zkratk

C++	Objektově orientovaný programovací jazyk
EAC	Equivalent annual cost - Ekvivalentní roční náklady
MEX	Matlab EXecutable
NPV	Net Present Value - Čistá současná hodnota
PXE	Power Exchange Central Europe
TZB	Technická Zařízení Budov

Úvod

S dlouhodobě rostoucí poptávkou po komoditách a energiích se zvyšují rovněž náklady na vytápění a provoz budov. To motivuje stávající i budoucí majitele nemovitostí k pečlivému zvážení investice do technického zařízení budov - TZB [15].

Investice do nového, případně výměna staršího zařízení, má zásadní vliv na výdaje v horizontu 10 a více let. Náplní práce je sestavení a implementace modelu, který pomocí ukazatelů čisté současné hodnoty - NPV a ekvivalentních ročních nákladů - EAC, ocení jednotlivé investice do zařízení k vytápění [2]. Jednotlivé technologické celky mají různou dobu očekávané životnosti a tak dochází k porovnání projektů s různou délkou životního cyklu. Model se proto opírá o hodnotu ekvivalentních ročních nákladů, podle které se vyhodnocuje efektivnost jednotlivých variant sestav TZB.

První část práce je věnována teoretickým východiskům a je rozdělena do kapitol týkajících se principu hodnocení efektivity investic, základům stochastického generování budoucích cen a tepelné ztrátě budov. Tyto stavební kameny jsou základem modelu, který zapsán v jazyce Matlabu tvoří výsledný program.

Pro generování budoucích cen energií byl zvolen stochastický model založen na principu Brownova pohybu. Nastavení modelu probíhá výpočtem parametrů střední hodnoty - driftu a směrodatné odchylky - volatility, z historických cen energií. U komodit jako elektřina, plyn nebo uhlí, a těch které se obchodují na energetických burzách, např. PXE , NordPool, se podařilo získat historické ceny a uložit do databáze MySQL. Ostatní komodity a energie mají parametry driftu a volatility navázané na ceny plynu případně je lze předdefinovat a uložit opět v databázi.

Z důvodů poměrně velké škály zařízení na trhu, je model plněn sestavami TZB, které jsou taktéž uloženy v databázi MySQL. Za tím účelem byl sestaven databázový model a naplněn z katalogových listů výrobců. Databáze je obsluhována zásuvným modelem MEX naprogramovaným v jazyce C++, který sestavuje podle požadavků uživatele vhodné sestavy k porovnání.

V praktické části je popsán postup návrhu a implementace modelu v prostředí Matlab, popis jednotlivých modulů programu, grafického rozhraní a stručný uživatelský manuál .

V závěrečné části práce je na modelových příkladech provedeno porovnání některých typizovaných instalací TZB.

Jedním ze záměrů práce je vytvoření základních modulů rozsáhlejšího systému pro modelování nákladů na vytápění budov. Za tím účelem byla vytvořena databáze historických cen energií a sestav TZB, naprogramován modul MEX a vytvořena skupina objektů v programovacím jazyce Matlabu. Celý program byl pojmenován TZBsim.

Teoretická Část

1. Ekonomické parametry

Pro posouzení efektivnosti investic existuje několik metod, které lze rozdělit podle toho, zda zohledňují faktor času nebo z hlediska pojetí efektů z investic[2]. Pokud investice zohledňují čas, klasifikují se tyto metody jako dynamické, v opačném případě jako statické. Vzhledem k povaze TZB, jako zařízením s dobou provozu delší než deset let, jsou vhodné pouze metody dynamické. Lze tedy použít tyto dynamické metody :

- I. Diskontovaná doba návratnosti
- II. Index rentability
- III. Čistá současná hodnota - NPV
- IV. Vnitřní výnosové procento - IRR
- V. Ekvivalentní roční náklady - EAC

Sestavy TZB, jakožto i jednotlivé komponenty TZB, mají rozdílné délky životnosti a proto byla v modelu použita metoda Ekvivalentních ročních nákladů - EAC. Pro její výpočet je potřeba spočítat hodnotu čisté současné hodnoty NPV. Obě metody a výpočet hodnot je popsán v následujících odstavcích.

1.1. NPV

Metoda patří do skupiny dynamických metod a je založena na součtu diskontovaných očekávaných cash flow v jednotlivých letech. Hodnotící kritérium pro výběr optimální investiční varianty je kladné NPV, nejvyšší čistá současná hodnota. V takovém případě příjmy z investice jsou vyšší než kapitálové výdaje a lze pokládat investici za efektivní. Pokud více variant splňuje předchozí podmínku, vybírá se ta, která má nejvyšší NPV.

Pokud investice obsahuje pouze náklady, což bude případ hodnocení investice do technologií vytápění objektů, hledá se naopak varianta s nejnižší vypočtenou hodnotou NPV.

$$NPV = \frac{CF_1}{(1+k)} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad (1.1)$$

kde

NPV ... je čistá současná hodnota
CF_t ... je očekávané cash flow v roce t
t ... počet roků
k ... diskontní sazba

1.2. Ekvivalentní roční náklady

Ekvivalentní roční náklady - Equivalent annual cost (EAC), jsou náklady za jeden rok spojené s vlastnictvím, údržbou a provozem aktiva za celý jeho životní cyklus. Zásadní výhodou použití této metody pro porovnání efektivity investic, je možnost porovnat aktiva s různou délkou životního cyklu se shodným počátkem investice. Jak bylo zmíněno v předchozím odstavci, pro posouzení čistě nákladových projektů, jakými TZB jsou, hledáme EAC s nejnižší hodnotou. Výpočet ekvivalentních ročních nákladů je založen na vydělení čisté současné hodnoty investice anuitním faktorem. Tím dojde k rovnoměrnému rozložení diskontovaných nákladů v jednotlivých letech projektu - tedy provozu TZB.

$$EAC = \frac{NPV}{A_{t,r}} \quad (1.2)$$

kde

EAC ... ekvivalentní roční náklady
NPV ... čistá současná hodnota
A_{t,r} ... anuitní faktor

$$A_{t,r} = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^t}}{r} \quad (1.3)$$

kde

A_{t,r} ... anuitní faktor
t ... čas
r ... diskont

1.3. Výpočet cash flow v jednotlivých letech provozu

Princip hodnocení efektivity investic, který použijeme v této práci k posouzení jednotlivých variant, vyžaduje pro výpočet na vstupu peněžní toky - náklady v jednotlivých letech provozu.

Náklady v jednotlivých letech rozdělíme do následujících skupin:

- Počáteční investice do TZB - N_{inv}
- Náklady na instalaci TZB - N_{inst}
- Roční náklady na provoz TZB - N_{prov}
- Roční náklady na splátku dluhu - N_{rep}
- Roční náklady na energie - N_{energ}

Celkové náklady vypočítáme ze vzorce :

$$\mathbf{N} = \mathbf{N}_{fix} + \mathbf{N}_{var} \quad (1.4)$$

kde N_{fix} označují náklady fixní a jedná se skupinu nákladů bez vazby na dobu užívání technického zařízení. Zahrnují nejen náklady na pořízení a instalaci technologie, ale rovněž náklady spojené s údržbou a opravami. Zde řadíme i pravidelné anuitní splátky dluhu, pokud bylo zařízení financováno částečně úvěrem :

$$\mathbf{N}_{fix} = N_{inv} + N_{inst} + N_{prov} + N_{rep} \quad (1.5)$$

a N_{var} variabilní :

$$\mathbf{N}_{var} = N_{energ} \quad (1.6)$$

Na obrázku 1 je příklad matice Matlabu obsahující peněžní toky - náklady v jednotlivých letech, rozčleněny do skupin po jednotlivých nákladech. Součástí obrázku je rovněž část funkce v jazyce Matlabu vracející uvedenou matici. Z výpisu je vidět jak je matice postupným voláním příslušných funkcí pro jednotlivé náklady sestavena a tím popisuje význam jednotlivých sloupců.

```

51 - function r = getCF(obj)
52 -     if (isempty(obj.CF))
53 -         invest = getInvestment(obj);
54 -         install = getInstallation(obj);
55 -         fc = getFixedYearCosts(obj);
56 -         vc = getVariableYearCosts(obj);
57 -         rep = getRepayments(obj);
58 -         obj.CF = [invest, install, fc , vc, rep];
59 -     end
60 -     r = obj.CF;
61 - end
62 - function r = getNPV(obj)
63 -     if (isempty(obj.CF))
64 -         obj = getCF(obj);

```

<Student Version> Command Window

```

K>> format bank
K>> r

r =

    42516.22    10000.00         0    14231.19         0
         0         0    2200.00    12535.54    2197.15
         0         0    2200.00    11557.17    2197.15
         0         0    2200.00     9160.81    2197.15
         0         0    2200.00     8188.87    2197.15
         0         0    2200.00    10027.98    2197.15
         0         0    2200.00     8352.77    2197.15
         0         0    2200.00    10333.97    2197.15
         0         0    2200.00    10744.66    2197.15
         0         0    2200.00     9144.44    2197.15
         0         0    2200.00    10999.88    2197.15
         0         0    2200.00    11643.35    2197.15
         0         0    2200.00    13024.29    2197.15
         0         0    2200.00    12326.83    2197.15

```

Obrázek 1: Výpis kodu výpočtu cash flow

Významnou položkou sumy nákladů je náklad na energie - N_{energ} . K výpočtu je potřeba určit množství potřebného tepla, budeme značit Q_{VYT} [J], tak aby byl zajištěn tepelný komfort v budově. Stanovení hodnoty Q_{VYT} je věnována kapitola 3 a vychází z celkové tepelné ztráty budovy Q_C . Pro výpočet je použit následující vzorec:

$$N_{\text{energ}} = S * C \text{ [Kč]} \quad (1.7)$$

kde

- N_{energ} ... náklady na vytápění [Kč]
- S ... spotřeba [t] nebo [MWh]
- C ... cena [Kč.t⁻¹] nebo [Kč.MWh⁻¹]

Parametr S udává spotřebu komodity o výhřevnosti [14] H a vypočítá se :

$$S = \frac{Q_{\text{VYT}}}{H} [J] \quad (1.8)$$

kde

S ... spotřeba [t] nebo [MWh]

Q_{VYT} ... celkové teplo [GJ]

H ... výhřevnost [GJ.t⁻¹] nebo [GJ.MWh⁻¹]

Tabulka všech energií a jim příslušných hodnot výhřevnosti jsou uloženy v databázi programu v tabulce *tzb.Komodita*. Pro každý záznam je rovněž ve sloupcích *mernaJednotka* rozměr výhřevnosti a ve sloupci *rozmerCeny* rozměr měrné ceny energie.

6 SELECT * FROM tzb.Komodita;

druh	nazev	vyhrevnost	stabilita	Ceny	mernaJednotka	variabilni	Naklady	technologie	Limity	technologie	Potencial	posledniCena	rozmerCeny	drift	psstd
CU	Cerne uhlí	28	NULL	GJ/t	100	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1400	K&t	0.0001	0.013	
DB	Drevene brikety	17	NULL	GJ/t	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	4500	K&t	NULL	NULL	
DP	Drevene pelety	17	NULL	GJ/t	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	4600	K&t	0.0001	0.0114	
DR	Drevo	15	NULL	GJ/t	200	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2500	K&t	0.0001	0.0114	
EL	Elektricka energie	3.6	1	GJ/MWh	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2000	K&t/MWh	0.0001	0.0114	
HU	Hnede uhlí	18	NULL	GJ/t	100	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	3300	K&t	NULL	NULL	
KO	Koks	27.5	NULL	GJ/t	100	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	6900	K&t	NULL	NULL	
LO	Lehke topne oleje	42	NULL	GJ/t	200	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	18500	K&t	NULL	NULL	
OB	Obilí	18	NULL	GJ/t	100	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	3000	K&t	NULL	NULL	
PL	Zemni plyn	3.6	1	GJ/MWh	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1100	K&t/MWh	NULL	NULL	
PR	Propan	46	NULL	GJ/t	200	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	21000	K&t	NULL	NULL	
SL	Slunce	1	NULL	KW	NULL	1	800	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0.0001	NULL	
ST	Stepka	12.5	NULL	GJ/t	100	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	1500	K&t	0.0001	NULL	
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	

Obrázek 2: Seznam komodit, výhřevnost a aktuální cena

2. Modelování vývoje cen energií a komodit

Modelování nákladů na vytápění vyžaduje mít k dispozici ceny komodit a energií v podstatné části období provozu TZB soustavy, tedy 10 a více let. Pro takto dlouhý interval je prakticky nemožné sestavit takový model, který by zachytil všechny faktory ovlivňující vývoj cen. Mezi faktory s významným vlivem na cenu komodit patří cykličnost hospodářského vývoje, politická situace - stabilita (ropa, plyn), množství zásob (ropa) a jejich aktuální těžba, množství a diverzita dodavatelů, technologický pokrok (břidlice, uhlí) a inovace v průmyslu, dopravě atd. Jde o faktory čistě tržní. Ceny jsou ovšem ovlivněny taktéž extenzivně, např. politickým zásahem, ať už jde o Evropskou komisi nebo národní regulační úřady. Fiskální podpora ve formě dotací a subvencí některých preferovaných sektorů vždy vychyluje rovnováhu na trhu a má přímý vliv na ceny.

Model by navíc měl reflektovat některé specifické vlastnosti jednotlivých komodit. Elektřina je, na rozdíl od zbytku ostatních energií - komodit neskladovatelná a od toho se odvíjí její další vlastnosti jako sezónnost, vysoká volatilita a skokové chování [10]. Existují modely, které tyto vlastnosti zohledňují např. Mean - Reversion model, Jump - diffusion model a Regime - switching model.

Nereálnost sestavení takového deterministického modelu vede k modelům stochastickým, na principu Brownova pohybu[5]. Samotný model postavený na principu náhodného chování ovšem může vést v určitém čase k záporným hodnotám. To znamená, že generovaná cena komodity bude negativní. Proto se zaměříme na speciální variantu Brownova pohybu, geometrický Brownův pohyb.

K parametrizaci modelů budoucích cen energií použijeme princip vycházející z historických spotových cen energií. Ty lze získat z komoditních nebo energetických burz, specializovaných portálů zabývajících se obchodováním na komoditních burzách nebo ze zdrojů statistického úřadu.

2.1. Geometrický Brownův pohyb

Předpokládejme stochastický děj S_t , který má chování Geometrického Brownova pohybu [5]:

$$dS_t = u * S_t * dt + \delta * S_t * dW_t \quad (2.1)$$

kde

u ... střední hodnota, konstanta

σ ... směrodatná odchylka, konstanta
 W_t ... Wienerův process - Brownův pohyb

Střední hodnota μ udává deterministickou změnu - drift, odpovídající očekávané hodnotě. Za krátký interval dt vzroste hodnota S_t o $\mu * S_t * dt$. Směrodatná odchylka σ zajišťuje náhodné chování rovnice - volatilitu. Jinými slovy drift lze chápat jako trend a volatilitu jako náhodné šumění daného jevu.

Jde o diferenciální rovnici, kterou řešíme metodou separace proměnných[16].

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu * dt + \sigma * dW_t \quad (2.2)$$

Integrací obou stran.

$$\int \frac{dS_t}{S_t} = \int (\mu * dt + \sigma * dW_t) dt \quad (2.3)$$

Pomocí Itôva lematu[17] a derivací $\ln(S_t) = \frac{dS_t}{S_t}$

$$\ln\left(\frac{dS_t}{S_t}\right) = \left(\mu - \frac{1}{2} * \sigma^2\right) * t + \sigma * W_t \quad (2.4)$$

Vede rovnice k výslednému tvaru.

$$S_t = S_0 * e^{\left(\mu - \frac{1}{2} * \sigma^2\right) * t + \sigma * W_t} \quad (2.5)$$

Odhadnutí parametrů μ - driftu a σ - volatility provedeme z historických dat.

Hlavní veličina budou denní přírůstky ceny komodity a budeme předpokládat normální rozdělení.

$$p_i = \ln\left(\frac{S(t)}{S(t-\Delta t)}\right) \quad (2.6)$$

Parametry geometrického Brownova pohybu σ a μ odhadujeme pomocí aritmetického

průměru $\bar{p} = \sum_{i=1}^n p_i$ a rozptylu $s_v^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2$

$$\sigma = \sqrt{\frac{s_v^2}{\Delta t}} \quad \text{a} \quad \mu = \frac{\bar{v}}{\Delta t} \quad (2.7)$$

2.2. Historické ceny pro odhad parametrů σ a μ

Pro odhad parametrů σ a μ budeme používat historické spotové ceny energií a komodit. Pro komodity, které se neobchodují na žádném trhu, případně se nepodařilo získat historické ceny použijeme volně dostupné výstupy z dat statistického úřadu. V naší práci použijeme tyto zdroje dat :

- **PXE - Power Exchange Central Europe** [www.pxe.cz]

Založena v roce 2007 za účelem obchodování s elektrickou energií v podobě komoditních futures s dodáním v regionu střední Evropy (Česko, Slovensko, Maďarsko, Polsko a Rumunsko). Vývoj ceny roční dodávky je volně ke stažení na adrese http://www.pxe.cz/pxe_downloads/Statistics/Vyvoj_ceny_rocni_dodavky.xls.

- **CEGH - Central European Gas Hub** [www.cegh.at]

Burzovní společnost CEGH se sídlem ve Vídni se zaměřuje na obchodování se zemním plynem ve stredoevropském regionu. Založena byla v roce 2005 a v roce 2014 dosáhla celkového objemu zobchodovaných kontraktů ve výši 440TWh.

- **Český statistický úřad** [www.czso.cz]

Od roku 1969 provádí sběr, zpracování a uložení statistických dat. Mezi šetřené veličiny patří rovněž vývoj cen energií pro domácnosti. Pro účely práce jsou potřebné zejména ceny pevných paliv jako palivového dříví, černého a hnědého uhlí, dřevěných pelet a briket.

- **Ministerstvo průmyslů a obchodu** [www.mpo.cz]

Na stránkách úřadu lze volně stáhnout dokument zpracovaný na základě podkladů dat Českého statistického úřadu k vývoji cen pevných paliv <http://download.mpo.cz/get/47373/53456/594277/priloha001.pdf> [11].

Získaná kolekce dat je po konsolidaci nahrána do databáze MySQL.

Konsolidace zahrnuje úpravy :

- **Převedení do formátů CSV a struktury:**
 - Datum
 - Spotová cena
- **Přepočet cen** - ceny z energetických burz jsou vedeny v měně EUR jsou přepočteny do CZK.

Pro účely diplomové práce se podařilo nahrát do databáze historické ceny elektřiny, plynu, černého uhlí a palivového dříví.

2.3. Tvorba modelu

Model vychází z principu Geometrického Brownova pohybu (rovnice) a parametrizuje se následujícími hodnotami:

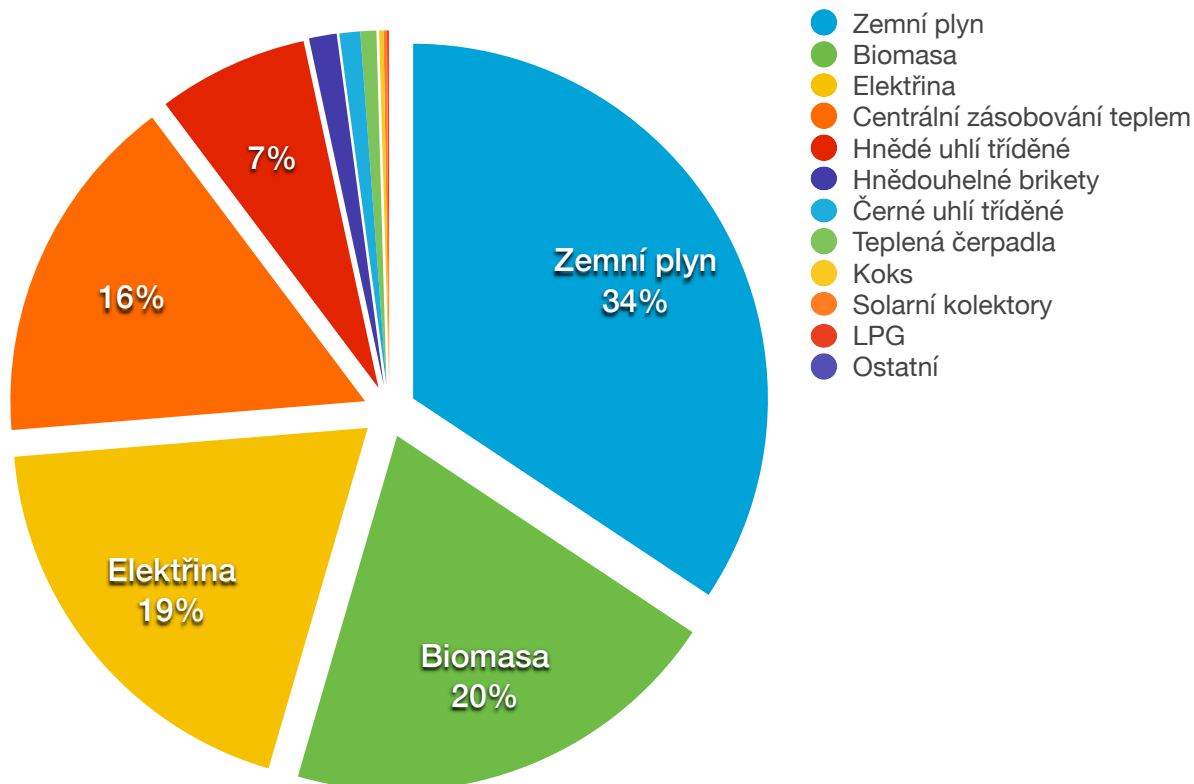
- odhadem parametru σ z historických cen komodity/energie
- odhadem parametru u z historických cen komodity/energie
- aktuální ceny komodity/energie

V databázi jsou pro účely této práce uloženy pouze historické ceny k následující komoditám :

- Elektřina
- Plyn
- Černé uhlí
- Dřevo

Plyn se podílí cca. 34% na celkové spotřebě domácností [13] a tak lze předpokládat určitou korelaci cen ostatních energií na vývoj cen zemního plynu. Proto pro ostatní komodity, pro které nemáme k dispozici historické ceny, jsou použité odhadnuté hodnoty u a σ z cen plynu. V případě komodit či energií s malou závislostí na cenách plynu, stabilních cenách (dřevo) nebo jen pro účely modelování lze nastavit vlastní hodnoty v databázi pro příslušné záznamy.

Spotřeba paliv a energií v domácnostech, ČR [%]



Obrázek 3: Spotřeba paliv a energií v domácnostech, ČR [%]

Zdroj dat: Ministerstvo průmyslu a obchodu

Pro komodity, u kterých nemáme žádné údaje o cenách, je v databázi přidán sloupec s aktuální dostupnou cenou dané komodity (obrázek 2). Na tuto cenu spojitě naváže generování. Vazba jednotlivých parametrů modelu na databázové sloupce je následující:

- **cena** - lastRetailPrice
- **u** - drift
- **σ** - pstd

Hlavní část modelu je zobrazena v následujícím fragmentu kódu, tak jak byl napsán v programovacím jazyce Matlab. Počet vzorků je určen proměnnou *ForecastLength* a vzorky jsou uloženy v proměnné *forecast*. Abychom získali pseudonáhodná čísla s normálním rozdělením, použijeme tato pseudonáhodná čísla jako vstupní parametr do inverzní funkce k distribuční funkci normálního rozdělení NORMINV. V každém běhu cyklu tedy dojde ke generování voláním funkce Matlabu `norminv(rand())`, které uložíme do proměnné *dd* a použijeme ve výpočtu v rekurentním vzorci (řádek 10).

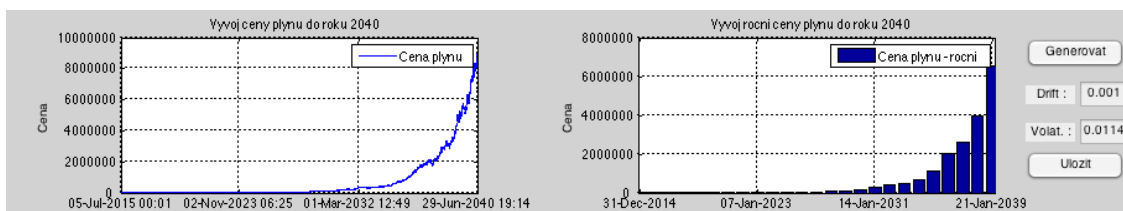
```

for trial = 1:obj.Trials (1)
    for c = 2:ForecastLength (2)
        dd = norminv(rand()); (3)
        if (c>300) (4)
            temp = (forecast(c-1,trial)/forecast(c-300,trial)); (5)
            if ((temp>1.8 && dd>0) || (temp<0.7 && dd<0)) (6)
                dd = -dd; (7)
            end (8)
        end (9)
        forecast(c,trial) = forecast(c-1, trial).*exp(drift + pstd * dd); (10)
        if (forecast(c,trial)<0) (11)
            forecast(c,trial) = -forecast(c,trial); (12)
        end (13)
    end (14)
end
end

```

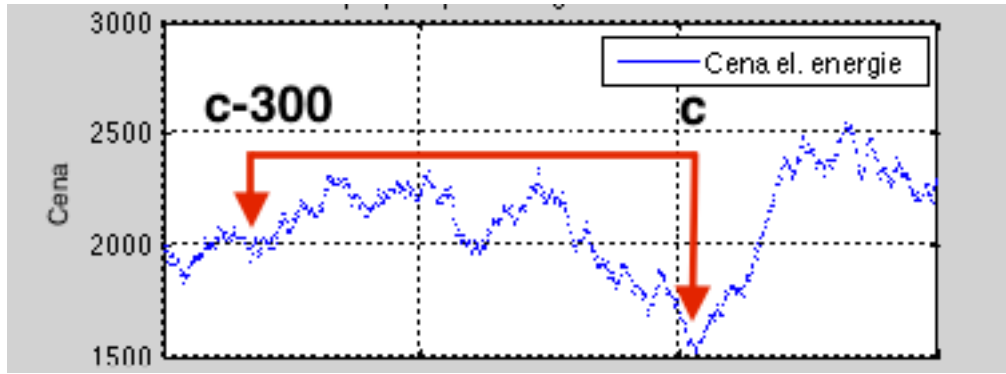
Obrázek 4: Výpis programu modelu

Pro delší periody generování vykazoval základní model při vyšších hodnotách driftu (trend) divergentní průběh vývoje cen a generované hodnoty vykazovaly odchylku na začátku a konci generování 2 a více řádu (Obrázek 5). Zde je zobrazen případ pro hodnoty drift = 0.001 a pstd = 0.0114.



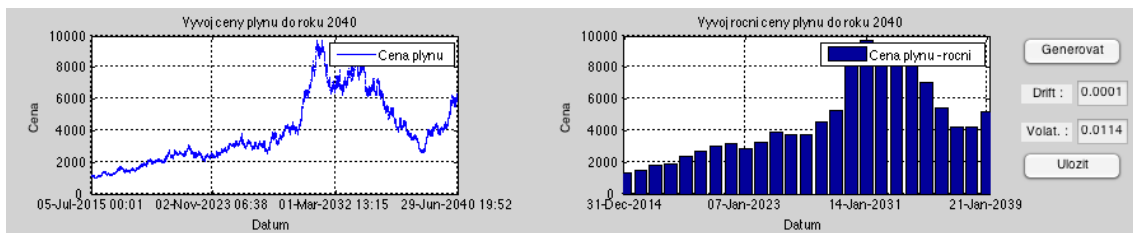
Obrázek 5: Divergentní vývoj ceny generované modelem bez zpětné vazby

Proto byl model “zatlučen” zavedením zpětné vazby (řádek 4-9). To se projevuje formou plovoucího okna s délkou 300 vzorků a počítá se odchylka hodnoty na začátku okna a na jeho konci.



Obrázek 6: Plovoucí okno

Pokud se hodnota poměru aktuálního vzorku c a vzorku $c-300$ pohybuje mimo interval $(0.7, 1.8)$ je následující generovaná hodnota upravena tak, aby se odchylka nacházela v uvedeném intervalu. Ve výpisu programu se tato operace nachází na řádku č. 7. a jde o jednoduchou operaci inverzí hodnoty pseudonáhodného čísla s normálním rozdělením. Příklad generování s použitím takové zpětné vazby je zobrazen na obrázek 7.



Obrázek 7: Vývoj ceny generované modelem s plovoucím oknem

3. Tepelná ztráta budovy

Jedním ze základních vstupních parametrů modelu je množství tepla (Q_r) potřebného k vytápění budovy. Ten vychází z parametru celkové tepelné ztráty objektu (Q_c), který určuje celkovou tepelnou bilanci objektu. Hodnotu Q_c lze zadat v hlavním okně programu, alternativně v panelu energie, který je vidět na obrázku 8. Hodnotu Q_c musí být předem známá a lze ji získat v např. v programu Ztráty2014 [7].

Celková tepelná ztráta objektu se určí výpočtem [6]

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \quad [\text{W}] \quad (3.1)$$

kde

Q_p ... tepelná ztráta prostupem tepla [W],

Q_v ... tepelná ztráta větráním [W],

Q_z ... trvalý tepelný zisk [W].

Výpočet potřeby tepla a paliva denostupňovou metodou [7]

$$Q_{\text{VYT,teor}} = 24 * 3600 * Q_c * \frac{d * (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} * \epsilon_t * e \quad (3.2)$$

kde

$Q_{\text{VYT,teor}}$... teoretická potřeba tepla na vytápění [J]

Q_c ... celková tepelná ztráta objektu [J]

d ... počet dnů otopného období [dny]

t_{is} ... průměrná vnitřní teplota [°C]

t_{es} ... průměrná venkovní teplota [°C]

t_{ev} ... oblastní výpočtová teplota [°C]

ϵ_t ... opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti
přirážek pro výpočet tepelných ztrát objektu [-]

e_d ... opravný součinitel [-]

$$Q_{\text{VYT}} = \frac{Q_{\text{VYT,teor}}}{\eta_R * \eta_o * \eta_k} \quad (3.3)$$

kde

$Q_{\text{VYT,teor}}$... teoretická potřeba tepla na vytápění [J]

η_R ... účinnost rozvodu tepelné energie [-]

η_o ... účinnost obsluhy (resp. regulace) [-]

η_k ... účinnost zdroje tepla (kotle) [-]

Parametr η_R zastupuje kvalitu tepelné izolace rozvodů tepla a pohybuje se v rozmezí 0,95 až 0,98. Účinnost obsluhy zohledňuje kvalitu řídicího systému TZB (zónová, ekvitermní atd.) a je v intervalu 0,9 (kotel na tuhá paliva) až 0,99 (plynový kotel se zónovou regulací). Poslední parametr η_k není ve výpočtu použit, účinnost zdroje tepla se kalkuluje na jiném místě při spotřebě energie (komodit).

The screenshot shows a software interface for calculating required heat. The window title is "<Student Version> : Energie". It features two main input fields at the top: "Celkova tepelna ztrata objektu :" with a value of 7 KW, and "Potrebne teplo na rok" with a value of 54.6971 GJ/rok. Below these are several parameters, each with a corresponding input field: E (0.765), n0 (0.95), n1 (0.95), delka topne sezony (225), Tin (19), Tout (-12), and T out mean (4.3). At the bottom of the interface are two buttons: "Zavrit" and "Spocitat".

Obrázek 8: Panel výpočtu potřebného tepla

4. Modelování sestav technických zařízení budov

Aplikace se opírá o robustní databázi prvků otopné soustavy. Pod pojmem otopné soustavy chápeme zařízení objektu, které obsahuje především zdroj tepla, potrubní systém a otopná tělesa. Zde patří také řízení, zabezpečení a armatury. Podkladem pro záznamy v databázi (DB) jsou katalogové listy výrobců, z kterých jsou plněny jednotlivé tabulky soustav a zařízení TZB. Důležitým parametrem pro modelování je celkový nominální výkon poskytovaný soustavou. Z výkonu soustavy dále odvodíme potenciál celkového dodaného tepla.

Vhodné soustavy TZB tedy musí splňovat následující podmínky :

1) **Nominální výkon soustavy musí být větší než celková tepelná ztráta objektu :**

$$Q_c < K \text{ [W]} \quad (4.1)$$

kde

Q_c ... celková tepelná ztráta objektu [W]

K ... nominální výkon soustavy [W]

2) **Celkový tepelný potenciál soustavy otopné soustavy musí být větší než množství potřebného tepla.**

$$Q_{VYT} < Q_{TZB} \text{ [GJ]} \quad (4.2)$$

kde

Q_{VYT} ... množství potřebného tepla [GJ]

Q_{TZB} ... celkový tepelný potenciál otopné soustavy [GJ]

První podmínka určuje základní předpoklad funkčního objektu z pohledu zajištění potřebného množství tepla při dané ztrátovosti. Druhá podmínka udává celkové množství tepla, které se v topné sezóně předpokládá. Např. u otopné soustavy vybavené solárními kolektory je limitujícím prvkem průměrný počet dní, kdy lze tento zdroj využít.

Z databáze lze vybírat podle různých kritérií např. kategorie zařízení, druhu spotřebovávané energie. Ale vždy je výběr podmíněn splněním předchozích podmínek. Více o databázi soustav je věnováno v praktické části práce.

Praktická Část

5. Aplikace TZBsim

5.1. Úvod

Hlavní náplní práce je vytvoření aplikace TZBsim v prostředí Matlab, která modeluje náklady na vytápění domů z konvenčních zdrojů. Hlavním kritériem hodnocení variant otopných soustav je velikost Ekvivalentních ročních nákladů - EAC (kapitola 1). Jak bylo popsáno v teoretické části práce, pro výpočet EAC je potřeba vyčíslit peněžní toky v jednotlivých letech používání zařízení. V kapitole 1.3 jsme popsali postup použitého výpočtu očekávaných peněžních toků z jednotlivých nákladů. Fixní náklady souvisí s použitou technologií vytápění - otopnou soustavou a zahrnují náklady na pořízení a údržbu. Variabilní náklady mají lineární závislost na množství spotřebované energie k vytápění a ceně energie.

Abychom spočítali uvedené náklady potřebujeme následující vstupy pro vytvoření programu k modelování celkových nákladů na vytápění:

- **ceny energií**
- **sestavy otopných soustav**

Budoucí ceny energií vycházejí z historických cen jednotlivých komodit a jsou generovány s denní periodou pomocí modelu využívajícím princip náhodného Brownova pohybu. Délku intervalu generování lze parametrizovat a je přednastavena na Y+25, kde Y značí datum poslední známé ceny energie - obrázek 8 - posledníCena. Pro každý rok je vypočítaná průměrná cena z denních cen v daném roce.

Limitujícím prvkem v modelování nákladů je škála porovnávaných otopných soustav a možnost vybírat jednotlivé soustavy pro modelování podle různých kritérií. Tomuto požadavku vyhovuje použití databáze pro uložení širokého spektra různých zařízení a soustav TZB a strukturovaného dotazovacího jazyka SQL pro jejich výběr. Databáze bude plněna z katalogových listů výrobců a lze ji postupně snadno doplňovat o další soustavy. Aplikace tedy na základě poměrně široké škály vstupních parametrů vybírá konfigurované sestavy zařízení z databáze. Následně pomocí prostředků Matlabu modeluje vývoj cen energií, a z těchto vstupních údajů počítá ekonomické parametry jednotlivých soustav TZB a graficky interpretuje výsledky výpočtu. Úvodní okno aplikace je na obrázek 9.

Grafické rozhraní je navrženo tak, aby uživatele vedlo k zadání velikosti celkové tepelné ztráty objektu, z které je následně spočteno celkové potřebné teplo podle denostupňové metody (kapitola 3). Výpočet lze parametrizovat zadáním hodnot např.

délky topné sezóny, průměrné vnitřní a venkovní teploty. Dalším krokem je zadání filtrů požadovaných energií zahrnutých do porovnání jednotlivých variant, volba předdefinovaných otopných soustav - šablon, nastavení finančních parametrů a přegenerování cen komodit. Po zadání všech kritérií je stiskem tlačítka Generuj proveden výběr z databáze, výpočet všech parametrů modelu a jednotlivé varianty jsou předány do finančního modulu k výpočtu hodnot sledovaných parametrů NPV a EAC. Hlavní okno (Obrázek 9) zobrazuje 4 modelované varianty seřazené vzestupně podle hodnoty EAC. Mimo uvedené hodnoty NPV a EAC, zobrazuje peněžní toky v jednotlivých letech provozu zařízení s grafickým oddělením druhů nákladů. Ke každé variantě lze zobrazit podrobnější popis jednotlivých parametrů použitých k výpočtu stisknutím tlačítka Detail. Lze zobrazit i použitou šablonu nebo sestavu otopné soustavy tlačítkem Šablona.



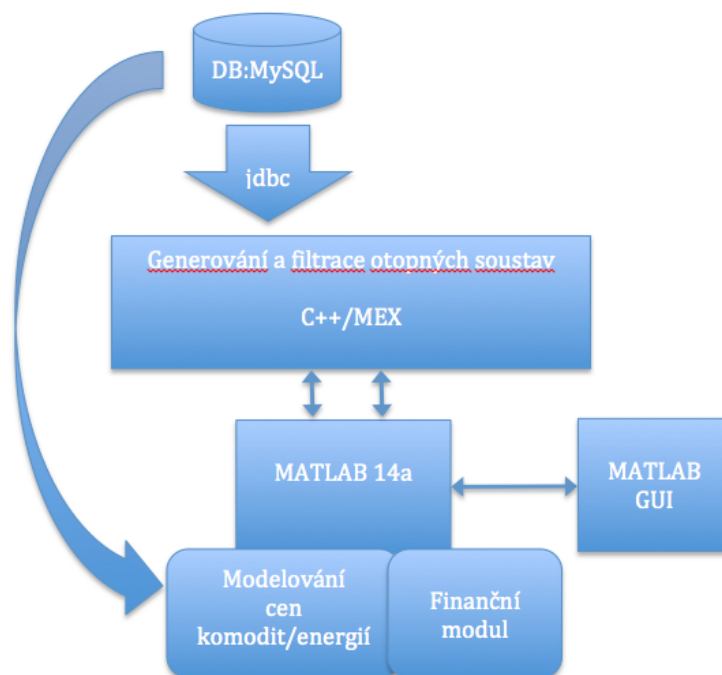
Obrázek 9: Úvodní okno aplikace TzBsim

5.2. Architektura aplikace TZBsim

Aplikace používá k uložení dat o otopných soustavách, energiích a jejich cen databázi MySQL. Pro komunikaci s databází přímo z prostředí Matlab je použit zásuvný modul Matlabu - Database Toolbox. Aplikace většinu údajů za pomoci nástrojů tohoto Toolboxu získává přímým výběrem s pomocí SQL jazyka. V případě výběrů otopných soustav je potřeba používat složitější tvary výběrových kritérií SQL. Navíc jednou z vlastností aplikace je možnost generování otopných soustav podle několika předdefinovaných šablon. Pro zápis programu už jsou prostředky Matlabu pro komunikaci s DB a generování kartezských součinů komponent otopných soustav méně vhodné. Proto byla použita možnost rozšíření Matlabu o modul v jazyce C++ přes aplikační rozhraní MEX [3].

Aplikace je navržena modulárně a obsahuje tyto části:

- **Modul komunikace s databází**
- **Generování a filtrace otopných soustav - Matlab/MEX/C++**
- **Finanční modul**
- **Modul cen energií**
- **Grafické rozhraní**



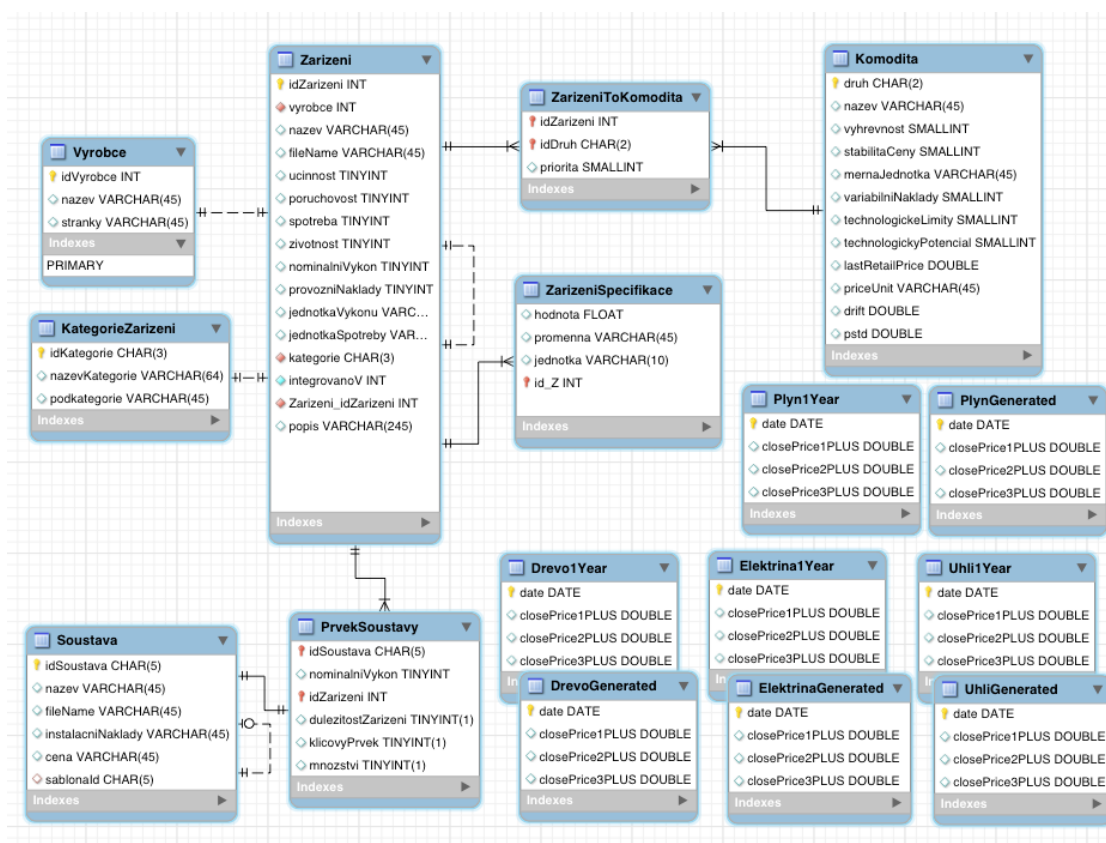
Obrázek 10: Schéma aplikace

5.3. Databáze aplikace TZBsim

Jako úložiště dat pro aplikaci TZBsim byla zvolena databáze MySQL Community Server 5.6.23. Obsahem databáze je sada tabulek obsahující údaje o otopných soustavách, energiích a jejich cen. Proto byl navržen databázový model, který zohlední tyto požadavky :

- uložení dostupných historických cen energií a komodit
- uložení generovaných cen
- seznam a parametry jednotlivých energií a komodit
- seznam zařízení a otopných soustav

Schéma databázového modelu je na obrázek 11.



Obrázek 11: Databázový model aplikace TZBsim

Ústřední tabulkou je *Soustava*, která obsahuje seznam konfigurovaných otopných soustav. Soustavy se dělí podle hodnoty ve sloupci *cena* na šablony a sestavy. Šablony jsou obecné sestavy, mají ve sloupci *cena* hodnotu -1 a používají se pro generování náhodných sestav kartézským součinem, za splnění všech podmínek na vstupu, průřezem. Sestavy odpovídají sadám zařízení z katalogových listů výrobců.

Každá soustava má přiřazené, vazební tabulkou *PrvekSoustavy*, 1 až n zařízení v tabulce *Zarizeni*. Zařízení šablony jsou obecné a jsou během generování obsazovány konkrétními zařízeními příslušné kategorie. Konkrétní zařízení mají zadanou cenu v příslušném sloupci a cena generované sestavy je spočítaná během generování součtem cen jednotlivých zařízení.

5.4. Generování a filtrace otopných soustav - Matlab/ MEX/C++

Náplní modulu je pomocí jednoduchého rozhraní vybírat požadované zařízení soustav z DB podle zvolených kritérií a generovat typové sestavy podle předdefinovaných šablon soustav a zadaných parametrů. V případě uvedení seznamu soustav, jsou vráceny konkrétní sestavy. Na obrázku 12 je příklad generování pro zadanou ztrátovost, zvolené katalogové sestavy a s podmínkou minimálního výkonu soustavy 5KW.

```
TZBsim('GENERUJ', 'ZTRATOVOST=7',  
'SOUSTAVA=JNK1,JTC1,PRE1,VER1', 'VYKON=>5');
```

Obrázek 12: Volání příkazu *TZBsim*

Funkce *TZBsim* má následující formát :

```
TZBsim('GENERUJ', vstup, vyberove_kriteria, podminky)  
,kde vstup := ZTRATOVOST | TEPLO=x  
vyberove_kriteria := SABLONA | KOMODITY | KATEGORIE |  
SOUSTAVA=pole_hodnot  
podminky := VYKON=>x  
x -> konstanta  
pole_hodnot -> hotnota1,hodnota2...
```

Na obrázku obrázku 13 je stav prostředí Matlab po spuštění generátoru z příkazového okna. Jde o zadání stejného příkazu z obrázku 12. Výsledná struktura obsahuje sadu výsledků generování s identifikací soustavy, cenou pořízení, cenou instalace, nominálního výkonu, předpokládanou životností, obsazených zařízeních, spotřebovávané komoditě, její roční spotřebě a náklady na roční provoz.

1x4 struct with 11 fields

Fields	id	idSal	cenaPori	cenaInst	vykon	gen	ziv	zarizeni	kor	mnozstvi	cenaProv
1	'JNK1'	'KKZ1'	59882	10000	14	0	14	[1,60]	'PL'	14.7059	2200
2	'JTC1'	'TEPZ'	248000	20000	9	0	14	[1000,10...	'EL'	4.0541	2000
3	'PRE1'	'EKRA'	22100	5000	6	0	20	300	'EL'	15	500
4	'VER1'	'KODR'	59300	10000	25	0	20	100	'DR'	4	1000

```

<Student Version> Command Window

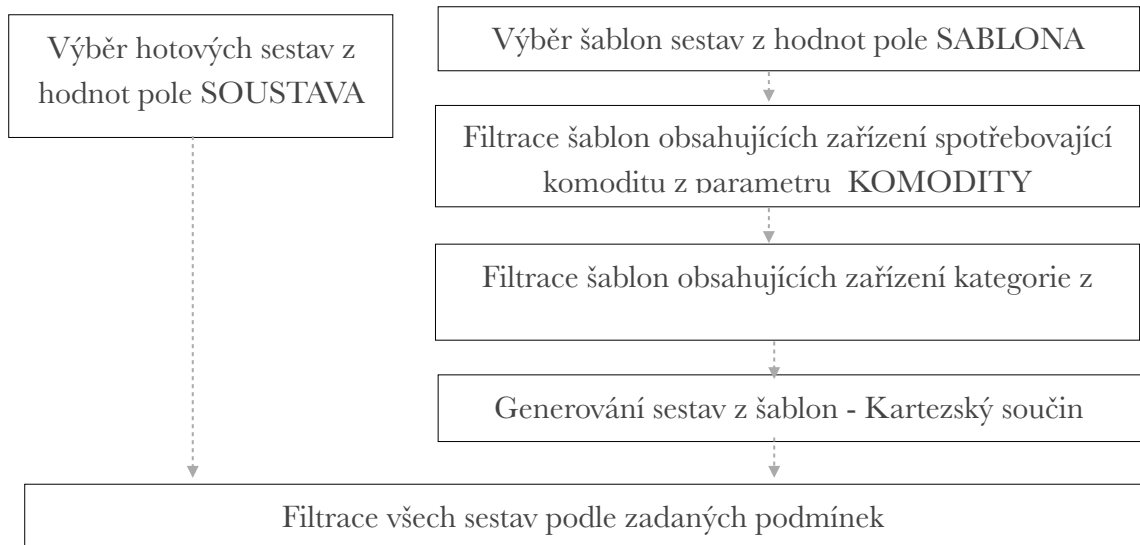
Student License -- for use in conjunction with courses offered at a
degree-granting institution. Professional and commercial use prohibited.

EDU>> outs = TZBsim('GENERUJ', 'ZTRATOVOST=7', 'SOUSTAVA=JNK1,JTC1,PRE1,VER1', 'VYKON=>5');
start msvs_output
parametr 0 : GENERUJ
parametr 1 : ZTRATOVOST=7
parametr 2 : SOUSTAVA=JNK1,JTC1,PRE1,VER1
parametr 3 : VYKON=>5
pocet vstupnich 7 parametru: 3
pocet vstupu 4
1 vstup: ZTRATOVOST=7
2 vstup: SOUSTAVA=JNK1,JTC1,PRE1,VER1
3 vstup: VYKON=>5
pocet generovanych soustav: 4
pocet poli ve strukture: 11
fx EDU>>

```

Obrázek 13: TZBsim v příkazové řádce v Matlabu

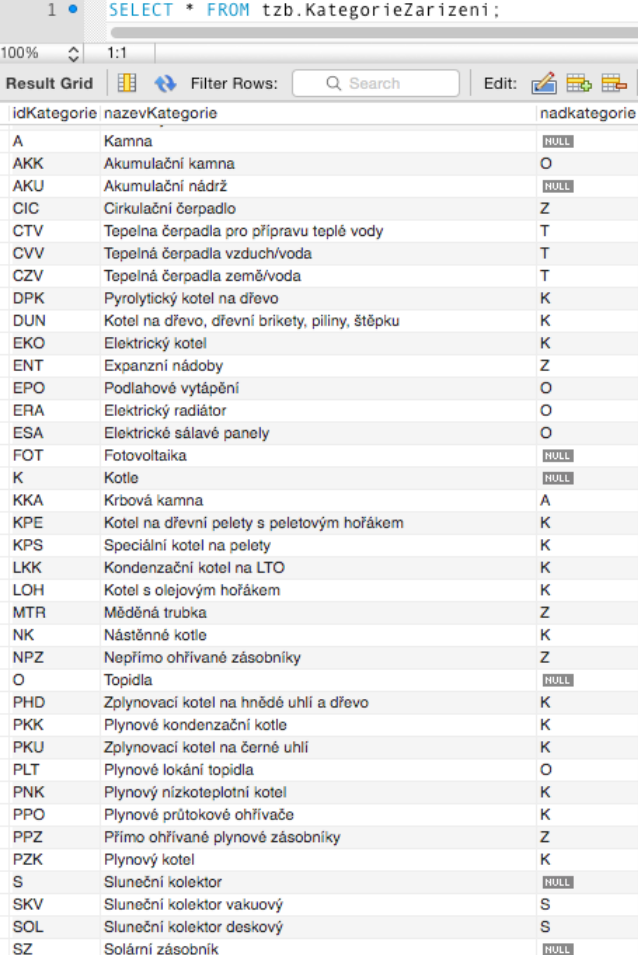
Modul vrací pole sestav dvojího druhu. Hotové sestavy a generované sestavy z obecných šablon. Postup generování a filtrování sestav podle zadaných kritérií je zobrazen na následujícím obrázku :



Obrázek 14: Diagram generování sestav

Možné hodnoty parametrů jsou dány obsahem klíčů tabulek :

- KOMODITY - tabulka Komodita sloupec druh (Obrázek 2)
- KATEGORIE - tabulka KategorieZarizeni sloupec idKategorie (Obrázek 15)



```
SELECT * FROM tzb.KategorieZarizeni;
```

idKategorie	nazevKategorie	nadkategorie
A	Kamna	NULL
AKK	Akumulační kamna	O
AKU	Akumulační nádrž	NULL
CIC	Cirkulační čerpadlo	Z
CTV	Tepelná čerpadla pro přípravu teplé vody	T
CVV	Tepelná čerpadla vzduch/voda	T
CZV	Tepelná čerpadla země/voda	T
DPK	Pyrolytický kotel na dřevo	K
DUN	Kotel na dřevo, dřevní brikety, piliny, štěpku	K
EKO	Elektrický kotel	K
ENT	Expanzní nádoby	Z
EPO	Podlahové vytápění	O
ERA	Elektrický radiátor	O
ESA	Elektrické sálavé panely	O
FOT	Fotovoltaika	NULL
K	Kotle	NULL
KKA	Krbová kamna	A
KPE	Kotel na dřevní pelety s peletovým hořákem	K
KPS	Speciální kotel na pelety	K
LKK	Kondenzační kotel na LTO	K
LOH	Kotel s olejovým hořákem	K
MTR	Měděná trubka	Z
NK	Nástěnné kotle	K
NPZ	Nepřímo ohřívavé zásobníky	Z
O	Topidla	NULL
PHD	Zplynovací kotel na hnědé uhlí a dřevo	K
PKK	Plynové kondenzační kotle	K
PKU	Zplynovací kotel na černé uhlí	K
PLT	Plynové lokání topidla	O
PNK	Plynový nízkoteplotní kotel	K
PPO	Plynové průtokové ohříváče	K
PPZ	Přímo ohřívavé plynové zásobníky	Z
PZK	Plynový kotel	K
S	Sluneční kolektor	NULL
SKV	Sluneční kolektor vakuový	S
SOL	Sluneční kolektor deskový	S
SZ	Solární zásobník	NULL

Obrázek 15: Kategorie zařízení

Modul MEX byl primárně vyvíjen pod operačním systémem Mac OS X 10.10 ve vývojovém prostředí Xcode 6.1. Zdrojový kód je doplněn o konfigurační soubory umožňující překlad modulu i na platformě Windows a Linux. Všechny soubory, obrázky, zdrojové kódy jsou umístěny v adresáři TZB_HOME¹.

¹Proměnná odkazující na místo v souborovém systému, kam jsou instalovány soubory aplikace TZBsim.

5.5. Finanční modul

Modul je napsaný v programovacím jazyku Matlab s použitím syntaxe objektově orientovaného programování. Hlavním důvodem je možnost zapouzdření dat do objektů a jednodušší a přehlednější práce se simulovanými daty. Celý modul je obsažen v následujících třídách :

- **TZBComodity** - odpovídá záznamu z DB tabulky Komodita
- **TZBEquipment** - odpovídá záznamu z DB tabulky Zarizeni
- **TZBSystem** - odpovídá záznamu z DB tabulky Soustava
- **TZBCalculation** - objekty této třídy odpovídají jedné simulaci
- **TZBObserver** - hlavní objekt - typu kontrolér

Sada tříd je umístěna v adresáři TZB_HOME/Matlab/Controllers.

5.5.1. Třída TZBComodity

Objekty této třídy odpovídají záznamům z databázové tabulky Komodita. Inicializace objektu je triviální a provede se zavoláním konstruktoru TZBComodity s identifikátorem komodity (Obrázek 16).

```
EDU>> k = TZBComodity('PL')
k = TZBComodity with properties:
ComodityId: 'PL'
Nazev: 'Zemni plyn'
Vyhrevnost: 3.6000
MernaJednotka: 'GJ/1MWh'
PredictionPeriod: 25
Trials: 1
LastRetailPrice: 1100
PriceUnit: 'Kč/1MWh'
Drift: NaN
Pstd: NaN
```

Obrázek 16: Výpis z inicializace objektu TZBComodity

Hlavní funkcí objektu je generování denních cen energie na nastavenou hodnotu let viz. atribut *PredictionPeriod*. Generování se provede zavoláním metody *monteCarlo*, která vypočtené hodnoty uloží do proměnné objektu. Pro další práci je výhodné pracovat s hodnotami ve formě Financial Time Series Objects - FINTS, které lze získat zavoláním metody *getPricesNivelizedFINTS*. Metoda provede převedení z denních hodnot na roční zprůměrováním.

5.5.2. Třída TZBEquipment

Objekty této třídy reprezentují vždy jeden záznam z DB tabulky *Zarizeni* a obsahuje katalogové hodnoty zařízení jako název výrobce a zařízení, pořizovací cena a předpokládaná životnost. Důležitou vlastností je hodnota proměnné *Reinvestice*, udávající jakou poměrnou částí se zařízení obnoví po uplynutí očekávané životnosti. To má význam například u tepelných čerpadel, kde jediným mechanickým dílem, který podléhá opotřebení je kompresor. Není tedy potřeba vyměnit celé tepelné čerpadlo, ale pouze tento díl. Pokud se nastaví hodnota parametru *Životnost* na předpokládanou délku životnosti kompresoru a parametr *Reinvestice* na hodnotu 0.3, je očekávaná hodnota výdajů na obnovu funkčnosti zařízení rovna pořizovací hodnotě celého zařízení * 0.3.

5.5.3. Třída TZBSystem

Objekty této třídy reprezentují vždy jeden záznam z DB tabulky *Soustava*. Voláním metody *isTemplate* lze zjistit zda se jedná o generovanou sestavu z šablony nebo o konkrétní sestavu z katalogu výrobce.

5.5.4. Třída TZBCalculation

Objekty této třídy jsou prvky pole, tak jak jsou vráceny voláním příkazu *TZBsim* (kapitola 4.3). Třída obsahuje metody pro výpočet peněžních toků, NPV, anuity a EAC. První čtyři instance jsou zobrazeny v hlavním okně. Objekt je vytvořen zavoláním konstruktoru *TZBCalculation* a na výpisu kódu z obrázku 17 je k nahlédnutí inicializace jednotlivých proměnných z pole hodnot vrácených funkcí *TZBsim*.

```

function obj = TZBCalculation(newCal)
    obj.Sablona = newCal.idSablona;
    obj.CenaPorizeni = newCal.cenaPorizeni;
    obj.CenaInstalace = newCal.cenaInstalace;
    obj.Vykon = newCal.vykon;
    obj.Generovany = newCal.generovany;
    obj.Zivotnost = newCal.zivotnost;
    obj.CenaProvoz = newCal.cenaProvoz;
    obj.CF = [];
    obj.TZBcom = TZBComodity.empty(length(newCal.komodita), 0);
    for idx = 1 : length(newCal.komodita)
        obj.TZBcom(idx) = TZBComodity(newCal.komodita(idx));
        obj.TZBcom(idx).ComConsumption = newCal.mnozstviKomodit(idx);
    end
    obj.TZBequip = TZBEquipment.empty(length(newCal.zarizeni), 0);
    for idx = 1 : length(newCal.zarizeni)
        obj.TZBequip(idx) = TZBEquipment(newCal.zarizeni(idx));
    end
    obj.TZBSystem = TZBSystem(newCal.id);
    obj.Rate = TZBObserver.getInstance().DiscountRate;
end

```

Obrázek 17: Výpis z inicializace objektu TZBCalculation

5.5.5. Třída TZBObserver

Centrálním objektem typu kontrolér je TZBObserver, který udržuje pole kalkulací (TZBCalculation) a hlídá všechny parametry prostředí. Jakmile dojde ke změně parametru prostředí, provede přepočítání kalkulací. Obsahuje taktéž proměnné s vazbou do grafického rozhraní (GUI) a po každém výpočtu dojde k automatickému překreslení a aktualizaci GUI.

5.6. Grafické rozhraní TZBsim

Grafické rozhraní je naprogramováno v jazyce Matlab a soubory .m jsou umístěny v adresáři TZB_HOME/Matlab/GUI. Aplikace se spouští příkazem *MainPanel* a po úspěšném spuštění se zobrazí úvodní okno, tak jak je na obrázku 9. Přepočet a zobrazení aktuální simulace se provede po změně vstupních parametrů případně lze vynutit stisknutím tl. Generuj. V takovém případě se zavolá metoda objektu TZBObserver *redisplay()*, která provede přepočet prostředí a překreslí komponenty grafického rozhraní. Pro registraci komponent GUI je určena metoda *registerForRedisplay()*. Na následujícím obrázku jsou vidět kroky po spuštění aplikace příkazem *MainPanel*.

```
tzb = TZBObserver.getInstance();
tzb.registerForRedisplay(handles);
tzb.setValueForKey('SYSTEMS', {'JNK1', 'JTC1', 'PRE1', 'VER1'});
tzb.redisplay();
```

Obrázek 18: Inicializace hlavního okna

Modelování lze konfigurovat přímo v hlavním okně zadáním ztrátovosti domu nebo hodnoty celkového potřebného tepla k vytápění. Ostatní parametry modelu lze nastavit v doplňujících panelech :

- **Filtry** - kategorie zařízení
- **Šablony a sestavy** - obecné šablony/konkrétní sestavy
- **Finanční parametry** pro výpočet NPV/EAC
- **Komodity** - modelování cen komodit a energií

5.6.1. Filtry

Panel konfiguruje parametry pro modul Generování a filtrace otopných soustav - Matlab/MEX/C++ (kapitola 4.3). Zařízení jsou rozdělena do skupin podle druhu spotřebovávané energie/komodity. Po vybrání skupiny dojde k aktivaci zaškrtačacích políček pro danou skupinu a uživateli je povoleno upřesnit zadání. Lze například

modelovat pouze otopné soustavy obsahující výhradně kondenzační kotle nebo naopak zvolit celou kategorii plynových zařízení. Aby nedocházelo během výběru k automatickému přepočítávání prostředí, je potřeba vždy na konci potvrdit volbu stisknutím tl. “Prepocitat”, kdy dojde k simulaci a vykreslení výsledku v hlavním okně. Přepočet je spuštěn i po uzavření panelu.

Po zadání požadavků na kategorie zařízení je nastaven parametr KATEGORIE a předán funkci $TZBsim$, která provede filtraci databáze a vrátí požadované výsledky. Parametr KOMODITY není z GUI předáván a lze tak využít pouze u simulací v příkazovém řádku Matlabu. Panel je na obrázku 19.

The image shows a software interface titled "<Student Version> : Filters". It is divided into several sections for selecting energy system components:

- Elektrina**: Includes power capacity selection (0-10KW, 21-40KW, 41-50KW, 51-60KW), checkboxes for "Elektrina primotop", "Teplovodni elektrokotel", "Konvekcní panely", "Salave panely", "Podlahove el. vytapeni", "Elektrina akumulace", "Akumulacni nadrze", "Akumulacni kamna", "Tepelne cerpadlo", "Zeme/Voda", and "Vzduch/Voda". It also features three "Tarif" dropdown menus with options like D45d, D25d, D26d, D36d, D55d, and D56d.
- Biomasa**: Includes checkboxes for "Drevo", "Drevene brikety", "Klasicky kotel", "Zplynovaci kotel", "Krbova kamna", "Drevene pelety", "Rostlinne pelety", "Peletovy horak + kotel", "Specialni kotel na pelety", "Stepka", "Kotel na stepku", "Obili", and "Automaticky kotel univerzalni".
- Plyn a kapalna paliva**: Includes checkboxes for "Zemni plyn", "Propan", "Lokalni topidla", "Klasicky kotel", "Kondenzacni kotel", "Nizkoteplotni kotel", "LTO", "Kotel s olejovym horakem", and "Kondenzacni kotel".
- Pevna paliva**: Includes checkboxes for "Hnedi uhlí", "Cerne uhlí", "Kamna na uhlí", "Klasicky kotel na uhlí", "Automaticky kotel na uhlí", "Koks", and "Prohorivaci kotel".
- Ostatni**: Includes checkboxes for "Fotovoltaika", "Solarni panely deskove", and "Solarni panely vakuove".

At the bottom right, there are input fields for "Pocet osob : 4" and "Rekuperace 75 %", and two buttons labeled "Prepocitat" and "Zavrit".

Obrázek 19: Panel výběru kategorie otopné soustavy

5.6.2. Šablony a sestavy

V panelu šablony a sestavy lze zadat buď výběr obecných šablon, které budou naplněny v průběhu generování nebo seznam konkrétních předdefinovaných sestav. Panel se plní obsahem DB tabulky Soustava a v levé části obsahuje seznam šablon (cena = -1) a v pravé části hotových sestav (cena > 0).

Panel po zadání požadavků plní parametr SABLONA nebo SOUSTAVA příslušnými identifikátory šablon/sestav podle příslušné skupiny a předán funkci TZBsim ke zpracování. Vzhled panelu je na obrázku 20.

The screenshot shows a software window titled '<Student Version> : Templates'. It contains two tables and a schematic diagram.

Seznam šablon

ID	Nazev	Vybr
1	EKPO Elektrokotel - podlahové vytápění	<input type="checkbox"/>
2	EKRA Elektrokotel - radiátory	<input type="checkbox"/>
3	EKZS Elektrokotel + Solární systém + Zásobník	<input type="checkbox"/>
4	KKSS Kondenzační kotel + solární systém	<input type="checkbox"/>
5	KKZ1 Konden. kotel a nepřímo ohřív. zásobník	<input type="checkbox"/>
6	KOAU Automatický kotel (dřevo, biomasa, uhlí)	<input type="checkbox"/>
7	KODR Kotel na dřevo	<input type="checkbox"/>
8	KOLT Kotel na LTO	<input type="checkbox"/>
9	KOOS Kotel na obilí - štěpku	<input type="checkbox"/>

Seznam soustav

ID	Nazev	Cena	Vybrat
1	ATM1 ATMOS D 15P	39204	<input checked="" type="checkbox"/>
2	HEO1 Hercules U22 PN	26527	<input checked="" type="checkbox"/>
3	HER1 Hercules U28	40213	<input checked="" type="checkbox"/>
4	JNK1 ZSB 14-3 C + ST 120-2E	59882	<input type="checkbox"/>
5	JNK10 ZSC 24-3 MFK + ST 65E	55647	<input type="checkbox"/>
6	JNK11 ZSC 24-3 MFK + ST 120-2E	50807	<input checked="" type="checkbox"/>
7	JNK12 ZSC 24-3 MFK + ST 160-2E	54437	<input type="checkbox"/>
8	JNK13 ZSC 28-3 MFK + ST 120-2E	53227	<input type="checkbox"/>
9	JNK14 ZSC 28-3 MFK + ST 160-2E	55647	<input type="checkbox"/>
10	JNK15 ZSN 11-7 KF + ST 120-2E	59169	<input type="checkbox"/>

Schematic Diagram: The diagram shows a 'Prohořivací kotel' (boiler) on the left and 'Otopná tělesa' (radiators) on the right. A red line represents the heating medium flow from the boiler to the radiators. A blue dashed line represents the return flow from the radiators back to the boiler. A control unit is connected to the boiler via a dashed line.

Zavřít

Obrázek 20: Panel výběrů šablon a sestav TZB

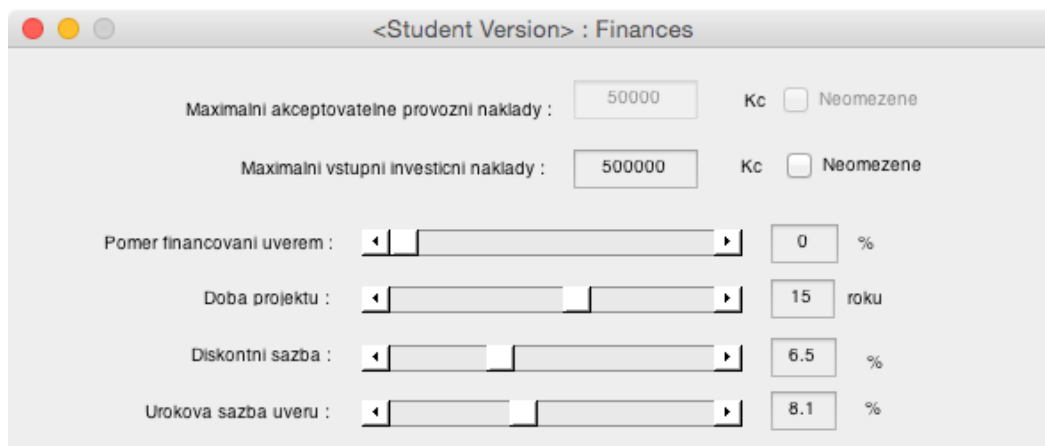
5.6.3. Finanční parametry

Panel je grafickým rozhraním k finančnímu modulu a nastavuje základní parametry potřebné k výpočtu anuity, NPV a EAC. Jakákoliv změna v tomto panelu vede k okamžitému přepočtu prostředí a vždy k překreslení hlavního okna. Lze tak přímo modelovat např. vliv změny v diskontní sazbě nebo vliv poměru financování úvěrem a pozorovat v hlavním okně vliv změn parametrů na jednotlivé roční peněžní toky, hodnoty NPV a EAC.

Nastavit je možno tyto parametry:

- předpokládaná životnost projektu projektu
- diskontní sazba
- úroková sazba úvěru
- poměr financování úvěrem na celkových pořizovacích nákladech
- maximální provozní náklady
- maximální pořizovací náklady

Parametry se nastavují posuvníkem, kdy se změna promítá do příslušného textového pole nebo přímo zadáním požadované hodnoty přímo do textového pole. Vzhled panelu je na obrázku 21.



Obrázek 21: Panel nastavení finančních parametrů

5.6.4. Panel modelování cen energií a komodit

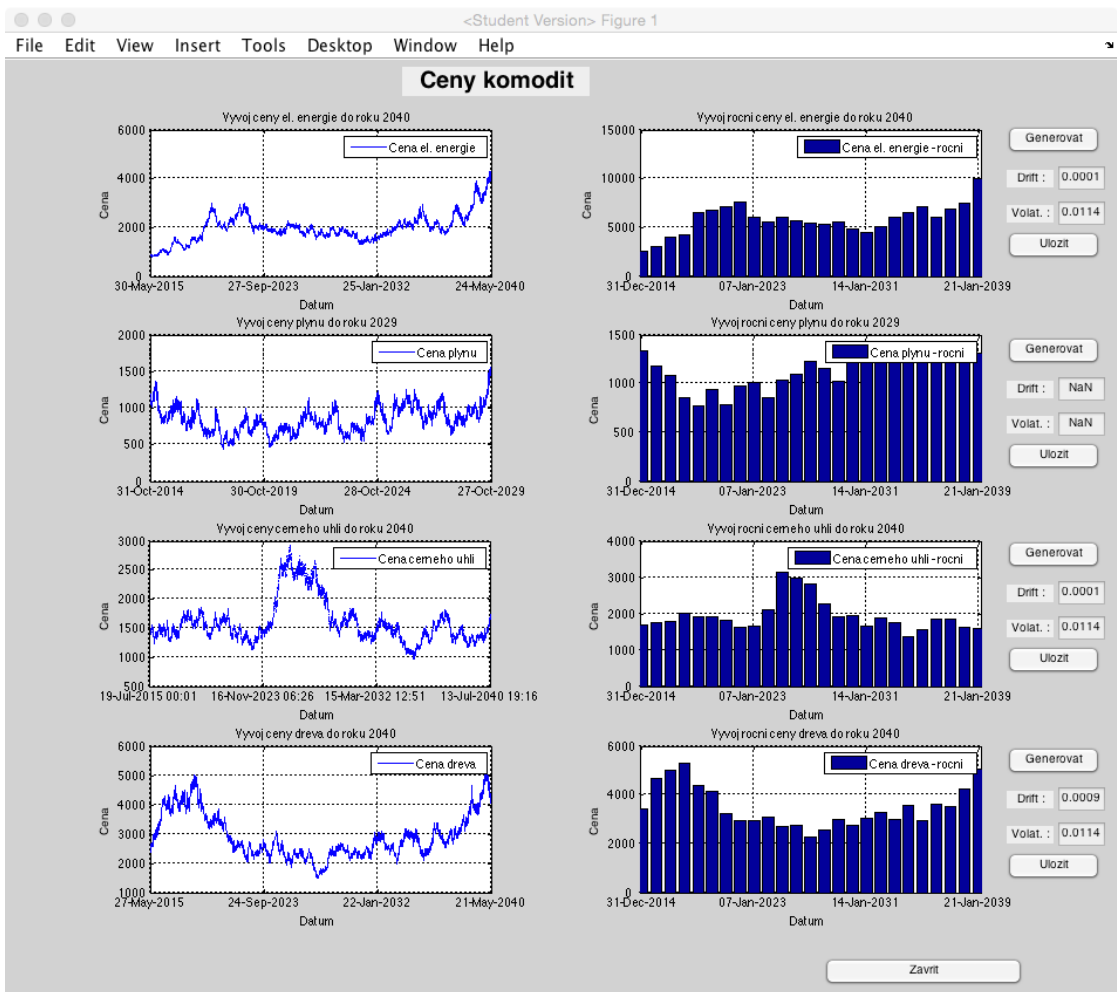
Panel obsahuje rozhraní k objektu TZBComodity (kapitola 4.4.1) a zobrazuje aktuální generované ceny s výhledem do roku $Y+25$, kde Y je aktuální rok. Rozhraní je pro energie, které mají nahrány historické ceny v databázi a ze kterých se počítají parametry driftu a volatility (kapitola 3). Ty je možno změnit přímo v panelu v textových polích “Drift:” a “Volat:”. Po stisknutí tl. “Generovat” dojde k zavolání metody *monteCarlo* na objektu TZBComodity, výpočtu nových cen a zobrazení v panelu. Vlevo jsou vždy denní hodnoty a vpravo zprůměrované roční ceny, tak jak budou použity pro výpočet nákladů vždy k danému roku. Parametry driftu a volatility se získají :

- přímo z historických cen výpočtem
- z databáze (Obrázek 2)
- zadáním přímo v panelu

Pokud jsou generované hodnoty natolik vyhovující, je možnost všechny hodnoty uložit do databáze. Tabulky pro uložení mají název složen z názvu komodity a přípony Generated. Po ukončení programu a opětovném spuštění jsou vždy použity tyto předgenerované hodnoty až do dalšího přegenerování a uložení.

V případě, že by byla zadaná hodnota životnosti projektu ve finančním panelu tak dlouhá, že by neexistovaly vygenerované ceny, je vráceno maximální pole generovaných cen a pole je doplněno poslední známou cenou až do požadované délky. Panel je na obrázku 22. Interval generování je nastavitelný parametrem *PredictionPeriod* na objektu TZBCommodity.

Modulární stavba aplikace dovoluje samostatné spuštění panelu příkazem `CommoditiesMC` v příkazovém řádku Matlabu a je tedy možné panel používat nezávisle na aplikaci TZBsim.

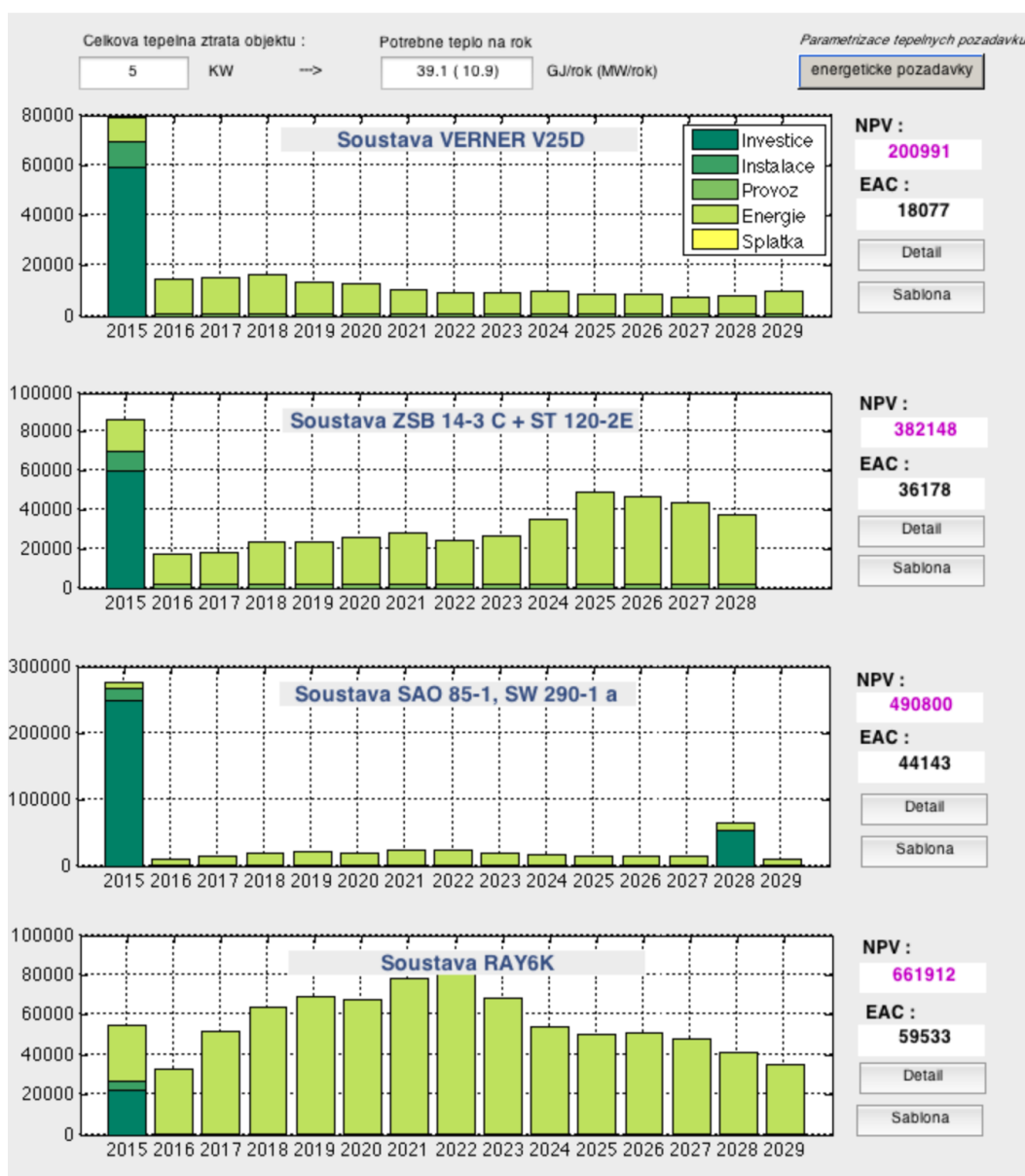


Obrázek 22: Panel cen komodit a energií

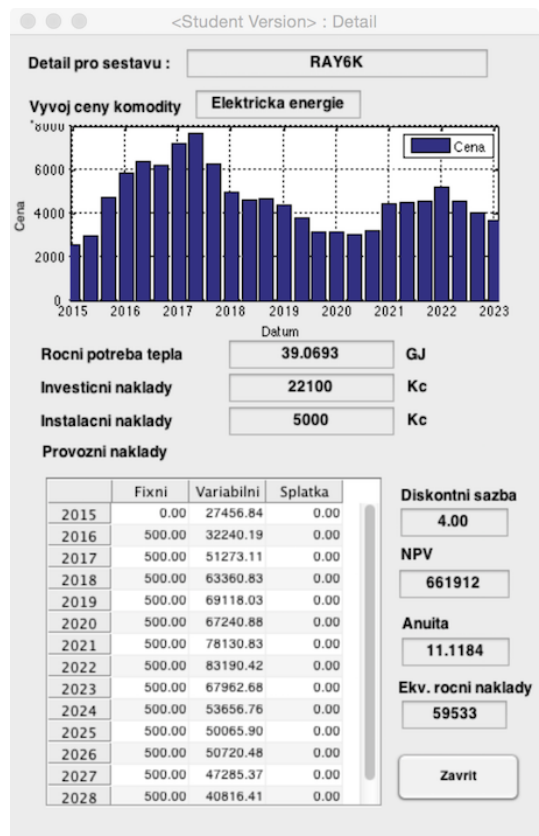
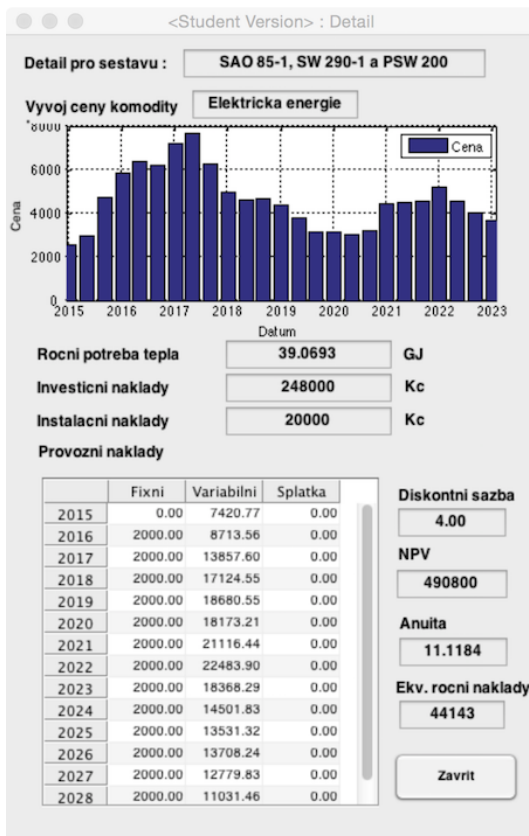
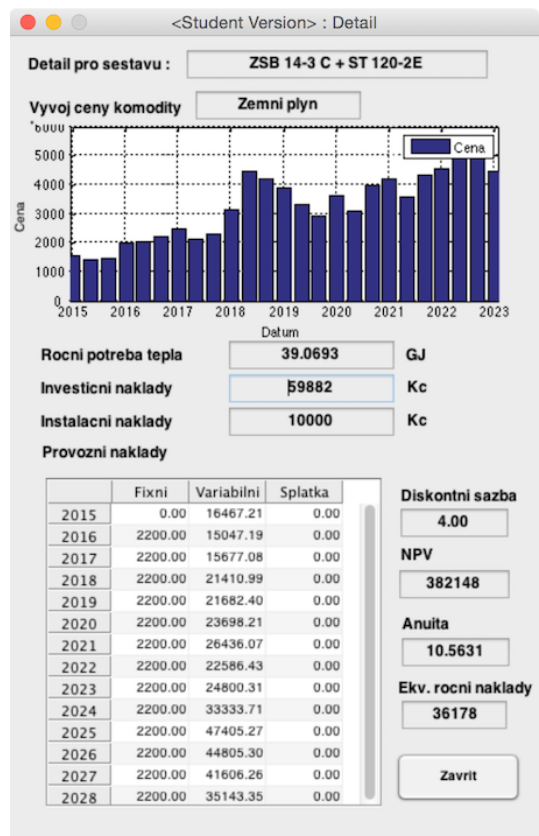
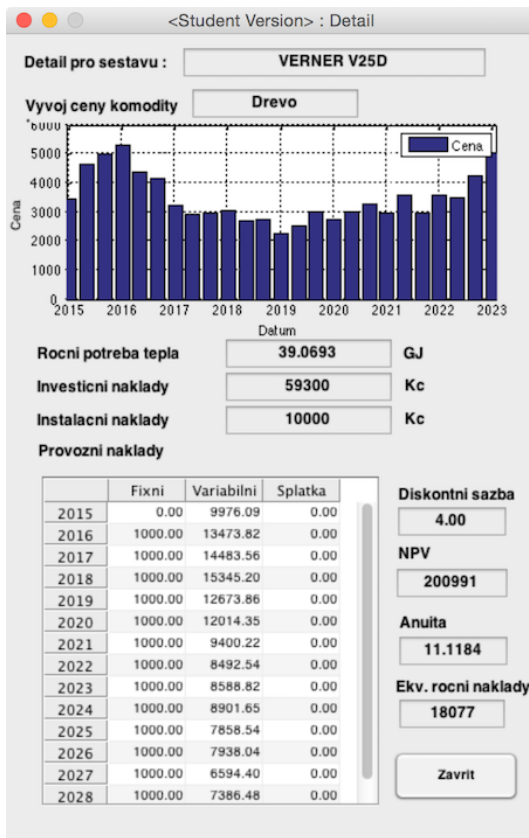
6. Modelové případy

6.1. Nízkoenergetický dům s $Q_c \sim 5kW$

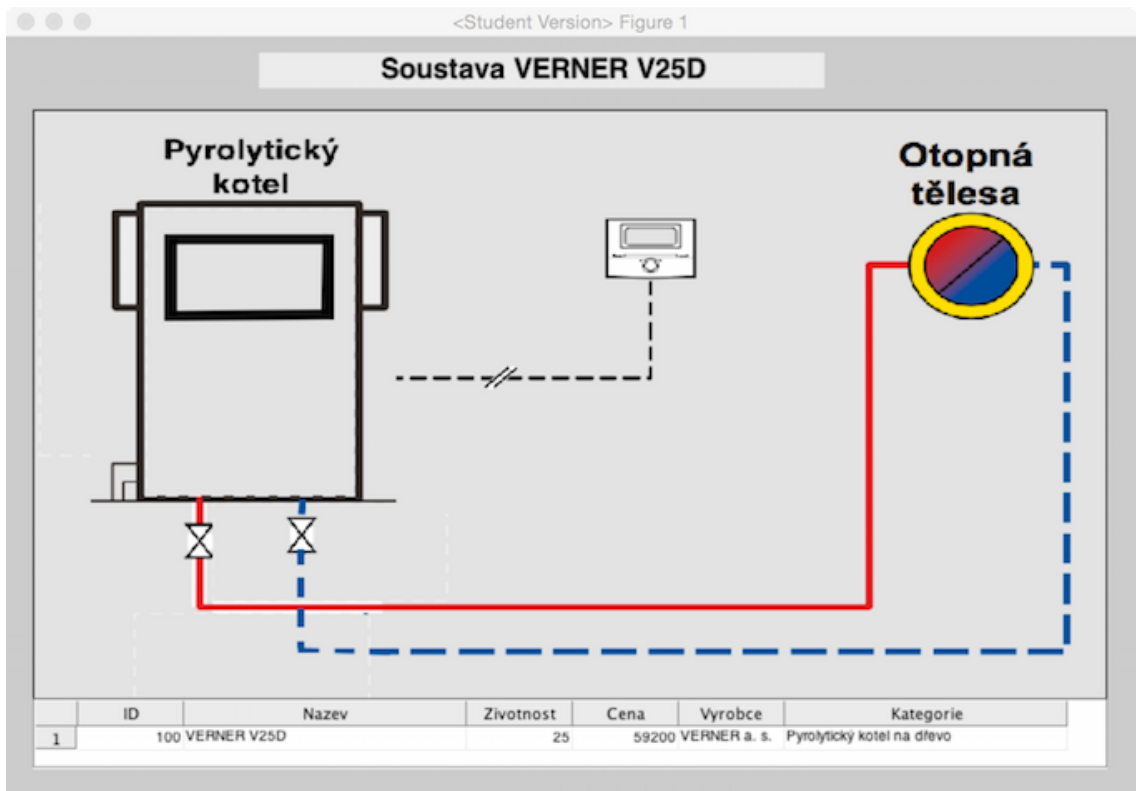
Domy v této kategorii se nacházejí mezi klasickými a pasivními domy. Dosahují vysokých úspor ve spotřebě energií na vytápění především kvalitním zateplením. Důležitou roli hraje například orientace domu vůči světovým stranám, kvalitní regulace, použití rekuperace.



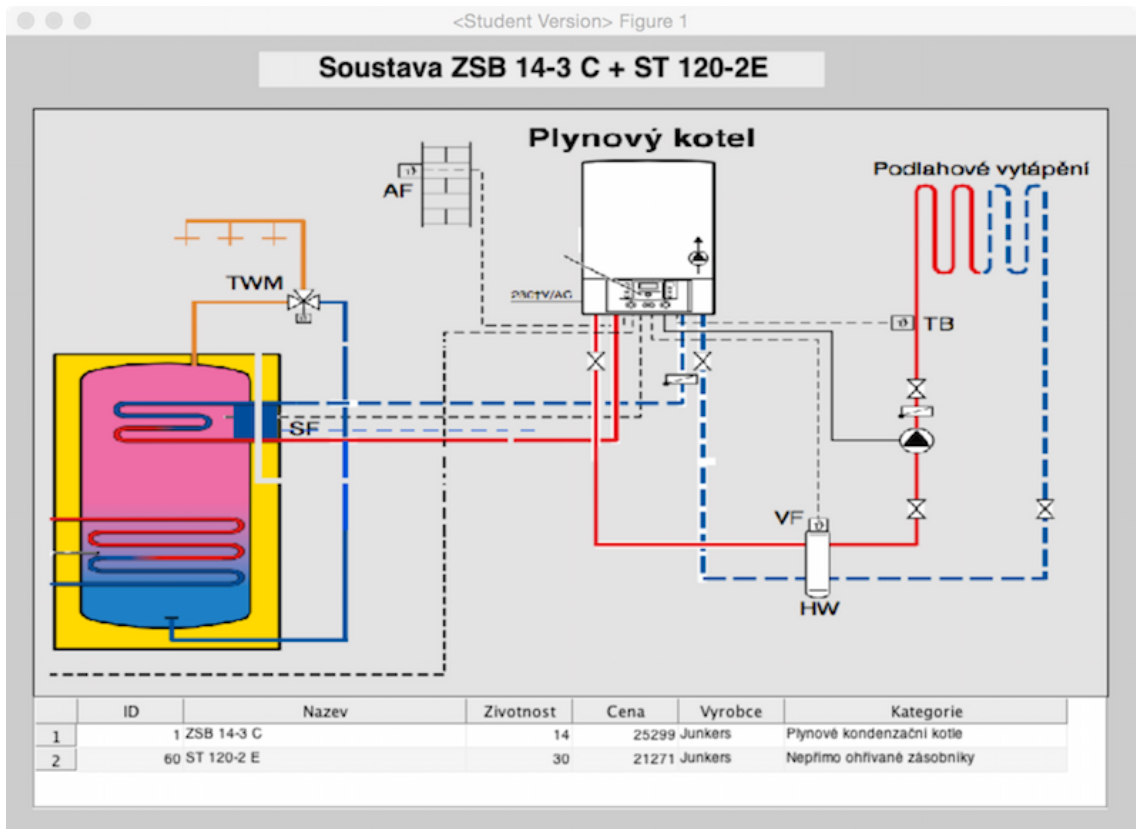
Obrázek 23: Hlavní okno pro modelování nákladů nízkoenergetického domu s $Q_c \sim 5kW$



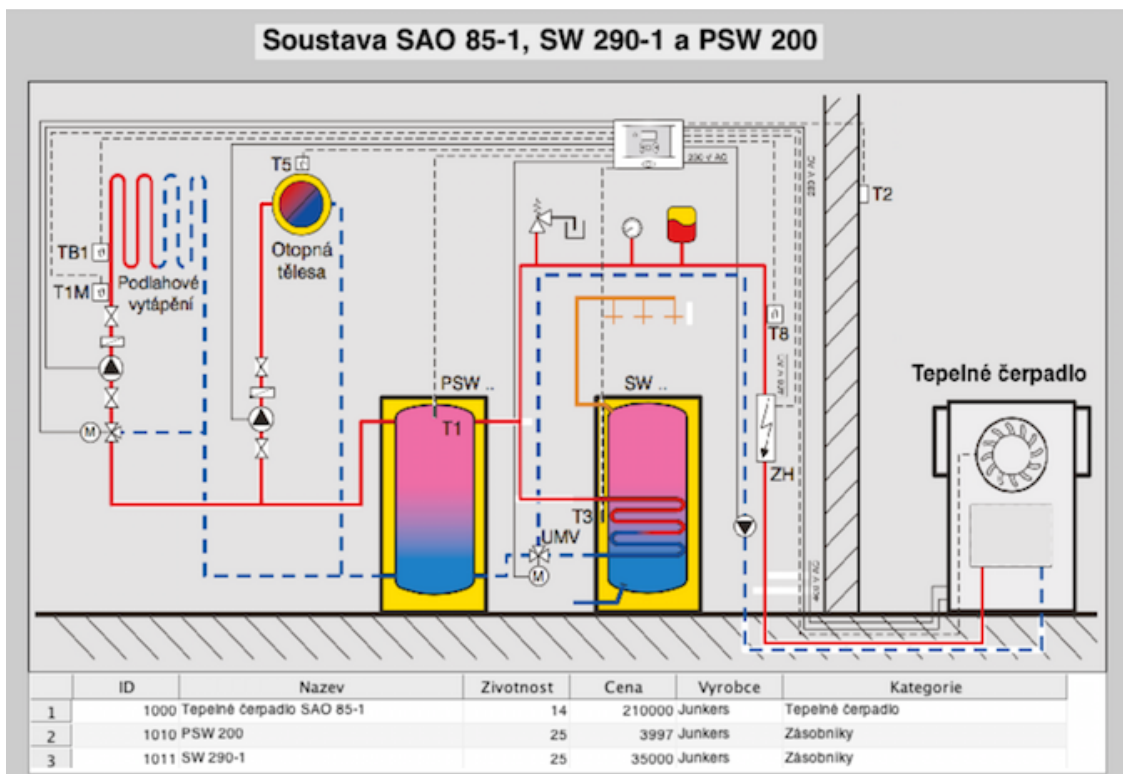
Obrázky 24-27: Detaily pro modelování nákladů nízkoenergetického domu s $Q_c \sim 5kW$



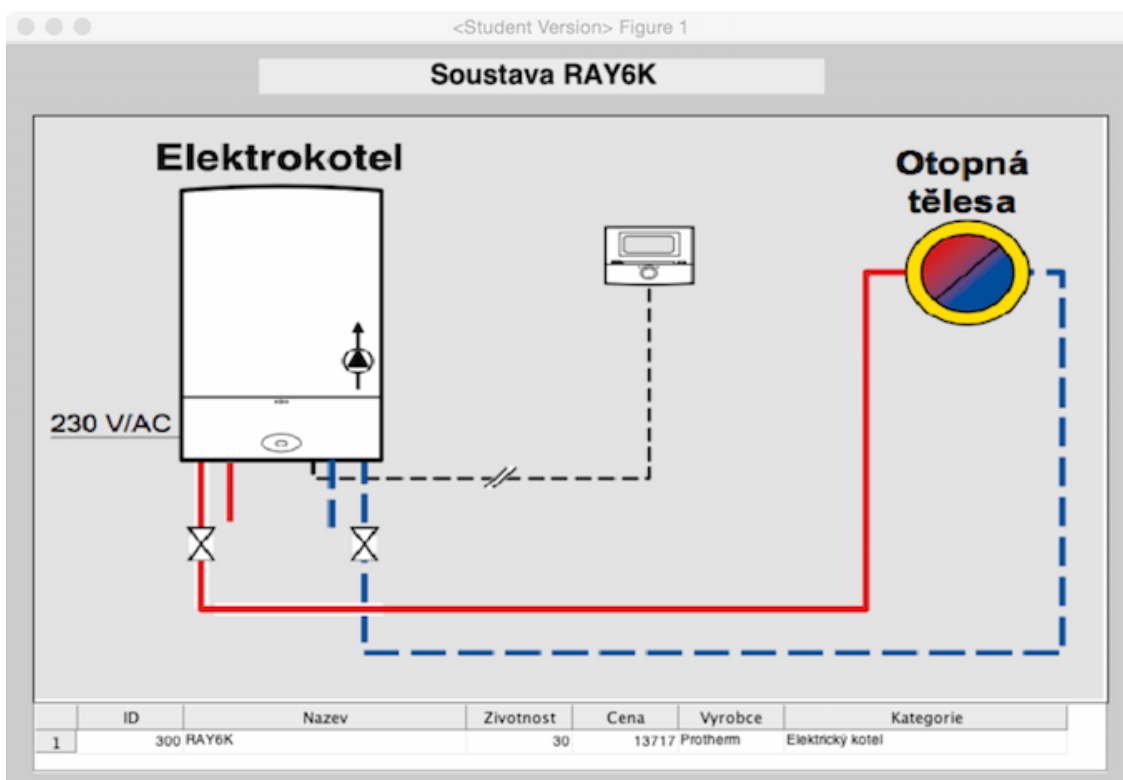
Obrázek 28: Detail sestavy s pyrolytickým kotlem Verner V25D



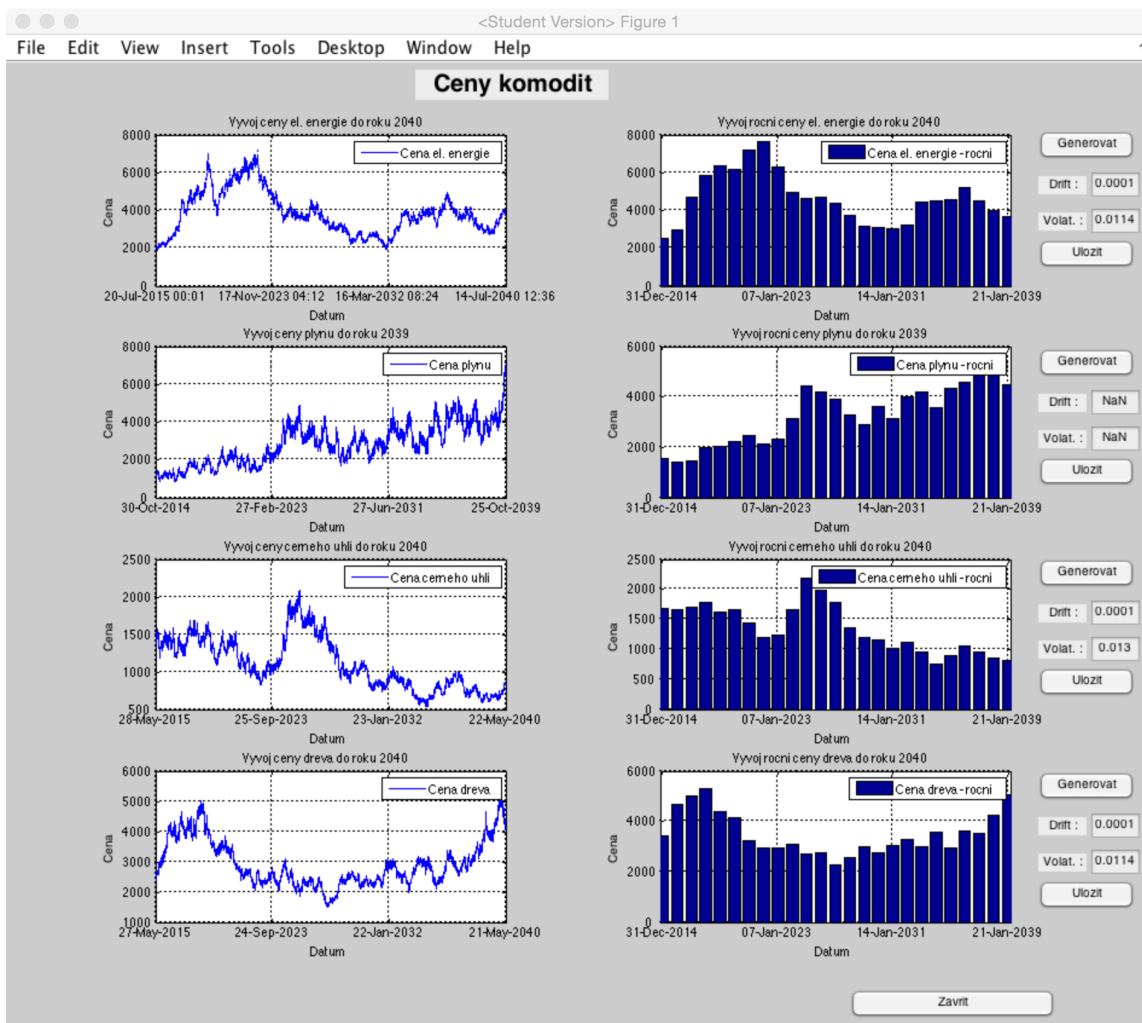
Obrázek 29: Detail sestavy s kondenzačním kotlem Junkers ZSB 14-3C



Obrázek 30: Detail sestavy s tepelným čerpadlem Junkers SAO 85-1



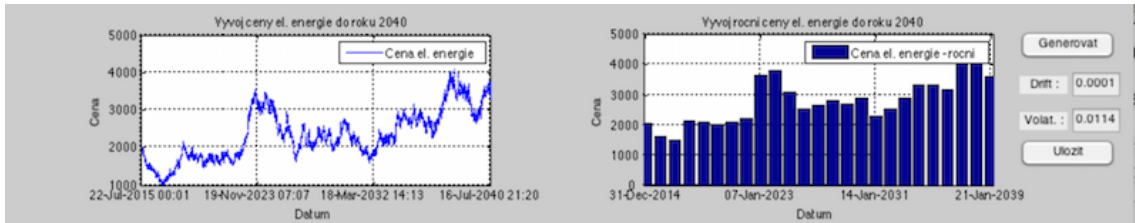
Obrázek 31: Detail sestavy s elektrickým kotlem Protherm RAY6K



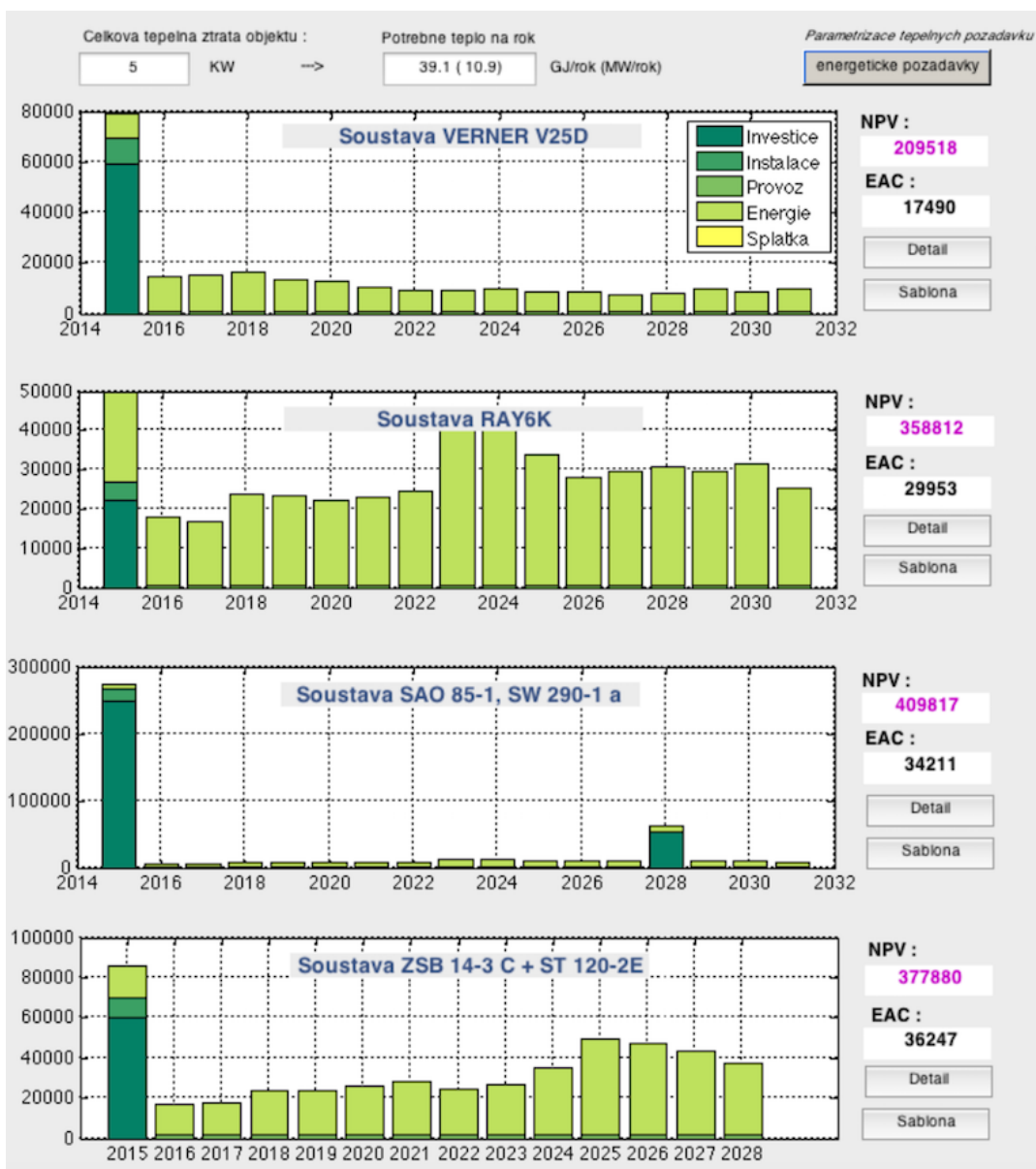
Obrázek 32: Panel cen komodit a energií

Pro tuto variantu byly vybrány konkrétní sestavy, obsahující postupně pro jednotlivé varianty pyrolytický kotel na dřevo Verner, plynový kondenzační kotel Junkers, tepelné čerpadlo Junkers a elektrický kotel Protherm. Detaily jednotlivých variant, šablony jednotlivých sestav a vývoj cen energií jsou postupně na obrázcích. V tomto případě je požadovaná životnost projektu nastavena na 15 roků a investice nebyla financována z cizích zdrojů. Cenový vývoj energií se očekává v případě elektrické energie s výrazným růstem k úrovni 7 000Kč za MWh s následným poklesem. V případě plynu je modelován vývoj ceny s mírně rostoucím trendem do roku 2040. Uhlí s mírnými korekcemi má klesající trend a u dřeva stabilní cenová hladina. Jako první byla vyhodnocena varianta s pyrolytickým kotlem Verner s ekvivalentními ročními náklady 18 077 Kč. U varianty s tepelným čerpadlem se v roce 2028 očekává reinvestice do kompresoru, který se v daném roce promítne ve zvýšené hodnotě peněžního toku. Požadovaná délka životnosti je nastavena na 15 let. V případě 2. varianty s kondenzačním kotlem je životnost kotle nastavena na 14 let, bez možné reinvestice a tak se modelují peněžní toky pouze do roku 2028.

Po přegenerování cen energií, dostaneme optimističtější vývoj ceny elektřiny s velmi pozvolným růstem ceny. V takovém případě se varianta s elektrokotlem posune na 2.místo.

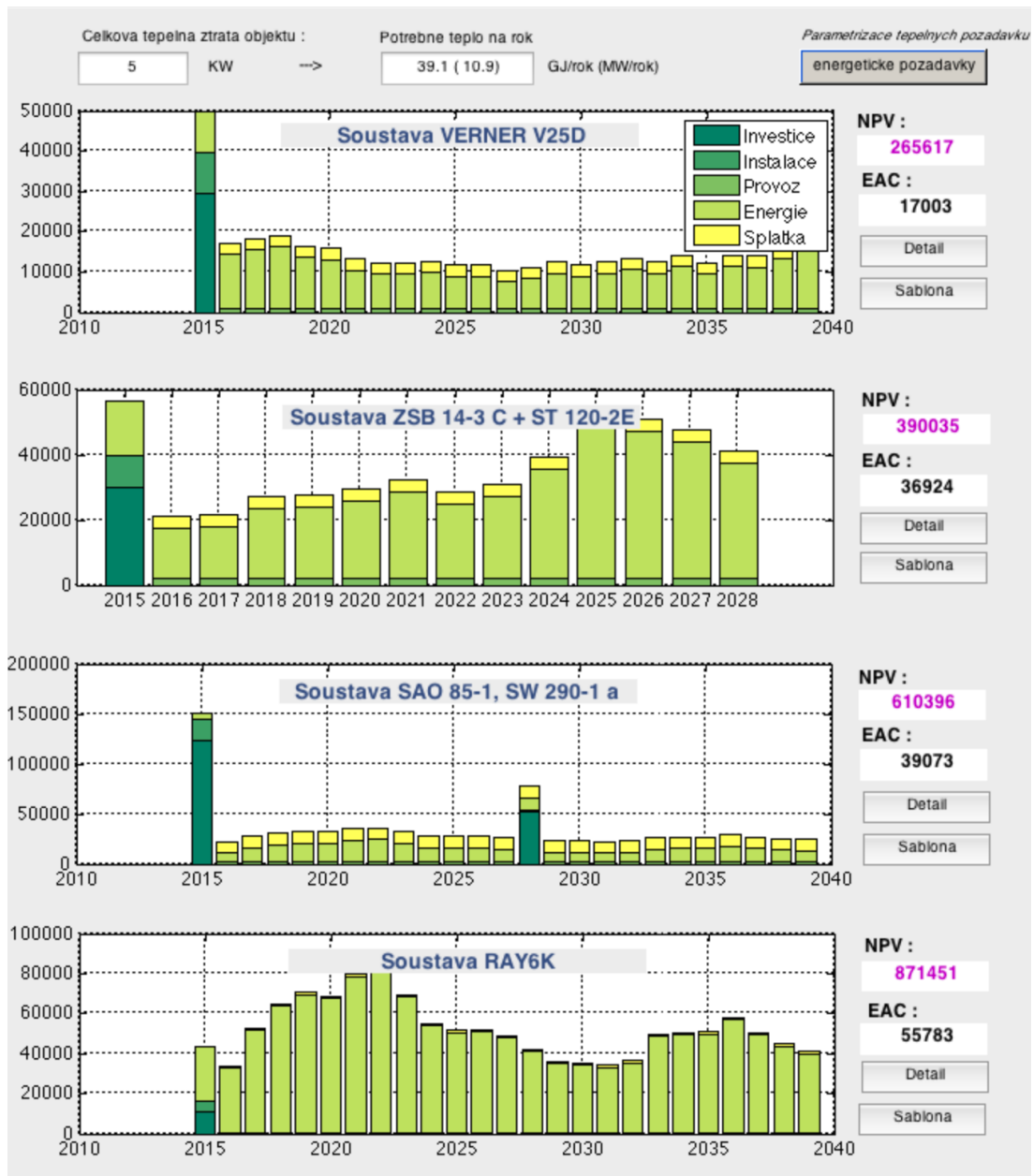


Obrázek 33: Panel cen komodit a energií s pozvolným růstem ceny elektřiny



Obrázek 34: Hlavní okno domu s $Q_c \sim 5kW$ s pozvolným růstem ceny elektrické energie

Na následujícím obrázku modelujeme první variantu. Otevřeme panel financí a zvolíme maximální možnou délku životnosti, v délce 25 let. K tomu zvolíme financování vstupní investice z 50% cizím kapitálem s úrokovou sazbou 8%. V hlavním panelu jsou v jednotlivých sloupcích splátky úvěrů zobrazeny žlutou barvou.



Obrázek 35: Hlavní okno domu s $Q_c \sim 5kW$ s 50% úvěrem na investici

<Student Version> : Finances

Maximalni akceptovatelne provozni naklady : Kc Neomezene

Maximalni vstupni investicni naklady : Kc Neomezene

Pomer financovani uverem : %

Doba projektu : roku

Diskontni sazba : %

Urokovaa sazba uveru : %

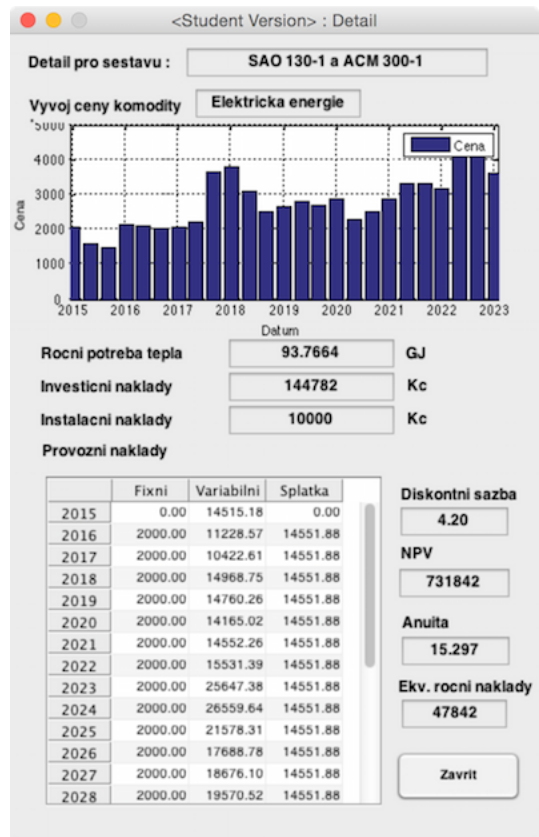
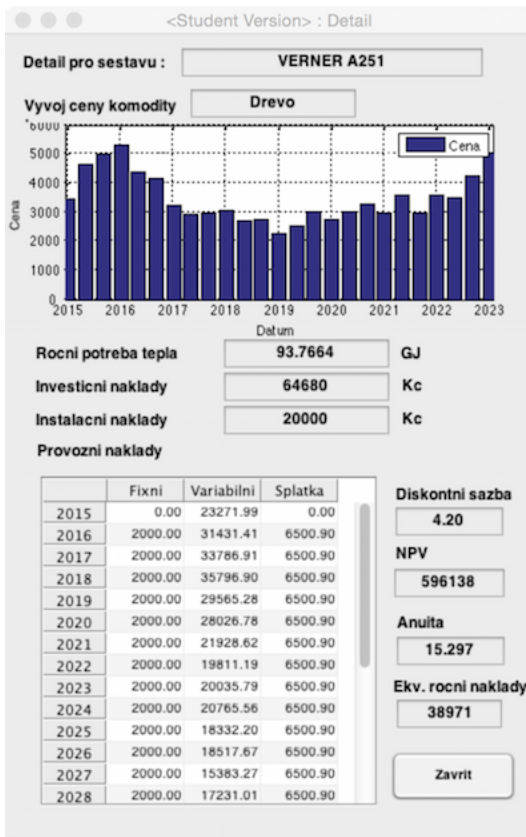
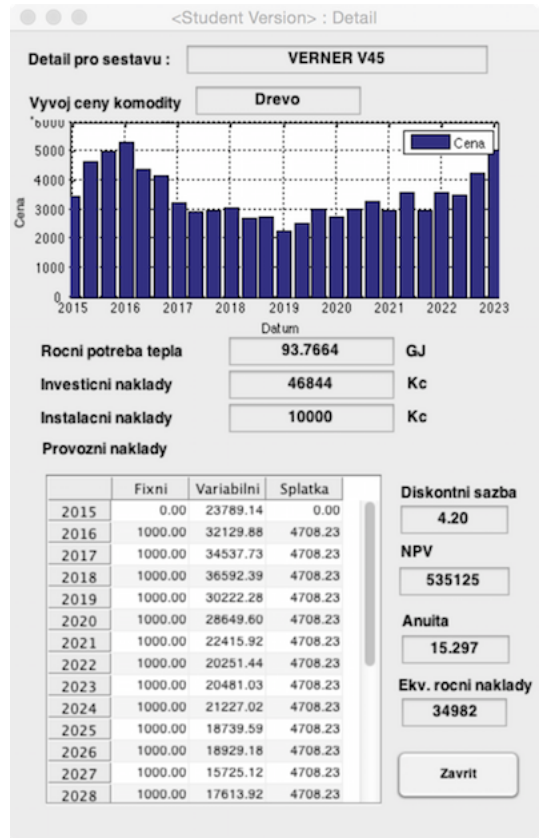
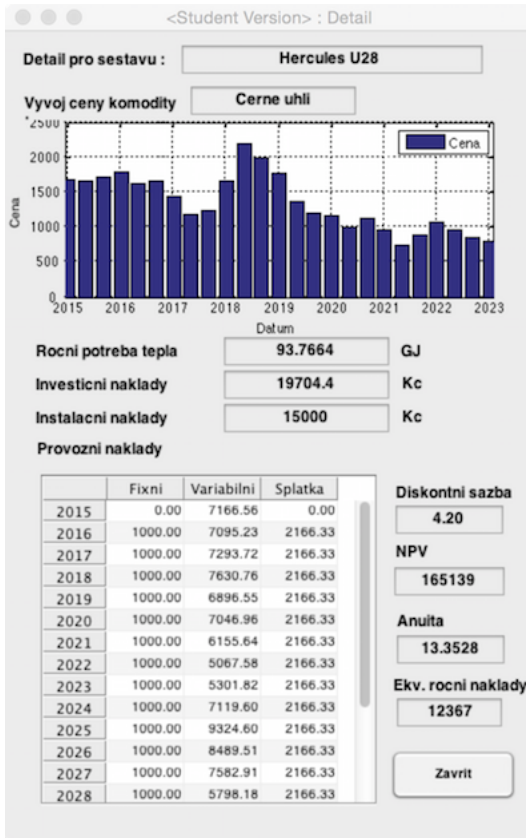
Obrázek 36: Nastavení finančních parametrů domu s $Q_c \sim 5kW$

6.2. Obvyklý dům staré zástavby s $Q_c \sim 12\text{kW}$

Dalším modelovaným případem je varianta obvyklého domu starší zástavby s teplenými ztrátami 12 kW, což představuje tepelnou potřebu 93.8 GJ za rok. Pro ilustraci možností programu TZBsim pro tento dům použijeme maximální možnou délku životnosti v délce 25 let. Pro vstupní investici nastavíme z 50% cizí kapitál s úrokovou sazbou 8%. Očekáváme pozvolný nárůst cen energie, tak jak je zobrazen na obrázku 33. Nejnižší ekvivalentní náklady vykazuje varianta s odhořivacím kotlem na uhlí Hercules U28. Následuje pyrolytický kotel na dřeva Verner V45, automatický kotel na pelety A251 a sestava s tepelným čerpadlem Junkers SAO130. U tepelného čerpadla je po 14 očekávaná investice do nového kompresoru.



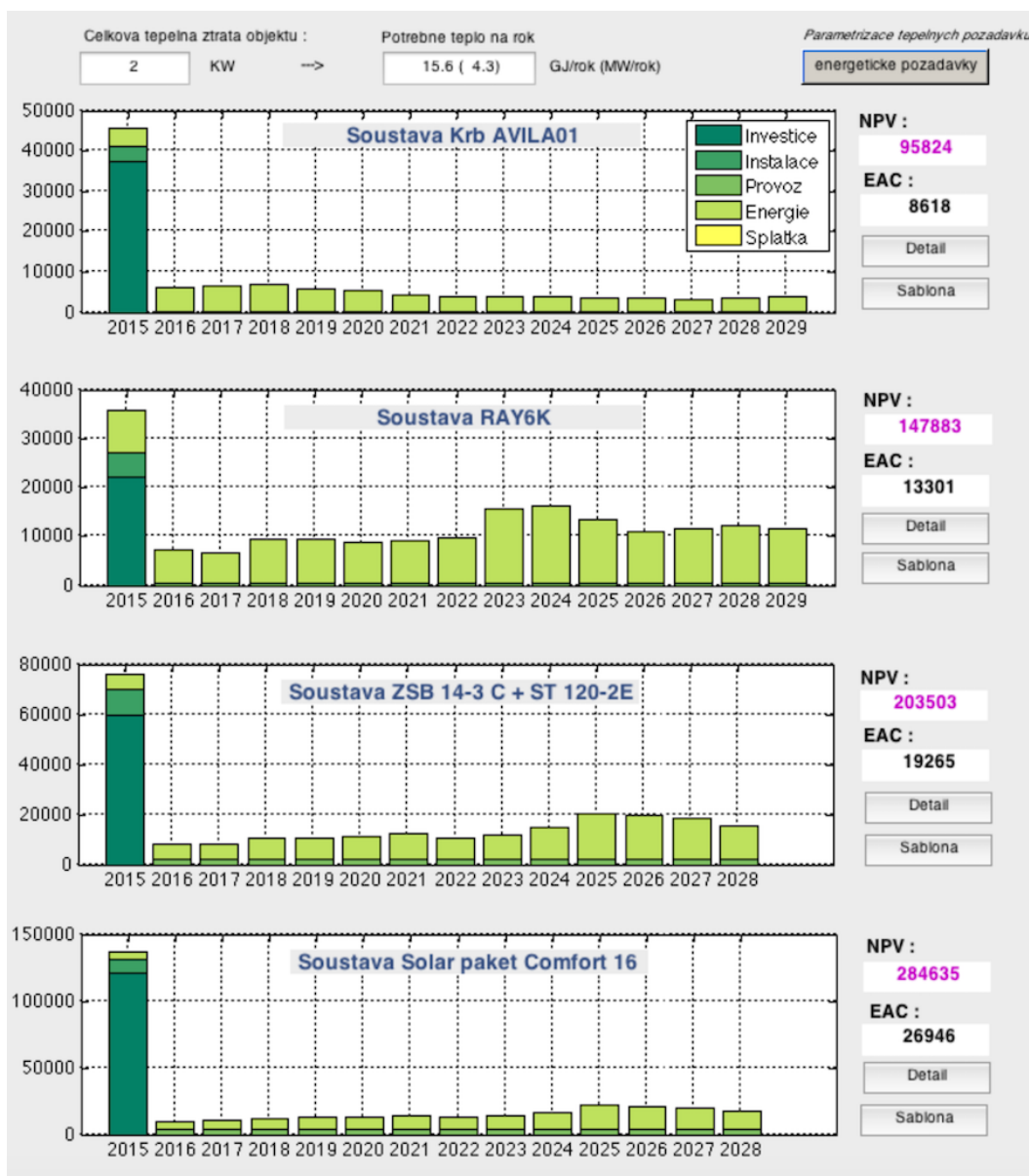
Obrázek 37: Hlavní okno domu s $Q_c \sim 12\text{kW}$ s 50% úvěrem na investici



Obrázky 38-41: Detaily pro modelování nákladů domu s $Q_c \sim 12kW$

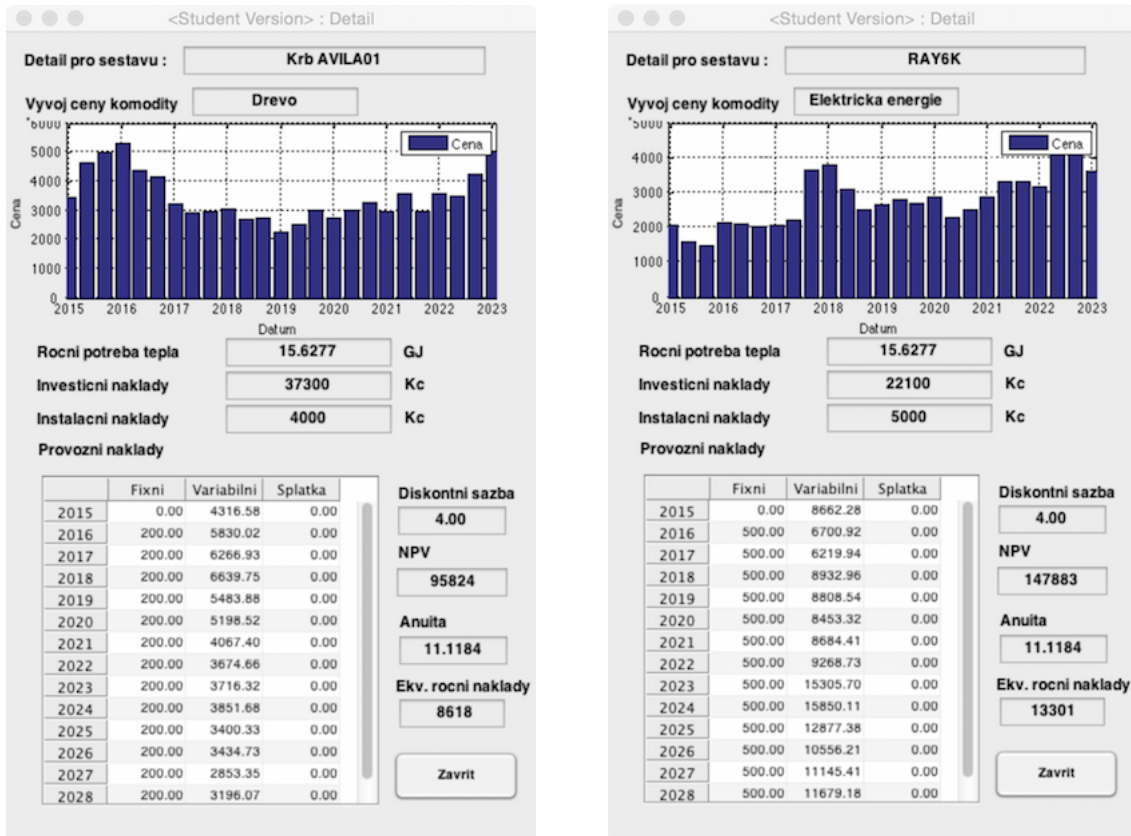
6.3. Pasivní dům s $Q_c \sim 2\text{kW}$

Domy patřící do této kategorie využívají tepelných zisků v budově. Zde počítáme zisky vnější, ze slunečního záření, ale především vnitřní od zdrojů nacházejících se uvnitř budovy. Energetické nároky jsou tak malé, že lze započítat uživatele budovy, elektrické spotřebiče - osobní počítač, žárovka atd. Nutnou podmínkou je eliminace veškerých tepelných mostů a velice kvalitní izolace od okolí. Dům jsme zařadili do modelování i když takový dům lze jen ztěžko vytápět z konvenčních zdrojů. Požadovaný výkon běžných zařízení TZB je pro efektivní práci v takové budově příliš velký. To ve svém důsledku znamená cyklické spínání zařízení, rychlejší opotřebení a podstatné snížení životnosti. Pasivní domy si část topné sezony vystačí s tepelnými zisky a ve zbytku je nutné je dotápět.

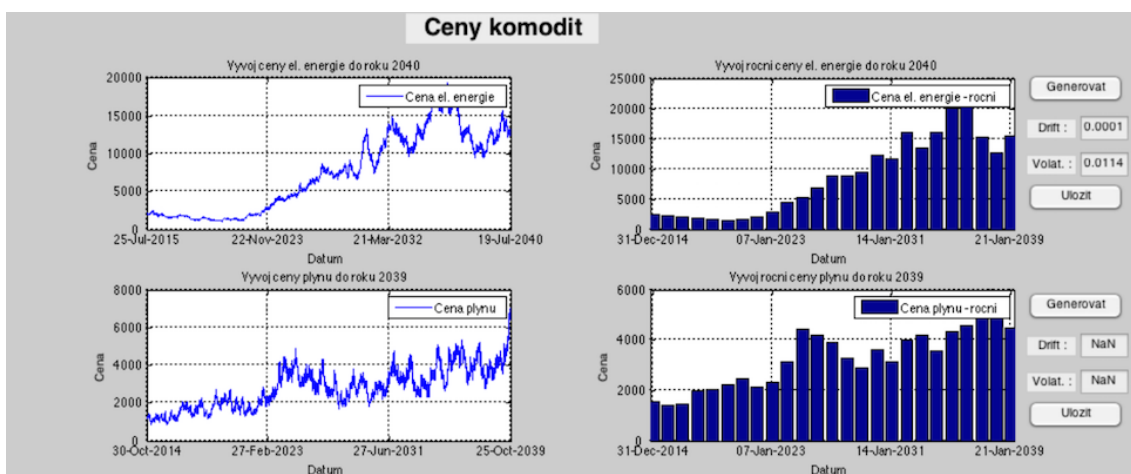


Obrázek 42: Hlavní okno pasivního domu s $Q_c \sim 2\text{kW}$

Vhodný typ vytápění pasivního domu je teplovzdušné vytápění, často doplněné krbem, rekuperační jednotka s topnou spirálou, tepelné čerpadlo a fotovoltaické panely. Simulace byla provedena na krbových kamnech Romotop AVILA 01, elektrickém kotli Protherm RAY6K, plynové, kondenzačním kotli Junkers ZSB 14-3 C a solární paket s kondenzačním kotlem a solárním zásobníkem. Výstupem simulace je obrázek 42. Detaily k prvním dvěma variantám jsou na obrázcích 43 a 44.

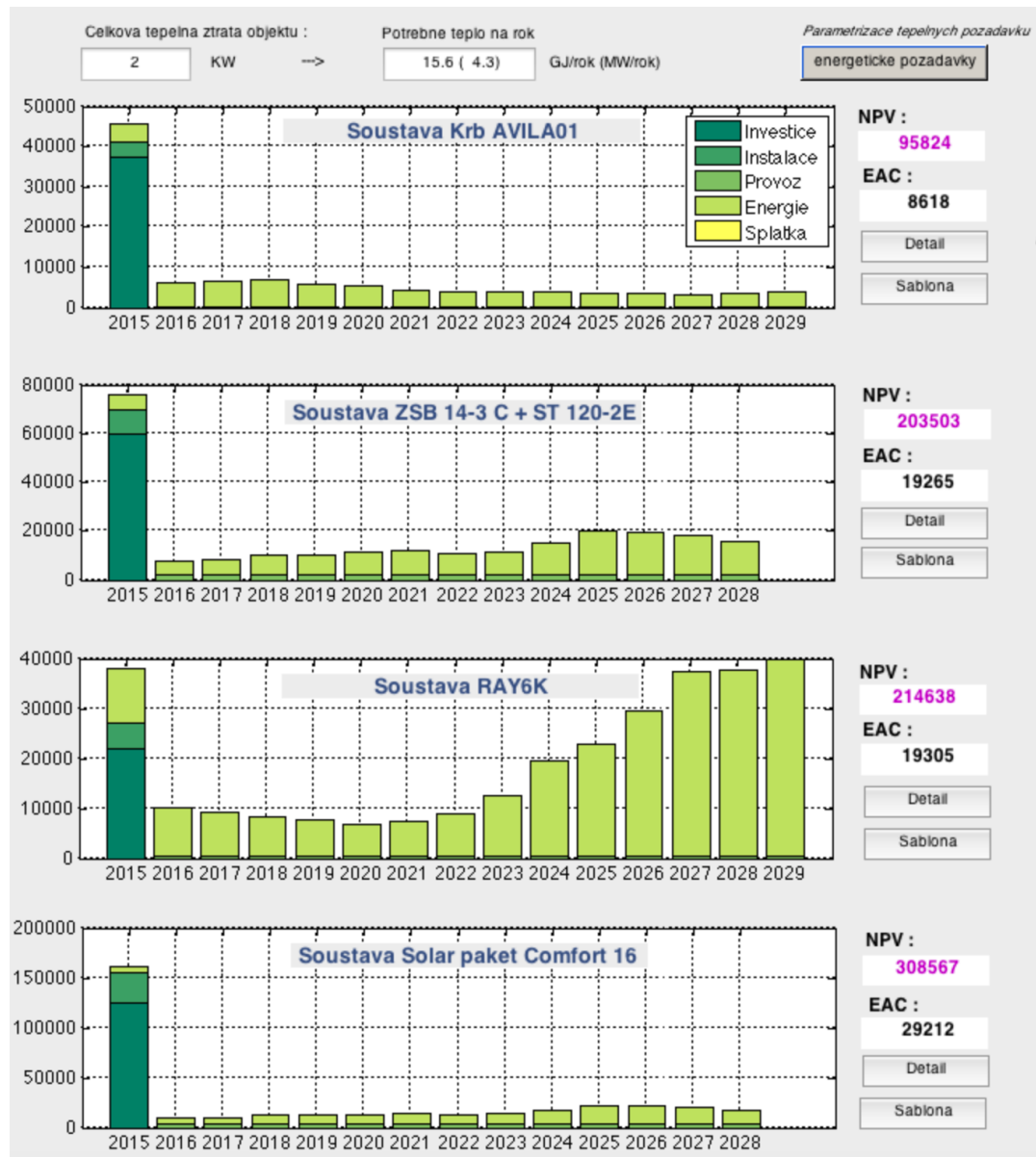


Obrázek 43, 44: Detaily pro modelování nákladů domu s $Q_c \sim 2kW$



Obrázek 45: Panel cen komodit a energií pro agresivnější růst ceny elektřiny

Provedeme nové generování cen elektřiny, výsledek je na obrázku 45. Jde o poměrně silný růst ceny po roce 2022 k hodnotám 15.000 Kč za 1MWh. Po přepočtu jednotlivých variant dojde k symbolické záměně v pořadí. Ekvivalentní roční náklady varianty s plynem a elektrickou energií jsou téměř shodné.



Obrázek 46: Hlavní okno pasivního domu s $Q_c \sim 2kW$

Závěr

Mezi hlavní motivy vzniku diplomové práce na téma modelování nákladů vytápění domů je především snaha vytvořit nástroj, program v prostředí Matlab, který by jednoduchou formou prováděl nejen porovnání jednotlivých variant pomocí nástrojů finanční matematiky - ekvivalentních ročních nákladů, ale rovněž prováděl nad výsledky citlivostní analýzu. Aby tyto požadavky bylo možno splnit, byla založena databáze otopných soustav. Nad databází byl vytvořen modul pro vyhledávání, který přes jednoduché textové rozhraní transformuje požadavky na modelované soustavy do struktury jazyka SQL. Nad jednotlivými kvalifikovanými soustavami se posléze provádí modelování nákladů. Důležitou součástí celého programu je modul tvorby cen, který využívá stochastického generátoru na principu náhodného Brownova pohybu. Poměrně rozsáhlá parametrizace modelu si vyžádala vznik grafického rozhraní, přes které uživatel formuje své požadavky na modelování. Prvky grafického rozhraní (GUI) jsou svázány s modelem a tak jakákoliv změna v GUI vede k okamžitému přepočítání jednotlivých variant. Lze tak například pomocí posuvníku plynule sledovat přímý vliv změn diskontní sazby, úroků a nebo změnou budoucích cen energií, vliv na vypočítanou hodnotu EAC. Přepočtené varianty jsou vždy seřazeny a první čtyři s nejnižší hodnotou EAC jsou zobrazeny v hlavním okně aplikace. Celý program byl pojmenován TZBsim.

V praktické části práce je v samostatné kapitole dán prostor simulacím z programu TZBsim. Jsou modelovány případy nízkoenergetického domu s $Q_c \sim 5\text{kW}$, klasického domu s hodnotou $Q_c \sim 12\text{kW}$ a pasivního domu s celkovou tepelnou ztrátou $Q_c \sim 2\text{kW}$.

Simulace potvrdili předpoklad, že náklady na provoz klasického centrálního kotle na elektřinu u klasických domů není ekonomicky efektivní. I při mírném nárůstu ceny je takový druh vytápění nákladný a za předpokladu výrazného růstu ceny, se vývoj nákladů dále výrazně zhoršuje. Pro pasivní dům lze říci, že i při agresivním růstu ceny v budoucnosti je vytápění elektřinou vhodnou variantou. I v nejméně příznivé variantě vývoje ceny elektřiny, dojde k vyrovnání ročních ekvivalentních nákladů s variantou s plynovým kondenzačním kotlem, kde jsme pracovali jen s mírným nárůstem ceny plynu.

U všech simulovaných variant domů je vhodnou volbou vytápění dřevem nebo plynovým kondenzačním kotlem. Kotel na dřevo vyžaduje vyšší nároky na obsluhu a je nekomfortní. Přináší ovšem nezanedbatelnou výhodu a to možnost dále snižovat náklady, pokud lze dřevo pořídit levněji např. vlastní přípravou. V případě vytápění v krbu jde i o estetický prvek domácnosti.

Nelze opomenout databázi otopných soustav, kterou lze dále rozšiřovat o nové a inovované zařízení TZB. V tomto ohledu nabízí program TZBsim jednoduchý prostředek, jak uživatelsky rychle a přívětivě modelovat náklady na vytápění.

Záměrem bylo vytvořit širší programovou základnu pro modelování nákladů na vytápění v prostředí Matlab, která navíc svou koncepcí umožní provádět citlivostní analýzu. Zde lze dále navázat v práci na programu TZBsim a dále rozšiřovat možnosti grafických výstupů citlivostní analýzy a komplexních reportovacích výstupů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Porovnání nákladů na vytápění [online].Dostupné z www: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapeni-tzb-info>>
- [2] Kritéria efektivity investic [online].Dostupné z www: <<https://edux.fit.cvut.cz/oppa/BI-EKP/cviceni/Kritéria%20ekonomické%20efektivnosti.pdf>>
- [3] Writing MATLAB C/MEX Code [online].Dostupné z www: <<http://www.researchgate.net/publications/PublicPostFileLoader.html?id=551a2e59cf57d7620c8b463b&key=3a91499f-ec8f-41f4-8e87-fff8bf00e54a>>
- [4] Databáze MySQL [online].Dostupné z www: <<http://www.mysql.com>>
- [5] Geometric Brownian Motion Model in Financial Market [online].Dostupné z www: <<http://www.stat.berkeley.edu/~aldous/Research/Ugrad/ZY3.pdf>>
- [6] Tepelná bilance objektu - denostupňová metoda [online].Dostupné z www: <<http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=1>>
- [7] Výpočet potřeby tepla a paliva [online].Dostupné z www: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/VYT_cv_2_2011.pdf>
- [8] Ztráty 2014 [online].Dostupné z www: <<http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/teplna-technika/ztraty/>>
- [9] KRATOCHVÍL, ŠTĚPÁN, Oceňování derivátů na elektřinu na energetických burzách.pdf
- [10] Energetická burza PXE [online].Dostupné z www: <www.pxe.cz>
- [11] Ceny pevných paliv pro domácnosti [online].Dostupné z www: <<http://download.mpo.cz/get/47373/53456/594277/priloha001.pdf>>
- [12] Dahlsveen T., Petráš D., Hirš J.: Energetický audit budov, 1.vyd.,Praha: Jaga Group, 2003
- [13] Spotřeba paliv [online].Dostupné z www: <http://vdb.czso.cz/vdbvo/maklist.jsp?kapitola_id=34&expand=1>
- [14] Výhřevnost [online].Dostupné z www: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Výhřevnost>>
- [15] Oborový informační server TZB-info[online].Dostupné z www:<www.tzb-info.cz>
- [16] Obyčejné diferenciální rovnice [online].Dostupné z www:<<ftp://math.feld.cvut.cz/pub/kalous/laa/prednasky/difrov.pdf>>
- [17] Asymptotické řízení portfolia [online].Dostupné z www:<<https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130009753>>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Výpis kódu výpočtu cash flow	13
Obrázek 2: Seznam komodit, výhřevnost a aktuální cena	14
Obrázek 3: Spotřeba paliv a energií v domácnostech, ČR [%]	19
Obrázek 4: Výpis programu modelu	20
Obrázek 5: Divergentní vývoj ceny generované modelem bez zpětné vazby	20
Obrázek 6: Plovoucí okno	21
Obrázek 7: Vývoj ceny generované modelem s plovoucím oknem	21
Obrázek 8: Panel výpočtu potřebného tepla	23
Obrázek 9: Úvodní okno aplikace TZBsim	27
Obrázek 10: Schéma aplikace	28
Obrázek 11: Databázový model aplikace TZBsim	29
Obrázek 12: Volání příkazu TZBsim	30
Obrázek 13: TZBsim v příkazové řádce v Matlabu	31
Obrázek 14: Diagram generování sestav	31
Obrázek 15: Kategorie zařízení	32
Obrázek 16: Výpis z inicializace objektu TZBComodity	33
Obrázek 17: Výpis z inicializace objektu TZBCalculation	35
Obrázek 18. Inicializace hlavního okna	36
Obrázek 19: Panel výběrů kategorie otopné soustavy	37
Obrázek 20: Panel výběrů šablon a sestav TZB	38
Obrázek 21: Panel nastavení finančních parametrů	39
Obrázek 22: Panel cen komodit a energií	41
Obrázek 23: Hl. okno pro model. nákladů nízkoenerg. domu s $Q_c \sim 5\text{kW}$	42
Obrázek 24-27: Detaily pro model. nákladů nízkoenerg. domu s $Q_c \sim 5\text{kW}$	43
Obrázek 28: Detail sestavy s pyrolytickým kotlem Verner V25D	44
Obrázek 29: Detail sestavy s kondenzačním kotlem Junkers ZSB 14-3C	44
Obrázek 30: Detail sestavy s tepelným čerpadlem Junkers SAO 85-1	45
Obrázek 31: Detail sestavy s elektrickým kotlem Protherm RAY6K	45
Obrázek 32. Panel cen komodit a energií	46
Obrázek 33: Panel cen komodit a energií s pozvolným růstem ceny elektřiny	47
Obrázek 34: Hl. okno domu s $Q_c \sim 5\text{kW}$ s pozvolným růstem ceny el. energie ...	47
Obrázek 35: Hlavní okno domu s $Q_c \sim 5\text{kW}$ s 50% úvěrem na investici	48
Obrázek 36: Nastavení finančních parametrů domu s $Q_c \sim 5\text{kW}$	49
Obrázek 37: Hlavní okno domu s $Q_c \sim 12\text{kW}$ s 50% úvěrem na investici	50
Obrázek 38-41: Detaily pro modelování nákladů domu s $Q_c \sim 12\text{kW}$	51
Obrázek 42: Hlavní okno pasovního domu s $Q_c \sim 2\text{kW}$	52

Obrázek 43, 44: Detaily pro modelování nákladů domu s $Q_c \sim 2kW$	53
Obrázek 45: Panel cen komodit a energií pro agresivnější růst ceny elektřiny	53
Obrázek 46: Hlavní okno pasivního domu s $Q_c \sim 2kW$	54

Příloha

Spotřeba paliv a energií v domácnostech, ČR [TJ]

Zdroj dat: Ministerstvo průmyslu a obchodu

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Zemní plyn	106 216	94 778	94 985	95 576	110 830	93 128	94 126
Biomasa	46 498	53 992	51 519	50 376	56 174	57 077	55 315
Elektřina	54 712	52 725	52 930	52 873	54 101	51 120	52 592
Centrální zásobování teplem	50 570	47 626	49 389	46 920	50 165	44 011	44 000
Hnědé uhlí tříděné	26 883	19 594	17 243	17 243	18 810	18 810	18 810
Hnědouhelné brikety	3 066	2 902	3 458	4 610	4 610	3 458	3 458
Černé uhlí tříděné	3 187	2 436	2 073	2 461	1 969	2 643	2 591
Teplená čerpadla	507	694	870	1 084	1 332	1 645	1 991
Koks	1 100	687	687	1 100	687	550	550
Solární kolektory	98	118	163	212	293	382	428
LPG	1 332	1 067	789	278	232	232	232
Černouhelné kaly a granulát	67	45	50	50	33	33	33
Lignit tříděný	35	18	35	26	0	0	0
Rašelinové brikety	0	0	0	17	33	0	0
Celkem	294 271	276 682	274 191	272 826	299 269	273 089	274 126