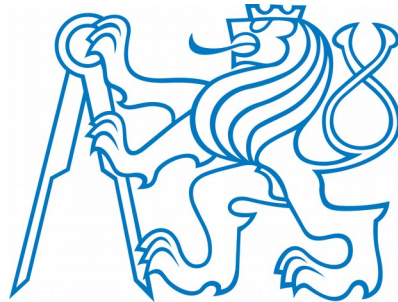


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**MODELOVÁNÍ A HODNOCENÍ ÚZEMNÍCH  
MĚSTSKÝCH JEDNOTEK**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Tamiris Iskakova**

**Vedoucí diplomové práce : doc., Ing. Bohumír Garlík, CSc.**

**2019**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: ISKAKOVA Jméno: TAMIRIS Osobní číslo: 423246  
Zadávací katedra: 125  
Studijní program: INTELIGENTNÍ BUDOVY  
Studijní obor: INTELIGENTNÍ BUDOVY

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: MODELOVÁNÍ A HODNOCENÍ ÚZEMNÍCH MĚSTSKÝCH JEDNOTEK

Název diplomové práce anglicky: MODELING AND EVALUATION OF URBAN UNITS

Pokyny pro vypracování: ZHODNOCENÍ SYSTÉMOVÝCH VLASTNOSTÍ ENERGIE OVLIVŇUJÍCÍ ČINNOST ENERGIE V ÚZEMNÍCH MĚSTSKÝCH JEDNOTKÁCH. ANALÝZA MĚSTSKÝCH ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ. SIMULOVÁNÍ RŮZNÝCH ČÁSTÍ OBJEKTŮ A ENERGETICKÉ BUDOVÁNÍ. VÝSLEDNĚ HODNOCENÍ BUDE APLIKOVANO PRO ŘEŠENÍ ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ V RÁMCI ENERGIE A ZPRACOVÁNÍ KOMPLEXNÍHO SOFTWARE A PLÁNOVÁNÍ ÚZEMNÍCH MĚSTSKÝCH JEDNOTEK. VÝSLEDKEM EXPERIMENTŮ BUDE MÁRNĚ NA ŘEŠENÍ MĚSTSKÉHO ENERGETICKÉHO STŘEDISKA – KONKRETNÍ MODELŮVÝ PROJEKT

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: DOC. ING. BOJUMÍR BARLÍK, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 18.02.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 20.05.2019  
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

18.02.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: ..... TAMURIS ISKAKOLA .....

Název diplomové práce: ..... MODELOVÁNÍ A HODNOCENÍ ÚZEMNÍCH MĚSTSKÝCH JEDNOTEK .....

Základní část: ..... podíl: ..... 100 ..... %

Formulace úkolů: ZHODNOCENÍ SYSTÉMOVÝCH VLASTNOSTÍ ENERGIE OVIVNĚNÍ ÚČINNOSTI ENERGIE V ÚZEMNÍCH MĚSTSKÝCH JEDNOTKÁCH. ANALÝZA MĚSTSKÝCH ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ. SIMULOVÁNÍ RŮZNÝCH ČÁSTI OBJEKTŮ A ENERGETICKÉ DŮVĚRNÍ BUDOV. VÝLEDNĚ HODNOCENÍ BUDE APLIKOVÁNO PRO ŘEŠENÍ ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ V RÁMCI ENERGIE A ZPRACOVÁNÍ KOMPLEXNÍHO SOFTWARE A PŘÍPADOVÝCH ÚZEMNÍCH MĚSTSKÝCH JEDNOTEK. VÝLEDNĚM EXPERIMENTU BUDE NÁVRH NA ŘEŠENÍ MĚSTSKÉHO ENERGETICKÉHO STŘEDISKA - KONKRETNÍ MODELOVÝ PROJEKT

Podpis vedoucího DP: ..... Bohumír Garelk ..... Datum: ..... 18.1.2019 .....

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... SIMULOVÁNÍ MODEL ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): ..... MIROSLAV URBAK .....

Formulace úkolů: UDTVOŘENÍ A KALIBRACE SIM MODELŮ V SW DESKTBUILDER ZA ÚČELEM ZÍSKÁNÍ DAT PRO MODELOVÁNÍ A HODNOCENÍ ÚZEMNÍCH MĚSTSKÝCH JEDNOTEK

Podpis konzultanta: ..... Datum: ..... 20.2.19 .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 17.05.2019

Podpis:.....



## **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Bohumíru Garlíkovi, CSc. za odborné vedení práce, poskytnuté materiály a konzultace při zpracování této práce.

Děkuji Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za pomoc při výběru lokality a za rady v DesignBuilder.

V neposlední řadě také děkuji své rodině za stálou podporu při studiu a svým přátelům.

**Anotace:**

Diplomová práce se zabývá studiem městských energetických středisek a metodik pro simulaci a hodnocení městských oblastí. Na základě získaných znalostí byla provedena optimalizace městského energetického střediska ve vybrané lokalitě.

**Klíčová slova:** energetické systémy, elektrické sítě, energetické středisko, městský energetický systém, městské energetické středisko, smart grid, HOMER, DesignBuilder.

**Annotation:**

Diploma thesis is focused on study of urban energy hubs and methodologies for simulating and evaluating urban areas. Based on the knowledge gained, the urban energy hub in the selected region was optimized.

**Keywords:** energy systems, electrical power systems, energy hub, urban energy systems, urban energy hub, smart grid, HOMER, DesignBuilder.

## Obsah

Seznam zkratk.....	9
1. Úvod.....	10
2. Současné legislativní požadavky.....	11
3. Městské energetické středisko a mikrosítě.....	15
3.1. Mikrosítě.....	16
3.1.1. Jak funguje mikrosítě.....	17
3.1.2. Regulace.....	18
3.1.3. Příklady.....	20
3.1.4. Použití.....	21
3.2. Návrh městského energetického střediska.....	21
3.2.1. Přístup.....	22
3.2.2. Analýza.....	23
3.2.3. Optimální návrh a provozní nástroje.....	26
4. Metodika modelování energetických středisek.....	27
4.1. Specifikace parametrů městské energie.....	27
4.2. Simulátory chování budov.....	33
4.2.1. Softwarové nástroje.....	34
4.2.1.a. BPS s vlastním softwarovým komponentem.....	34
4.2.1.b. BPS s externím softwarovým komponentem.....	35
4.2.1.c. Pluginy.....	36
4.2.1.d. „Glue“-software.....	37
4.2.2. DesignBuilder.....	37
4.2.2.a. Vstupní data.....	38
4.2.2.b. Simulace.....	38
4.2.2.c. Výstupní data.....	38
4.2.2.d. Použití.....	39
4.3. Simulátory obnovitelných zdrojů energie.....	39
4.3.1. Softwarové nástroje.....	39
4.3.2. HOMER.....	41
4.3.2.a. Vstupní data.....	42
4.3.2.b. Simulace.....	42
4.3.2.c. Výstupní data.....	42
4.4. Simulátory mobility.....	43
4.4.1. Modely městské mobility.....	43
4.4.2. Softwarové nástroje.....	45
5. Aplikace.....	47
5.1. Popis lokality.....	47
5.1.1. Architektonický a konstrukční popis.....	47
5.1.1.a. Období 1920-1945.....	47
5.1.1.b. Období 1946-1960.....	49
5.1.1.b.1) Nájemní domy.....	49
5.1.1.b.2) Typová zástavba.....	49
5.1.2. Energetický popis.....	50
5.1.2.a. Vytápění.....	50
5.1.2.b. Příprava teplé vody.....	50

5.1.2.c. Větrání.....	50
5.1.2.d. Použití OZE.....	50
5.2. Typologie budov.....	51
5.3. Stavební opatření.....	55
5.4. Koncept městského energetického střediska.....	56
5.4.1. Fotovoltaická energie.....	57
5.4.1.a. Návrh počtu panelů.....	58
5.4.1.b. Návrh střídačů.....	59
5.4.1.c. Návrh bateriového úložiště.....	59
5.4.1.d. Dimenzování kabelů FVE.....	59
5.4.2. Kogenerace.....	60
5.5. Stavební uspořádání MES.....	60
5.6. Simulace a optimalizace.....	60
5.7. Hodnocení výsledků.....	64
6. Závěr.....	65
Bibliografie.....	66
Seznam obrázků.....	70
Seznam tabulek.....	71

## Seznam zkratk

<i>BES</i>	– energetické systémy budov	– <i>Building Energy Systems</i>
<i>BIM</i>	– informační model budovy	– <i>Building Information Modeling</i>
<i>BPS</i>	– modelování výkonnosti budov	– <i>Building Performance Simulation</i>
<i>CZT</i>	– centrální zásobování tepla	
<i>EMS</i>	– systémy řízení a kontroly energie	– <i>Energy Management Systems</i>
<i>GUI</i>	– grafické uživatelské rozhraní	– <i>Graphical User Interface</i>
<i>HVAC</i>	– topení, větrání a klimatizace	– <i>Heating, Ventilation &amp; Air Conditioning</i>
<i>MES</i>	– městské energetické středisko	
<i>NZEB</i>	– budova s téměř nulovou spotřebou energie	– <i>Nearly Zero Energy Building</i>
<i>OZE</i>	– obnovitelné zdroje energie	
<i>PVE</i>	– fotovoltaická energie	
<i>TUV</i>	– teplá užitková voda	
<i>TV</i>	– teplá voda	
<i>TZB</i>	– technická zařízení budov	
<i>ZEB</i>	– budova s nulovou spotřebou energie	– <i>Zero Energy Building</i>



# 1. Úvod

Z publikované novely zákona č. 406 / 2000 Sb., o hospodaření energií, kdy k dosažení téměř nulové spotřeby energie je zapotřebí dosáhnout nízkých součinitelů obálky budov a při rychlém nárůstu poptávky po elektřině s omezenými zdroji energie má tato práce velký praktický zájem.

Cílem práce je provedená analýza a hodnocení vybrané lokality z energetického hlediska pro následné plánování a technické definování městského energetického střediska.

K dosažení tohoto cíle byly stanoveny následující úkoly:

1. studium literatury na toto téma;
2. analýza energetických středisek;
3. simulace chování budov;
4. aplikace obnovitelných zdrojů energie (OZE);
5. doporučení pro hodnocení a rozvoj okrsku.

Objekt práce je lokalita Ve Struhách – Lermontova.

Předmětem výzkumu jsou simulační, modelační a optimalizační programy pro hodnocení současné situace a možných alternativ.

Práce je také dílčí analytickou částí projektu TAČR na vytvoření programu multiagentních systémů.

Struktura práce obsahuje úvod, teoretické kapitoly, modelový projekt, závěr a přílohy.

## 2. Současné legislativní požadavky

Po provedení studie a hloubkové analýzy využití energie se ukázalo, že 40% celkové výroby energie je spotřebováno v budovách. Tato hodnota převyšuje podíl energie spotřebované v dopravě nebo v průmyslu. V důsledku toho došlo v roce 2010 ke změnám v odvětví energetiky – byla aktualizována směrnice o energetické účinnosti budov. Kromě zlepšení energetické účinnosti evropského stavebního fondu bylo cílem směrnice splnit požadavky Kjótského protokolu<sup>1</sup> na snížení emisí oxidu uhličitého.

V roce 2010 schválila Evropská rada revidovanou směrnicí 91 / 2002 / ES s názvem Směrnice o energetické náročnosti budov (přepřacování) ze dne 19. května 2010 pod číslem 31 / 2010 / EU.<sup>2</sup> Revidovaná směrnice stanovuje energetické cíle Evropské unie na rok 2020 vytvořením a úpravou kroků ke snížení spotřeby energie v Evropě. Tato směrnice zcela zrušuje a nahrazuje směrnicí 91 / 2002 / ES, upřesňuje a zlepšuje požadavky na energetickou náročnost budov. Původním mottem revidované směrnice bylo dosažení cíle 20 – 20 – 20, v němž je nutné do roku 2020 dosáhnout snížení spotřeby energie o 20 %, snížení emisí skleníkových plynů o 20 % a zvýšení využívání obnovitelných zdrojů na 20 % celkové výroby energie v Evropě ve srovnání s rokem 1990.

V roce 2014 Rada Evropy zveřejnila výsledky politiky EU v oblasti energetické náročnosti do roku 2030.<sup>3</sup> Současně bude pokračovat program 20 – 20 – 20 a do roku 2030 by měl být podíl skleníkových plynů snížen o dalších 20 %, spotřeba energie by měla být snížena o dalších 7 % a podíl obnovitelných zdrojů energie by měl zvýšit o dalších 7 %.

Energetické předpisy pro budovy v současné době stanovují podmínky a limity pro období 2013–2020, v závislosti na různých ukazatelích. Podmínky jsou proměnné a postupně vedou k téměř nulové spotřebě energie v budovách. Jednoduše řečeno, od roku 2020 budou muset všechny nové budovy, včetně rodinných a bytových domů, splňovat národní požadavky na budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

Na národní úrovni České republiky byla transpozice některých požadavků evropské směrnice, týkajících se kontroly a hodnocení energetické náročnosti budov, provedena prostřednictvím novely zákona č. 406 / 2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, a technicky tyto požadavky upřesňuje prováděcí vyhláška č. 78 / 2013 Sb., ve znění vyhlášky č. 230 / 2015 Sb.

Požadavky směrnice 2010 / 31 / EU mimo jiné vyžadují, aby projektová dokumentace pro všechny novostavby od 1. 1. 2020 splňovala požadavky na tzv. budovy s téměř nulovou

- 
- 1 Kjótský protokol k rámcové úmluvě organizace spojených národů o změně klimatu. Kjóto, 11. prosinec 1997.
  - 2 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010 / 31 / EU z 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (přepřacování).
  - 3 SN 79/14 European Council (23 and 24 October 2014) Conclusions on 2030 Climate and Energy Policy Framework. Brusel, 2014.

spotřebou energie („NZEB“ – nearly zero energy building). Budova s téměř nulovou spotřebou energie znamená budovu s velmi nízkou spotřebou energie, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů<sup>4</sup>. Praktický aspekt a realizace tohoto požadavku jsou zohledněny ve vyhlášce<sup>5</sup>, která postupně zpřísňuje požadovanou hodnotu ukazatelů energetické náročnosti – neobnovitelné primární energie  $\Delta e_p$  a průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em}$  (Tab. 2.1). Koncepce tohoto opatření vychází z předpokladu, že hodnocená stavba by měla zpřísnit požadavky na neobnovitelnou primární energii zlepšením jak stavebních parametrů obálky budovy (snížením potřeby tepla na vytápění), tak zvýšením podílu systému použití obnovitelných zdrojů energie (Tab. 2.2).

Tab. 2.1 : Normové hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_{N,20}$  jednotlivých konstrukcí.<sup>6</sup>

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,5	1,2	0,8 až 0,6

4 Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

5 Vyhláška č. 78 / 2013 Sb., o energetické náročnosti budov.

6 ČSN 73 0540-2 : 2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.

Tab. 2.2 : Referenční hodnoty pro energetickou náročnost budov s téměř nulovou spotřebou energie pro různá klimatická pásma v EU.<sup>7</sup>

Klimatické pásmo <sup>8</sup>	Administrativní budovy			Nové rodinné domy		
	Čistá primární energie za rok [kWh / m <sup>2</sup> ]	Spotřeba primární energie za rok [kWh / m <sup>2</sup> ]	Pokrytí z OZE za rok [kWh / m <sup>2</sup> ]	Čistá primární energie za rok [kWh / m <sup>2</sup> ]	Spotřeba primární energie za rok [kWh / m <sup>2</sup> ]	Pokrytí z OZE za rok [kWh / m <sup>2</sup> ]
středozevní	20 – 30	80 – 90	60	0 – 15	50 – 65	50
oceánské	40 – 50	85 – 100	45	15 – 30	50 – 65	35
kontinentální	40 – 55	85 – 100	45	20 – 40	50 – 70	30
severské	55 – 70	85 – 100	30	40 – 65	65 – 90	25

Nové budovy musí současně splňovat tři ukazatele EN. Jedná se o splnění ukazatele neobnovitelné primární energie za rok  $Q_{nPE}$ , celkové množství dodávané energie za rok  $Q_{fuel}$  a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em}$ . V případě významných změn dokončené budovy je nutné splnit současně požadavek na neobnovitelnou primární energii za rok  $Q_{nPE}$  a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em}$ , nebo celkovou dodanou energii za rok  $Q_{fuel}$  a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em}$ . V případě upravených prvky obálky budovy nebo technických systémů lze splnit pouze požadavky týkající se měněných prvků.

Vyhodnocená budova musí splňovat výše uvedené požadavky, pro které jsou stanoveny klasifikační třídy EN. Klasifikační třídy A až G jsou určeny pro celkovou dodávanou energii a neobnovitelnou primární energii. Třída klasifikace je zároveň stanovena pouze pro dílčí energii dodávanou do příslušných technických systémů – vytápění, příprava TV, chlazení, úprava vlhkosti, osvětlení. Dílčí dodané energie nejsou hodnoceny z hlediska souladu s požadavky energetických charakteristik a jsou pouze zařazeny do informativní klasifikační třídy pro tento technický systém. Zařídění ukazatelů EN se provede podle (Tab. 2.3), kdy se ukazatele celkové dodané, dílčí a primární energie zařazují odlišně do klasifikačních tříd EN od průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budov.<sup>[KAB]</sup>

7 Doporučení komise (EU) 2016 / 1318 ze dne 29. července 2016 o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie a osvědčených postupů k zajištění, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie.

8 Ze studii „Towards nearly zero-energy buildings – Definition on common principles under the EPBD“ společnosti Ecofys:

- středozevní je uvedeno jako pásmo 1: Catania (další města: Atény, Larnaka, Luga, Sevilla, Palermo);
- oceánské jako pásmo 4: Paříž (další města: Amsterdam, Berlín, Brusel, Kodaň, Dublin, Londýn, Macon, Nancy, Praha, Varšava);
- kontinentální jako pásmo 3: Budapešť (další města: Bratislava, Lublaň, Milán, Vídeň);
- severské jako pásmo 5: Stockholm (Helsinky, Riga, Stockholm, Gdaňsk, Tovarene).

Tab. 2.3 : Klasifikační třídy pro ukazatele energetické náročnosti.

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie a), b), c), d) <sup>9</sup>	$U_{em}$	
A	$0,5 * E_R$	$0,65 * E_R$	mimořádně úsporná
B	$0,75 * E_R$	$0,8 * E_R$	velmi úsporná
C	$E_R$		úsporná
D	$1,5 * E_R$		méně úsporná
E	$2 * E_R$		nehospodárná
F	$025 * E_R$		velmi nehospodárná
G			mimořádně nehospodárná

Podle směrnice mohou budovy s nulovou energetickou bilancí být stejně energeticky účinné, jak vyžaduje aktuální situace, bez jakýchkoliv omezení. Pokud je potřebné určité množství energie vyrobit pouze z obnovitelných zdrojů, pak stačí, aby budovy splňovaly standardy energeticky nulové budovy (zero energy building – ZEB). V tomto případě by se energie neměla vyrábět spalováním paliva, tj. spalovacího plynu nebo biomasy pro vytápění nebo výroby elektřiny. Jinak budovy nelze klasifikovat jako energeticky nulové.

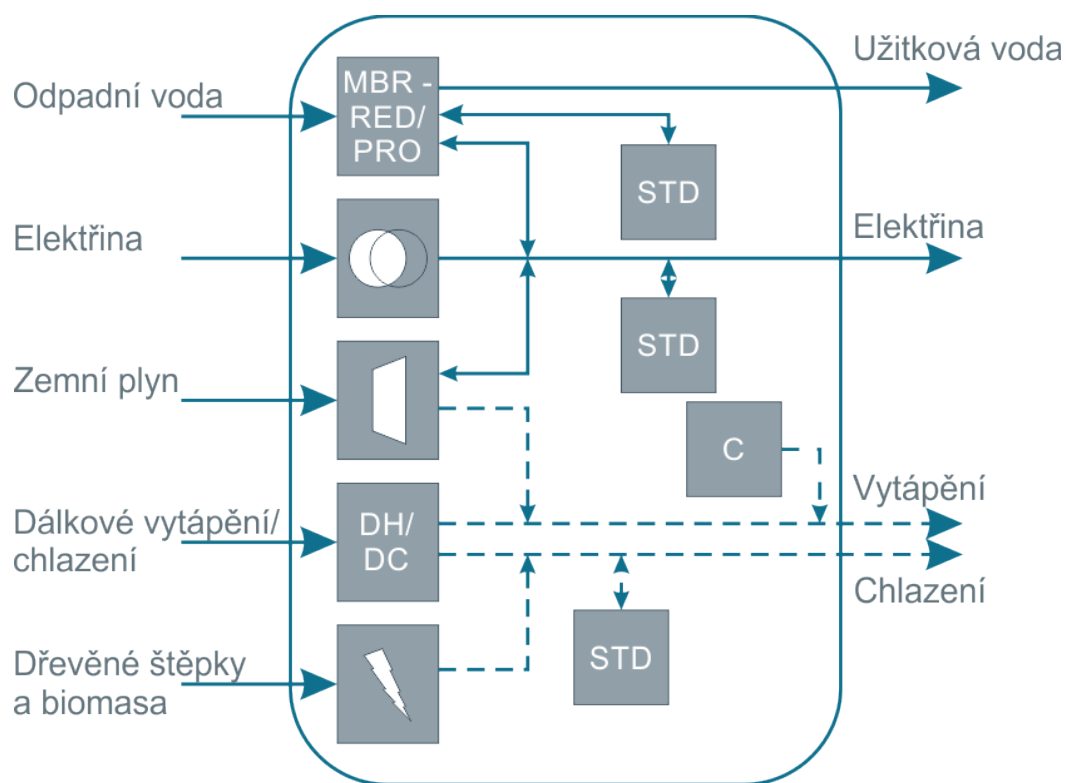
Tato práce se bude zabývat možnostmi splnění podmínek průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy a možností využití obnovitelných zdrojů energie k pokrytí energetických ztrát v budovách.

9 a) celková primární energie za rok,  $Q_{PE}$ ;  
 b) neobnovitelná primární energie za rok,  $Q_{NPE}$ ;  
 c) celková dodaná energie za rok,  $Q_{fuel}$ ;  
 d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok.



### 3. Městské energetické středisko a mikrosítě

Městské energetické středisko je logický systém, který představuje kombinované procesy získávání a využívání energie k uspokojení potřeb energetických služeb v dané městské oblasti.



Obr. 3.1

Koncept městského energetického střediska.<sup>10</sup>

Koncept městského energetického střediska by měl být základem pro energetické plánování města. Tak, například (Obr. 3.1), při použití alternativních zdrojů energie (chemická elektrolýza při zpracování odpadních vod za použití membránového bioreaktoru (MBR)) kromě hlavního úkolu (čištění) zdroje vyrábí elektřinu (reverzní elektrodiálýzou – RED nebo tlakem zpomalovanou osmózou, Pressure-Retarded Osmosis – PRO).<sup>11</sup> Zemní plyn se používá pro činnost kogeneračních systémů, které dodávají elektřinu a teplo. Teplo může být použito pro zásobování ústředního topení nebo také spalováním biomasy. Elektřina, slaná voda a teplo

10 Legenda: MBR – membránový bioreaktor; RED – reverzní elektrodiálýza;  
PRO – tlakem zpomalovanou osmóza; STD – sběrnice STD;  
C – regulátor; DH/DC – dálkové vytápění / chlazení.

Originál: LA SCALA, Massimo, 2017. *Example of urban energy hub*. In: From Smart Grids to Smart Cities: New Challenges in Optimizing Energy Grids. London: ISTE Ltd. 315s. ISBN 978-1-84821-749-2

11 Projekt REAPower se zaměřuje na inovativní koncept založený na technologii reverzní elektrodiálýzy. Tato technologie spočívá v extrakci osmotické energie – energie z rostoucí entropie kapalin, ze dvou roztoků solí, které vykazují velký rozdíl v koncentraci soli. Tento rozdíl se nazývá síla gradientu slanosti (SGP). REAPower používá solné a mořské nebo brakické vody pro výrobu elektřiny.

Home - REAPower. *Home – REAPower*, 2014[online]. [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://www.reapower.eu/>

se mohou akumulovat a být dle potřeby dodávány v co největší míře, aby se pokryly různé potřeby energií během dne nebo ve špičkových intervalech spotřeby.

Problém nesouladu mezi nabídkou a poptávkou je často velmi výrazný a vyžaduje řešení pro ukládání dat.<sup>[LUN]</sup> Problémy akumulace tepla vznikají v jednotlivých budovách a jsou kombinovány s tepelnými sítěmi. Multi-energetické systémy mohou také zahrnovat energetické systémy, palivové články a aspekty mobility (elektrické nebo vodíkové).<sup>[MAN]</sup> V městských oblastech se smíšeným využitím se osvědčily přístupy s propojenými budovami. Síťové obnovitelné zdroje energie a systémy skladování mohou být instalovány tak, aby mohla být energie distribuována a vyměňována mezi budovami. Řešení na úrovni okresních a městských bloků by se tedy měly brát v úvahu obousměrné propojené energetické toky v budovách, a to nejen z hlediska elektrických sítí, ale i tepelných sítí, včetně různých teplot. V oblastech se smíšeným typem a použitím budov se nízkoteplotní sítě stávají ideální volbou ideální pro přesun odpadního tepla a distribuci tepla ze zemních zdrojů, což umožňuje provoz tepelných čerpadel s vysokou účinností.<sup>[DAL]</sup>

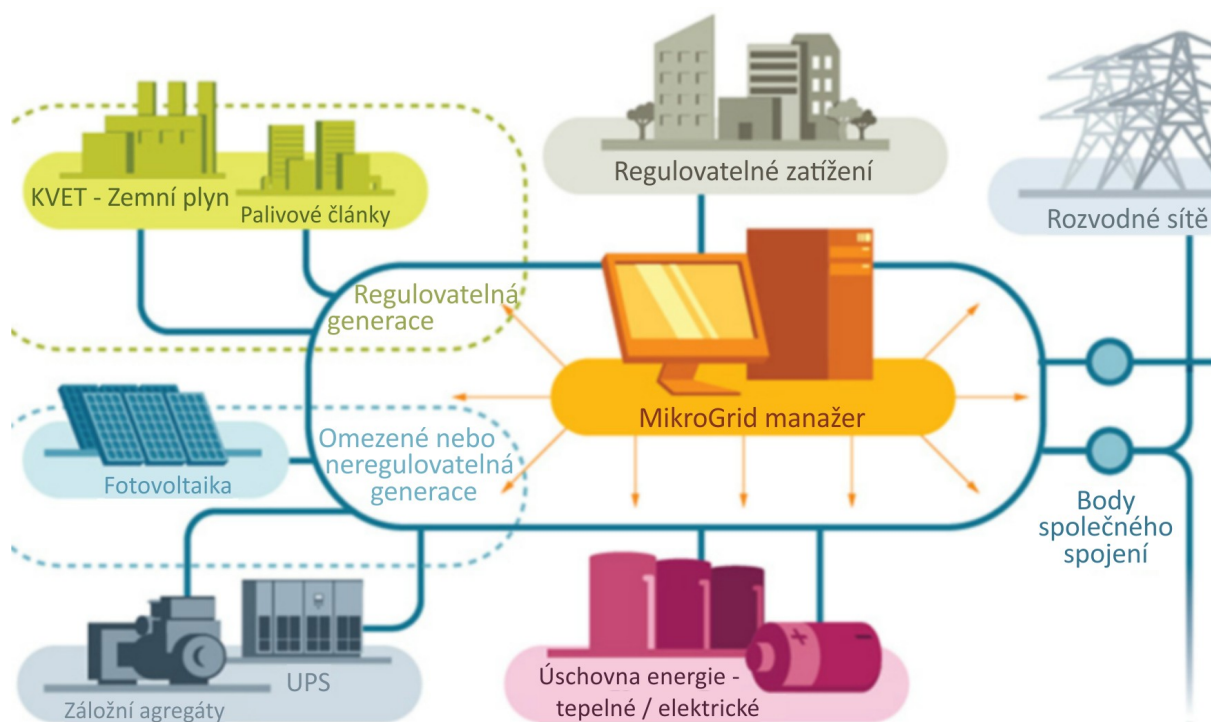
Obecně je zřejmé, že budovy by měly být hodnoceny jako prvky městských energetických systémů, protože ani budova, ani systém nemohou být plně pochopeny izolovaně. Nedávný výzkum<sup>[ALL]</sup> se zaměřil na identifikaci integrovaných přístupů používaných v energetickém sektoru v městských oblastech. Důraz je kladen na interakci mezi budovami a energetickou infrastrukturou, jako jsou tepelné sítě, systémy na výrobu tepla a výrobu obnovitelné energie.

### 3.1. Mikrosítě

Rychlý růst obyvatelstva a rozvoj průmyslu, nárůst spotřeby energie a zároveň omezené zdroje energií jsou jedním z klíčových problémů, který čelí moderní inteligentní energetice.

Jednou z odpovědí na nové výzvy energetického průmyslu byl koncept MicroGrid (mikrosítě) (Obr. 3.2). MicroGrid se vyznačuje lokální distribucí výkonu neboli malou distribuovanou analogií konvenční centralizované napájecí sítě. Hlavním faktorem vzniku a popularizace technologie MicroGrid se stal úkol zajistit energetickou účinnost. Od samého počátku bylo hlavním řešením považováno za cílené hledání potenciálních zdrojů úspor energie. V oblasti výroby výkonu investoři podporovali přístup k obnovitelným zdrojům energie jako logický doplněk stávajících tradičních paliv.

Systém MicroGrid má své vlastní zdroje výroby energie a je schopen převzít úkol uspokojení poptávky spotřebitelů při maximální špičce zatížení.



Obr. 3.2  
Jak funguje MicroGrid.<sup>12</sup>

Jedná se o redukovanou verzi systému centralizované napájecí sítě, který má zvýšit spolehlivost dodávek elektřiny, zvýšit energetickou nezávislost diverzifikací energetických zdrojů a snížit náklady na placení účtů.

Samostatným rysem tohoto trendu je využívání obnovitelných zdrojů energie, jako je slunce, voda a vítr.

### 3.1.1. Jak funguje mikrosítě

Abychom pochopili, jak funguje mikrosítě, musíme zjistit, jak funguje běžná centralizovaná síť.

Centralizovaná rozvodná síť propojuje domácnosti a podniky, kombinuje je do jediného systému připojeného k hlavním zdrojům elektřiny, jako jsou teplárny, jaderné elektrárny atd. To umožňuje používat elektrické spotřebiče, topení, klimatizaci a mnoho dalšího, což činí naše životy pohodlnějším a bezpečnějším. Výhodou takového systému je však jeho nevýhoda — nehoda nebo oprava sítě může zcela zničit oblast nebo podnik, což přináší obrovské ztráty a další negativní důsledky. Může to být také např. tzv. blackout, což je pojem označující

12 Schéma ukazuje, jak microgrid zahrnuje různé zdroje paliva, jako je zemní plyn a solární energie, spolu s výrobními sadami (někdy poháněnými naftou) a možnostmi skladování energie do řízeného systému, který zajišťuje výrobu elektrické energie.

Originál: *Explaining how a microgrid works*. In: GreenBiz. *Why Siemens and a California tribe are building a microgrid* [online]. 2015 [cit.15.04.2019]. Dostupné z: [https://www.greenbiz.com/sites/default/files/styles/gbz\\_article\\_full/public/media-inline/siemens\\_microgrid\\_diagram.png?itok=os7f9EDM](https://www.greenbiz.com/sites/default/files/styles/gbz_article_full/public/media-inline/siemens_microgrid_diagram.png?itok=os7f9EDM)

rozsáhlý výpadek dodávek elektrické energie na velkém území po dobu desítek hodin nebo dnů, který zasáhne velké množství obyvatel. Takový výpadek může nastat zejména v důsledku mimořádné události v přenosové soustavě. Kvůli vzájemné závislosti se pak krizová situace (nadměrné teplo v ovzduší, teroristické hrozby atd.) může od výpadku elektřiny přenést na zásobování vodou či na telekomunikační a bankovní služby.

Zde může pomoci lokální mikrosít'. Mikrosít' funguje zpravidla také při připojení k velké síti, ale co je důležité, může se kdykoli zastavit a pokračovat v práci díky vlastní výrobě energie. Například při nehodě, bouři nebo jiných výpadech proudu, jak bylo uvedeno výše.

Jako zdroj energie využívá mikrosít' distribuovanou výrobu ze solárních panelů a větrných turbín (které mohou být postaveny na téměř každé obytné budově a na střeše podniku), jakož i energii uloženou ve vysokokapacitních bateriích. Inteligentní systém automaticky přepíná mezi zdroji energie a v případě potřeby je můžeme použít současně. Distribuovaná výroba zajišťuje, že v případě výpadku jednoho nebo několika zdrojů energie bude systém nadále fungovat stabilně díky své distribuované architektuře.

Hlavní negativní faktory využívání obnovitelných zdrojů energie a jejich dopad na místní síť jsou zakořeněny v samotném principu výroby energie, protože závisí na klimatických podmínkách. Například je vyloučen čistě ostrovní režim<sup>13</sup> provozu: obnovitelné zdroje energie vypne provozovatel sítě, když se objeví ostrovní režim, v němž by se účastnily pouze alternativní zdroje. Druhým významným faktorem je vysoká variabilita ve výrobě samotné energie.

Navzdory nestabilitě obnovitelných zdrojů energie je koncept mikrosítě již úspěšně realizován v různých částech světa.

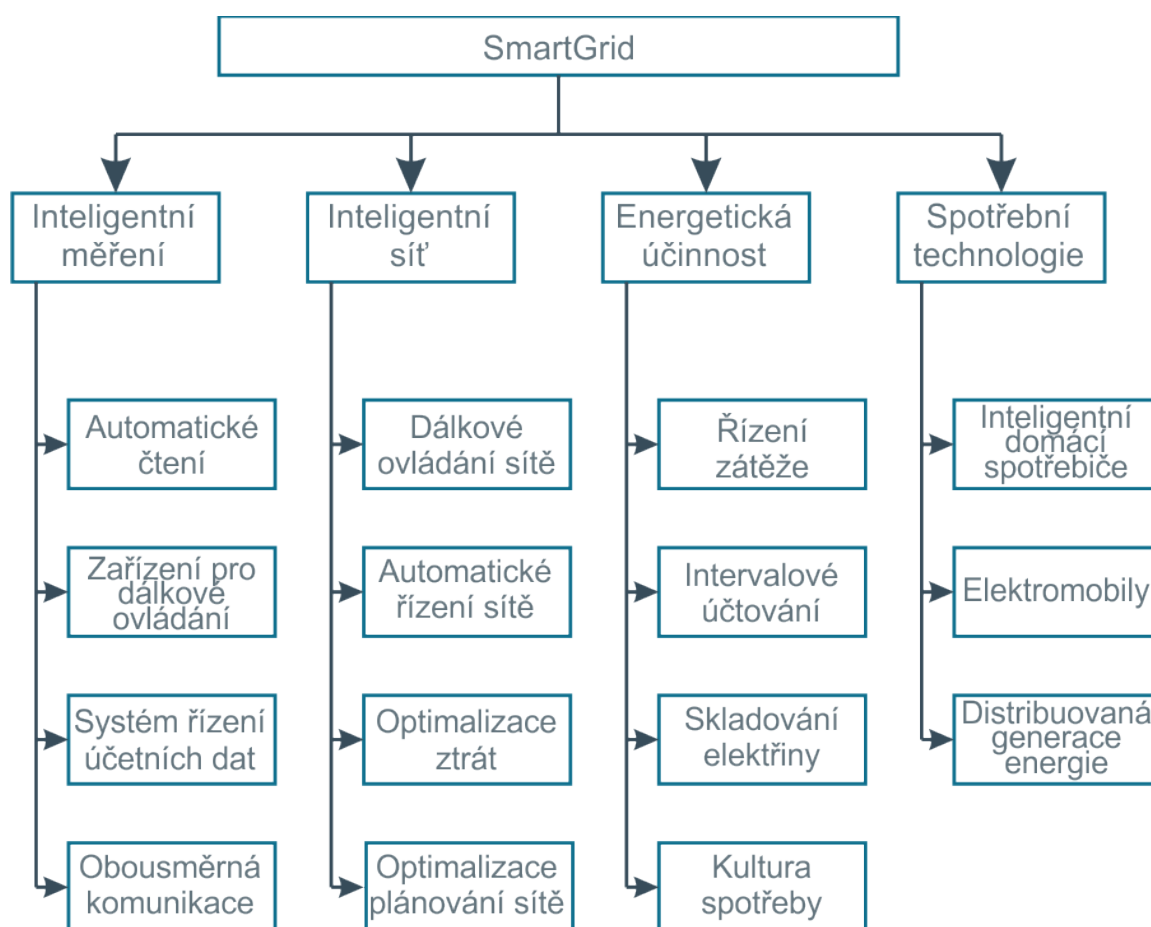
### 3.1.2. Regulace

Struktura smartgridu zahrnuje následující komponenty (Obr. 3.3):

- inteligentní měření (je prvním krokem k inteligentní síti);
- inteligentní síť;
- energetická účinnost;
- spotřební technologie.

---

<sup>13</sup> Ostrovní nebo „Off-the-grid“ systém je systém určený pro místa, kde není možné připojení na elektrickou síť, například v odlehlých oblastech, v rozvojových zemích, ale také pro karavany, lodě, montážní a záchranné vozy atd.



Obr. 3.3

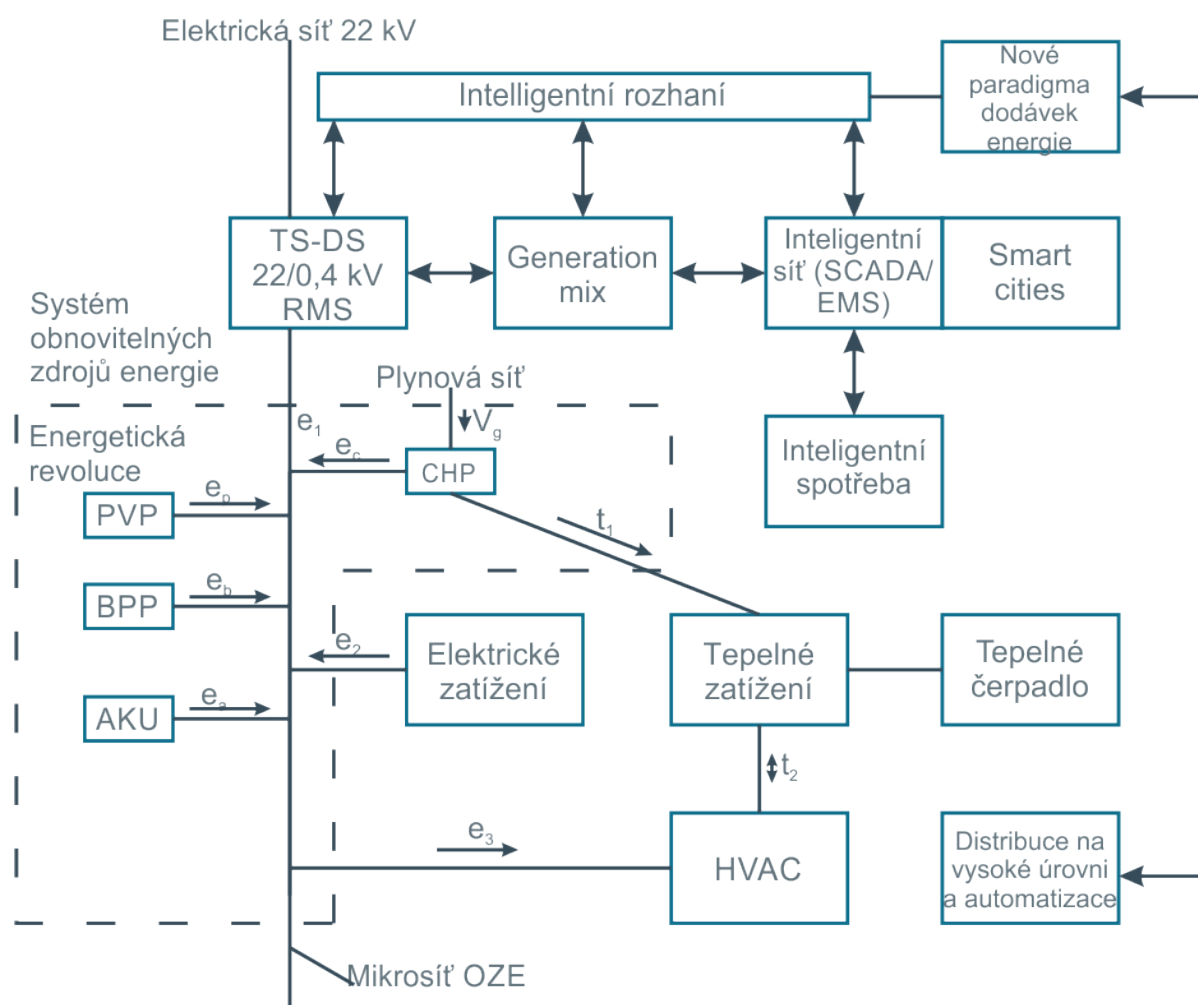
*Struktura SmartGrid.<sup>14</sup>*

Hlavní rozdíl v práci inteligentní sítě je následující: v tradičních sítích přichází proud přes vodiče z generátoru (alternátoru, střídače) na spotřebitele v souladu s předem určenou úrovní napětí a odporem. Při zavádění inteligentní sítě bude elektrická síť schopna nezávisle regulovat dodávku elektřiny v závislosti na snížení nebo zvýšení spotřeby. V podnicích a obytných domech se instalují inteligentní měřiče, které přenášejí informace o spotřebě. Tato skutečnost umožňuje včas kombinovat používání elektrických spotřebičů a distribuovat elektřinu v závislosti na potřebě, což výrazně snižuje náklady na energii.<sup>[BUR]</sup>

Na Obr. 3.4 je ukázán princip regulace SmartGrid.

14 Originál: Структура Smart Grid. In: Cyberlenika. Повышение энергоэффективности за счет внедрения новой концепции Smart Grid [online]. 2012 [cit.07.05.2019]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-energoeffektivnosti-za-schet-vnedreniya-novoy-kontseptsii-smart-grid>





Obr. 3.4  
 Schéma regulace SmartGrid.<sup>15</sup>

### 3.1.3. Příklady

V následující tabulce (Tab. 3.1) je uvedeno pět největších projektů s nejmodernějšími mikrogridními systémy.

Tab. 3.1 : Největší projekty MicroGrid systémů.<sup>16</sup>

Projekt	Technologie	Výhody
1. Gorona Del Viento, Kanárské ostrovy	Integrace větrných elektráren 5 × 2,3 MW s 11,32 MW	První integrace hydro-akumulační stanice s

15 Originál: Garlík, Bohmír. Model of Intelligent Cities Energy System. In: *Neural Network World*. Application of neural networks and evolutionary algorithms to solve energy optimization and unit commitment for a smart city [online]. 2018 [cit.18.04.2019]. Dostupné z: <http://www.nnw.cz/doi/2018/NNW.2018.28.022.pdf>

16 MicroGrid – будущее электросетей. Кейсы, перспективы, возможности | World Summit Smart Energy. Главная | World Summit Smart Energy, 2018 [online]. 2 февраля [online]. [cit.08.04.2019]. Dostupné z: <http://smartenergysummit.ru/novosti/microgrid-%E2%80%93-budushhee-elektrosetej.-kejsyi.-perspektivy.-vozmozhnosti>

	přecherpcávací vodní elektrárnou a dieselových generátorů o výkonu 11 MW	obnovitelnými zdroji na světě, efektivní řízení systému
2. Ross Island, Antarktida	Integrace větrných jednotek 3 × 330 kW s dieselovými generátory 9 × 125 kW, instalace stabilizátoru 500 kW PowerStore	Minimalizace provozu dieselových generátorů, úspora paliva 463 000 litrů / rok, snížení emisí CO <sub>2</sub> o 2 800 tun / rok
3. Marble Bar, Austrálie	Integrace fotovoltaické instalace 1 × 300 kW s dieselovými generátory 4 × 320 kW, instalace stabilizátoru 500 kW PowerStore	Minimalizace provozu dieselových generátorů, úspora paliva 405 000 litrů / rok, snížení emisí CO <sub>2</sub> o 1100 tun / rok
4. DeGross Copper Mine, Austrálie	Integrované řešení využívající fotovoltaický systém o výkonu 10,6 MW s akumulacním systémem s dieselovým generátorem, instalace stabilizátoru PowerStore	Minimalizace provozu dieselových generátorů, úspora paliva 5 milionů litrů / rok
5. Kodiak Island, Aljaška	Stabilizace ostrovní sítě	Stabilizace sítě s výkyvy 9 MW, prodloužení životnosti akumulacních baterií

Ostrovní energetické sítě nyní představují 36 % všech zásobníků energie od společnosti Tesla. Od listopadu 2016 společnost instalovala baterii první nebo druhou generace Powerpack na pět ostrovů – čtyři jsou v Pacifiku. Pokud jde o kontinentu, Schneider Electric a Engie podepsaly dohodu o vytvoření mikrosít v jihovýchodní Asii.

### 3.1.4. Použití

Mikrosítě se používají jako zdroje nepřerušovaného napájení v nouzových situacích, kromě toho mohou tyto systémy výrazně snížit náklady na elektřinu, zvýšit spolehlivost a zvýšit kapacitu elektrizační soustavy. Hlavním je, že microgrid je možné postavit dokonce i mimo inženýrské sítě. Dalším kladem je to, že tyto systémy využívají zdroje energie šetrné k životnímu prostředí.<sup>[NEO]</sup>

## 3.2. Návrh městského energetického střediska

Při studiu lokality je nejdůležitější identifikace problému. Pro městské energetické středisko jsou další hlavní problémy:

- přístup – identifikace systémových a individuálních důsledků jednotlivé volby;

- analýza – současná simulace, zpracování dat odvozených z různých infrastruktur;
- návrh, uspořádání a provoz – výběr velikostí, typologií pro novou infrastrukturu a optimální provoz systémů.

### 3.2.1. Přístup

Jedním z nejzajímavějších témat pro analýzu je objevování nových výhod poptávky po službách ve městě. Poslední věcí, kterou je třeba vyvinout, je potřeba účinného městského systému.

Co se týče energie, svět je již převážně městský. Odhaduje se, že 60 až 80 % světové spotřeby energie je v městských oblastech. V mnoha rozvojových zemích spotřebují obyvatelé měst výrazně více energie na jednoho obyvatele než obyvatelé venkova. To odráží především jejich mnohem vyšší průměrný příjem. Naopak v mnoha průmyslově vyspělých zemích je spotřeba energie obyvatel měst na jednoho obyvatele často nižší než celostátní průměr, což odráží dopad kompaktních městských forem zástavby, typů sídel (vícepodlažní bytové domy), dostupnost a / nebo praktickou vhodnost systémů infrastruktury veřejné dopravy ve srovnání s budovami v příměstské nebo venkovské zástavby.

Ze všech hlavních faktorů určujících využití energie ve městech – klima, situace ve světové ekonomice, vzorce spotřeby, kvalita zastavěného prostředí, městská forma a hustota (včetně dopravních systémů), jakož i městské energetické systémy a jejich integrace – pouze poslední tři faktory jsou přinejmenším zčásti přijatelné pro tvorbu politiky městských správ. V důsledku toho by se měla městská energetická politika z hlediska pákového efektu<sup>17</sup> i potenciálu zaměřit především na řízení poptávky se zaměřením na energeticky účinné budovy, strukturování městského tvaru a hustoty, které přispívají k energeticky účinnému bydlení, vysoce kvalitním službám veřejné dopravy a integraci městských energetických systémů.

Potenciál energetické účinnosti v městských oblastech zůstává obrovský, odhad naznačuje, že energetická účinnost ve městech je obvykle nižší než 20%; představuje potenciál pro zlepšení více než pětikrát. Potenciální opatření návrhů městských dodávek jsou naopak velmi omezená, zejména pokud jde o obnovitelné zdroje energie. V nejlepším případě mohou místní obnovitelné zdroje energie poskytnout 1% spotřeby energie v metropolích a několik procentních bodů v malých městech s nízkou hustotou v důsledku nesouladu mezi (vysokou) hustotou poptávky po energii ve městech a (nízkou) hustotou dodávky energie z obnovitelných zdrojů na lokální úrovni. <sup>[GRU]</sup>

---

17 Pákový efekt (leverage) je použití malého objemu vlastního kapitálu doplněného podstatně větším objemem cizího kapitálu na financování investice.

### 3.2.2. Analýza

Analýza městského energetického centra zdůrazňuje možnost modelování chování různých částí systému a struktury výstupních vlastností, a to poptávky po elektřině a tepelné energii. V kontextu města bude pravděpodobně vhodné provést takovou analýzu pomocí souběžných nástrojů modelování.

V *MESCOS*<sup>[MOL1]</sup> hodnocení skutečného potenciálu a schopností energetického systému městské části podpořit integraci obnovitelných zdrojů energie vyžaduje komplexní analýzu systému s více doménami, včetně infrastruktury dodávek energie, velkého počtu heterogenních systémů energetických systémů budov (Building Energy Systems – BES) a systémů řízení a kontroly energie (Energy Management Systems – EMS).<sup>[MOL2]</sup> Začlenění energetické infrastruktury do holistické analýzy dává představu o účincích, jako je přetížení vedení v elektrické síti, které nelze v jednotlivých budovách zkoumat, ale závisí na kolektivním chování skupiny budov. Analýza sídliště s cílem využít synergie mezi různými typy BES zahrnuje také systémy řízení na různých úrovních. Testování a analýza účinnosti nových koncepcí řízení a ovládání energie napříč městskými oblastmi umožňuje vývoj a rozvoj nových modelových platforem. Analýza na řízených zařízeních je zaměřena na elektrotepelné systémy pro domácnost. Platforma však také umožní analyzovat a modelovat energetické systémy městské části, které nejsou úzce spojeny s budovami, například integrací elektrických vozidel do sítě.

Následující modelovací prostředí jsou také široce používána v literatuře pro modelování městských energetických systémů. Některé nástroje pro modelování ve více měřítkách mohou pokrývat mnoho nebo všechny oblasti zájmu, jako jsou systémy budov, chování uživatelů, výroba energie a obnovitelné zdroje.

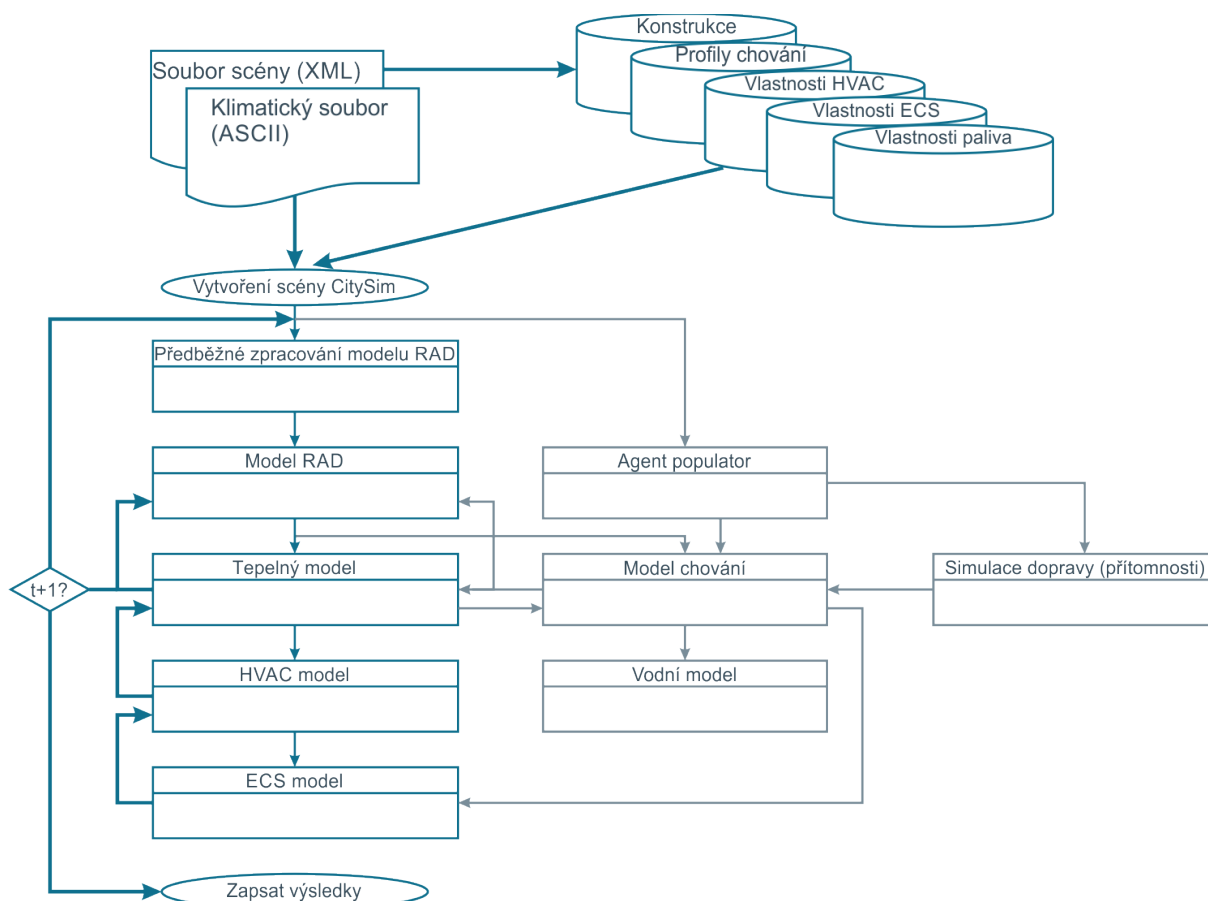
Modelování výkonnosti budov je vyspělá oblast výzkumu s mnoha dostupnými mechanismy modelování a schopnostmi modelování systémů. Hlavními příklady jsou simulační program *EnergyPlus* a městský simulační program *CitySim*. Urbanistické energetické modelování je nová oblast, která se snaží modelovat mnoho komplexů budov. Jednotlivé budovy mohou být různé. Ukázalo se, že interakce mezi budovou a městským měřítkem ovlivňuje předpověď výkonu na obou stupnicích.

V některých pracích<sup>[THO]</sup> bylo popsáno současné modelování, které zahrnovalo *EnergyPlus* (nejběžněji používaný modelářský nástroj na úrovni budovy) a *CitySim*. To umožňuje analyzovat více budov, počínaje stavebním informačním modelem (BIM). *EnergyPlus* používá detailní model budovy, zatímco *CitySim* bere v úvahu zjednodušené modely, které vyhovují dané oblasti. *CitySim* má pokročilejší možnosti pro výpočet radiální výměny městských budov a *EnergyPlus* má pokročilejší nástroj pro výpočet tepelného a chladicího zatížení v měřítku jedné budovy. Nicméně *CitySim* a *EnergyPlus* nepočítají s dostupností elektrické infrastruktury a jejím chováním.

Software *CitySim* si klade za cíl poskytnout podporu rozhodování pro specialisty v urbanismu a zúčastněné strany, aby se minimalizovalo čisté využívání neobnovitelných zdrojů energie, jakož i souvisejících emisí skleníkových plynů.

Použití grafického uživatelského rozhraní (Graphical User Interface – GUI) *CitySim* založeného na jazyce Java k modelování a optimalizaci toků zdrojů spojených s budovou se provádí podle čtyř klíčových kroků:

- stanovení lokality a souvisejících klimatických dat;
- výběr a úprava výchozích sad dat pro typy a věkové kategorie budov, které mají být studovány;
- definice trojrozměrného tvaru budov; identifikace systémů napájení a skladování pro modelování; upřesnění atributů budov a systémů;
- analyzování XML dat z GUI do C ++ řešitele pro simulaci hodinových toků zdrojů (koncept je na Obr. 3.5); analýza výsledků a návrat do grafického rozhraní.<sup>[ROB]</sup>



Obr. 3.5

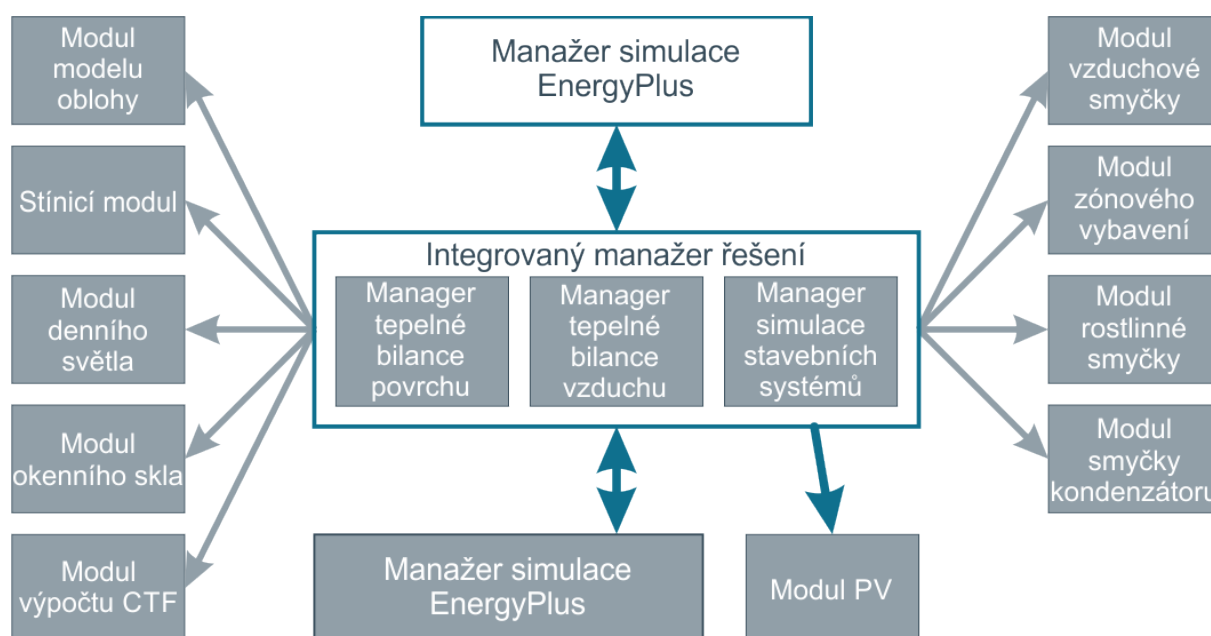
Konceptní struktura *CitySim* s plánovanou funkcí zobrazenou šedě.<sup>18</sup>

18 Originál: HALDI, Frédéric. Conceptual structure of *CitySim*, with planned functionality shown in grey. In: *ResearchGate*. From the neighbourhood to the city : resource flow modelling for urban sustainability [online]. 2009 [cit.18.04.2019]. Dostupné z:



EnergyPlus<sup>19</sup> je založen na programech BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) a DOE-2. BLAST a DOE-2 byly vyvinuty a vydány koncem 70. let jako nástroje pro modelování energie a zátěže. EnergyPlus je program pro energetickou analýzu a simulaci tepelného zatížení. Na základě popisu uživatele budovy z hlediska jeho fyzického uspořádání, souvisejících mechanických systémů atd. EnergyPlus vypočítá topná a chladicí zatížení potřebná k udržení žádané hodnoty tepelného řízení, podmínek v celém systému sekundárního vytápění, větrání a klimatizace a zátěží na elektromotorech a spotřeba energie hlavního zařízení elektrárny, jakož i mnoho dalších podrobností modelování nezbytných k ověření, že simulace je prováděna jako skutečná budova.

Obr. 3.6 ukazuje tuto celkovou organizaci ve schematické podobě.



Obr. 3.6  
Konceptní struktura EnergyPlus.<sup>20</sup>

EnergyPlus však není uživatelským rozhraním. Předpokládá se, že to bude mechanismus pro modelování, kolem kterého může být zabaleno rozhraní třetích stran. Vstupy a výstupy jsou jednoduché texty ASCII, které lze dešifrovat, ale je nejlepší je ponechat v grafickém uživatelském rozhraní. Tento přístup umožňuje návrhářům rozhraní vytvářet vysoce kvalitní nástroje speciálně navržené pro jednotlivé trhy a úkoly. V důsledku toho byl vytvořen software DesignBuilder s uživatelsky příjemným rozhraním.

[https://www.researchgate.net/figure/Conceptual-structure-of-CitySim-with-planned-functionality-shown-in-grey\\_fig2\\_40868121](https://www.researchgate.net/figure/Conceptual-structure-of-CitySim-with-planned-functionality-shown-in-grey_fig2_40868121)

19 EnergyPlus. EnergyPlus [online]. [cit.17.04.2019]. Dostupné z: <https://energyplus.net/>

20 Program EnergyPlus je souborem mnoha programových modulů, které spolupracují na výpočtu energie potřebné pro vytápění a chlazení budovy pomocí různých systémů a zdrojů energie.

Originál: General Modeling Overview. In: BigLadderSoftware. Engineering Reference – EnergyPlus [online]. 2009 [cit.18.04.2019]. Dostupné z: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-1/engineering-reference/media/image1.png>

### 3.2.3. Optimální návrh a provozní nástroje

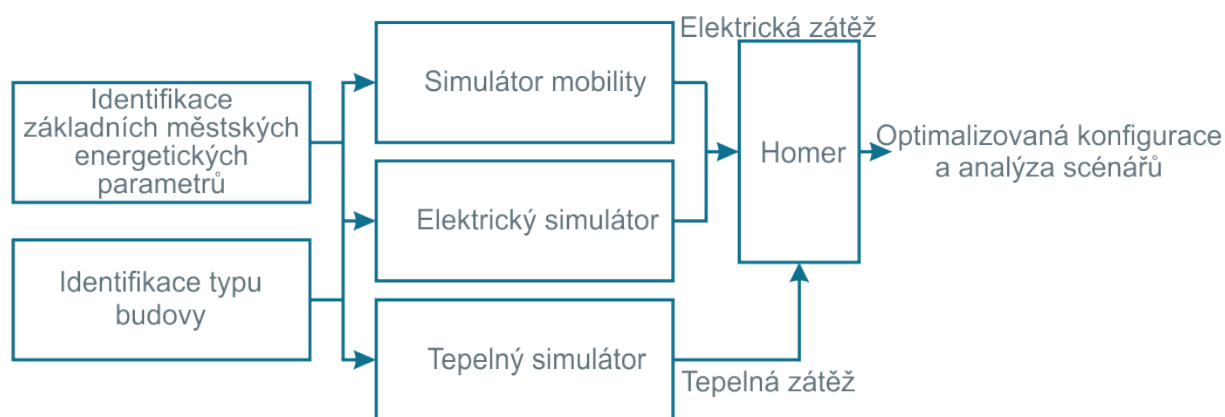
Návrh energetického systému je primárně charakterizován použitím optimalizačních metod (72 % z 39 studií). Typickým problémem studií je určení pro vnější strukturu potřeb energetických služeb kombinace základního vybavení a pracovních vzorů tak, aby splňovaly určitý cíl podléhající omezením (například, který systém s nejnižšími náklady splňuje potřeby v oblasti tepla a elektřiny podléhá cílům snižování emisí uhlíku).<sup>[KEI]</sup>

Co se týče optimálního výkonu, stejně jako návrh a uspořádání je problémem je poskytnout velikosti optimalizovaných jednotek a zajistit provozuschopnost, které jsou nastaveny jako vstupní data křivek požadavků těch toků, které lze považovat za nositele energii, tj. teplo, elektřina, mobilita a voda.

V mnoha dílech jsou časté problémy s provozem a uspořádáním, které jsou řešeny pro městské sítě a energetická centra s využitím vysoce výkonných softwarových nástrojů. Existující programy jak pro analýzu, tak pro optimalizaci však provádějí modelování z hlediska energetického plánování, aniž by byla zohledněna závislost na vlastnostech energetických zdrojů nebo charakteristikách jiných systémů. Ve městském měřítku má tato závislost velký vliv na umístění zdrojů a spotřebu energie. Proto byly vytvořeny techniky pro analýzu a optimalizaci zdrojů energie s ohledem na závislost na systémech.

## 4. Metodika modelování energetických středisek

Ve snaze začlenit různé modelovací nástroje pro vytvoření a rozvoj optimalizovaného systému umístění zdrojů pro vybavení městských energetických středisek byla vytvořena metodika. Konečným cílem je identifikovat významný vztah mezi městskými parametry a energetickými charakteristikami pro návrh nástroje pro okamžitou předběžnou analýzu, s níž bude možná rekvalifikace energetických oblastí. Obr. 4.1 ukazuje metodický přístup k problému. Simulátory elektřiny, tepla a mobility jsou součástí projektu optimalizace obnovitelných zdrojů a dalších zdrojů pro výrobu energie v dané oblasti. Výsledná řešení vytvářejí různé dopady na životní prostředí na základě tzv. „městské morfologie“.



Obr. 4.1

Metodický přístup k optimalizaci konfigurací a analýze scénářů.

Metodika se používá pro různé oblasti stejného města, vykazující různou hustotu bydlení, aby se vytvořilo indexové zastoupení pro různé morfologie měst. Výchozím bodem metodiky je stanovení hlavních městských funkcí analyzovaných oblastí. Základní ukazatele „městské morfologie“ jsou dány specifikací hodnoty a potenciálních energetických potřeb.

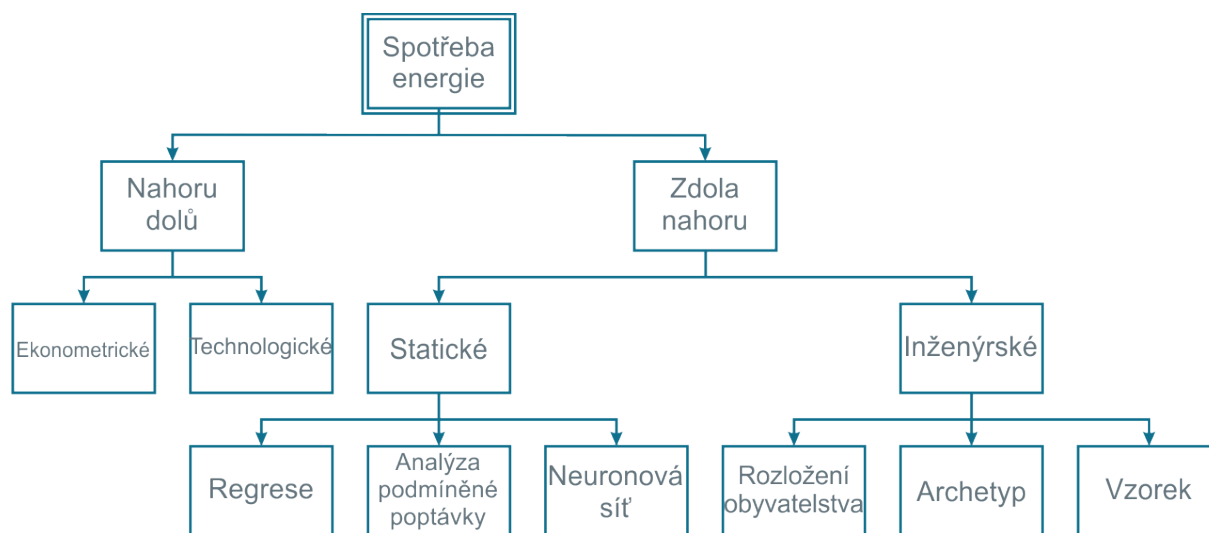
### 4.1. Specifikace parametrů městské energie

Z hlediska chytrého plánování lze oblast definovat jako základní jednotku spotřeby okrsku. Oblast je charakterizována uzly (budovami) označenými jako blízké body spotřeby a sítěmi infrastruktury (například energie, voda, doprava, odpad, komunikační technologie), ve kterých se tyto uzly nacházejí. Základem pro stanovení koordinovaných plánovacích opatření zaměřených na snižování spotřeby fosilních paliv jsou charakteristiky okresu z hlediska klasických parametrů urbanistického plánování, sítí a uzlů z hlediska energetiky a technologií.

Existuje mnoho vědeckých prací, které navrhují metody klasifikace komplexů stávajících budov z energetického hlediska. Mezi nimi lze rozlišit nejdůležitější dvě metody: shora dolů a zdola nahoru. Každá z nich je založena na různých úrovních vstupních informací, na různých

metodách výpočtu pro určení spotřeby energie a poskytuje výsledky s různou použitelností. V sestupných modelech se odhad celkové spotřeby energie v rezidenčním sektoru používá k přiřazení spotřeby energie k charakteristikám celého sektoru bydlení. Na rozdíl od toho vzestupné modely počítají spotřebu energie jednotlivců nebo skupin domů a pak tyto výsledky extrapolují tak, aby reprezentovaly region nebo stát.<sup>[SWA]</sup>

Seskupení metod nahoru dolů a zdola nahoru pro modelování spotřeby energie v obytných zónách je znázorněno na Obr. 4.2.

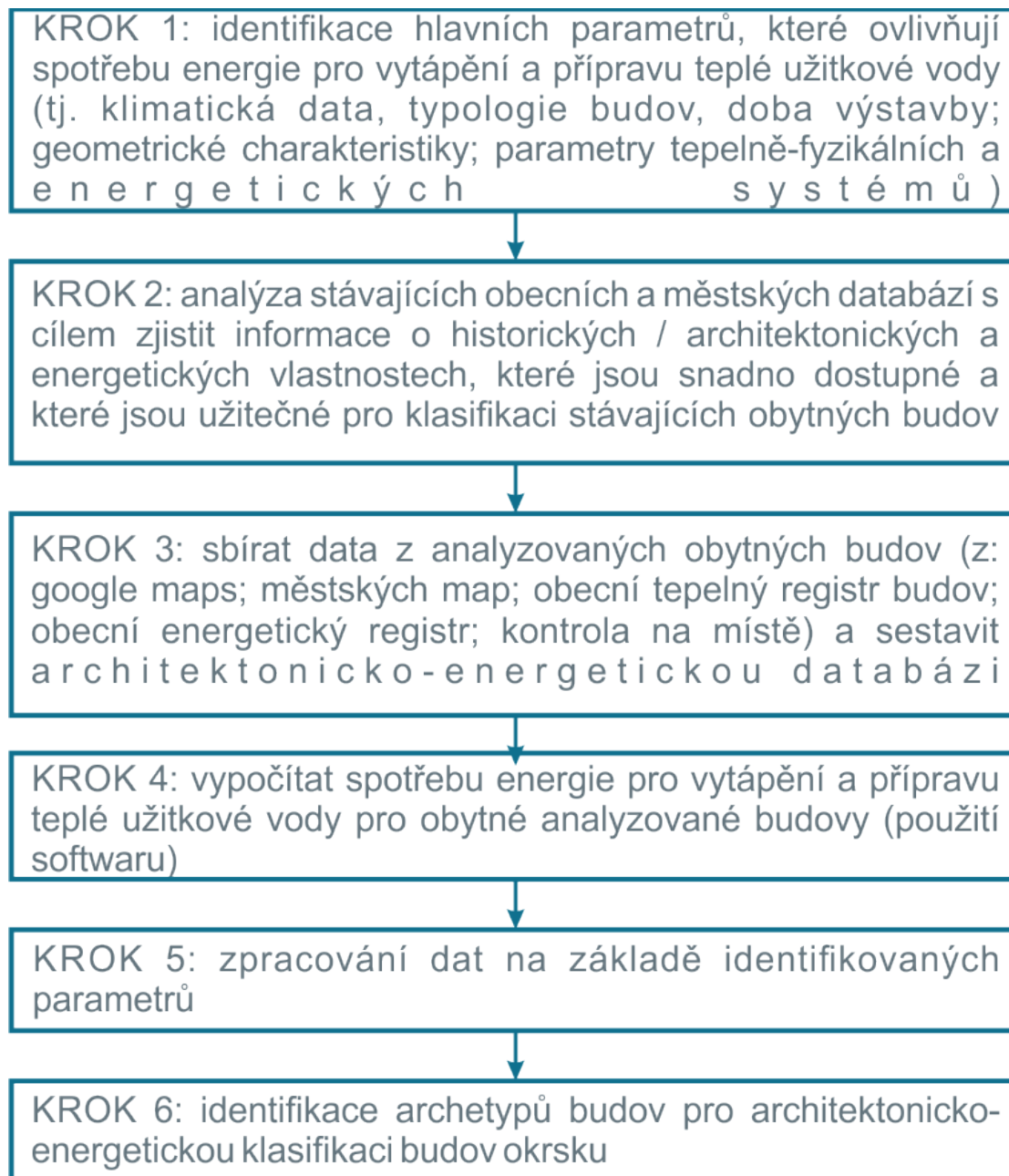


Obr. 4.2

Techniky modelování nahoru dolů a zdola nahoru pro odhad regionální nebo národní spotřeby energie v domácnostech.<sup>21</sup>

21 Originál: SWAN, Lucas G.. Top-down and bottom-up modeling techniques for estimating the regional or national residential energy consumption. In: ScienceDirect. *A review of modeling techniques* [online]. 2009 [cit.19.04.2019]. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1364032108001949-gr2.jpg>

Dále jsou na Obr. 4.3 uvedeny kroky použité metodiky, které začínají definicí architektonické typologie samostatné budovy. Tato klasifikace podle architektonické typologie je snadno dostupná z map a obecních pravidel.



Obr. 4.3

Metodika identifikace energeticko-architektonických archetypů budov.<sup>22</sup>

22 Originál: FERRANTE, Patrizia. Methodology for the identification of the energy-architectonic archetypes. In: *IEEE Xplore Digital Library*. On the architectural and energy classification of existing buildings: A case study of a district in the city of Palermo [online]. 2016 [cit.19.04.2019]. Dostupné z: [https://ieeexplore.ieee.org/mediastore\\_new/IEEE/content/media/7547194/7555399/7555412/7555412-fig-1-source-small.gif](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/7547194/7555399/7555412/7555412-fig-1-source-small.gif)

V Tab. 4.1 jsou uvedeny hlavní parametry typologie obytných oblastí.

Tab. 4.1 : Základní městské energetické parametry pro obytné okrsky.

Parametr	Jednotky a vzorce	Význam a použití
<b>ZÁKLADNÍ MĚSTSKÉ ENERGETICKÉ PARAMETRY</b>		
Obyvatel okrsku ( $D_i$ )	počet	-
Celkový počet budov v okrsku ( $B_n$ )	počet	-
Plocha okrsku ( $D_a$ )	$m^2$	-
Zastavěná plocha okrsku ( $D_b$ )	$m^2$	-
Zelená plocha okrsku ( $D_g$ )	$m^2$	Poskytuje informace o ploše v okrsku, která může být dostupná pro instalaci integrovaných malých zdrojů OZE se svislou osou, které mají menší vliv na životní prostředí a více možností instalace v městském prostředí, integrovaných systémů PV na střeších apod. Zelené prostory, pokud mají porost vysokých stromů, mají také zmírňující účinek na ostrov <sup>23</sup> horka ve městě ( $U_{hi}$ ).
Plocha ulic v okrsku ( $D_s$ )	$m^2$	Poskytuje údaje o nepropustných povrchových plochách, které v okrsku ovlivňují $U_{hi}$ .
Plocha střech v okrsku ( $D_r$ )	$m^2$	Poskytuje údaje o instalačním potenciálu systémů PV na budovách v okrsku. Udává celkovou plochu střech v okrsku.
Dostupná plocha střech v okrsku ( $D_{ra}$ )	$m^2$	Poskytuje údaje o užité ploše pro instalaci systémů PV. Je vypočítávána za použití procentního snížení vůči celkové ploše střech v okrsku ( $D_r$ ). Toto procento závisí na situování střech (nejsou brány v úvahu zešíkmení, obrácená k severu) a stíny, vytvářené překážkami (tj. plocha střešních oken a světlíků a / nebo technický prostor výtahu budovy). Toto lze simulovat prostředky konkrétního software nebo mapami s odstraněním v okrsku.
Povrch přenosu tepla v	$m^2$	Je rovný součtu rozptylujících povrchů budov

23 Městské systémy jsou nyní uvažovány s vyššími teplotami než venkovské oblasti, které k nim přiléhají. Jsou definovány jako „účinek městského ostrova horka“. Tento jev je charakterizován rozdílem teploty mezi centrem a periferií až o 10 ÷ 15 °C vyšší v městských oblastech. Oba činitelé, ovlivňující tento jev, jsou geografické a vycházejí ze studií pro plánování města (např. z nadmořské výšky, porostu, velikosti a morfologie města, lidských aktivit, mezi něž patří například dopravní proud)

okrsku ( $D_{ts}$ )		v okrsku (plocha střech, vnější povrchy budov a základová plocha budov).
Průměrná výška budov v okrsku ( $H$ )	m	-
Objem budov v okrsku pro vytápění ( $B_{gv}$ )	$m^3$	Je roven součtu vytápěných objemů v budovách v okrsku.
Koeficient tvaru okrsku ( $S_{df}$ )	$S_{df} = D_{ts} / B_{gv}$ (1 / m)	Poskytuje údaj o průměrné kompaktnosti budov v okrsku, která také souvisí s převládajícím architektonickým stylem v okrsku (např. pokud existují bloky budov, které jsou kompaktnější, nebo řadové budovy, které jsou méně kompaktní). Navíc obecně nižší hodnoty $S_{df}$ svědčí o vysoce účinných tvarech budov z energetického hlediska.
Index územní hustoty ( $T_{dix}$ )	$T_{dix} = B_{gv} / D_a$ ( $m^3 / m^2$ )	Poskytuje údaj o „hustotě zástavby“ v okrsku, na úrovni plánování představuje maximální objem, kterým lze zastavět jednotku plochy; vysoké hodnoty tohoto parametru identifikují kontexty města s vysokou hustotou.
<b>PARAMETRY, KTERÉ CHARAKTERIZUJÍ MĚSTSKÉ MIKROKLIMA</b>		
Průměrná vzdálenost mezi budovami ( $B_d$ )	m	Jedná se o parametr, který ovlivňuje mikroklima v místě, a tedy silně ovlivňuje požadavky na energii v budovách. Ve skutečnosti souvisí s možností přirozené ventilace. Mikroklimatické podmínky na venkově nebo v oblastech s nízkou hustotou zástavby se obecně se velmi liší od městských oblastí s velkou hustotou zástavby. Teplota v posledně uvedených je mnohem vyšší kvůli hodnotě $U_{hi}$ ; rychlost větru je nižší kvůli výšce, blízkosti a hustotě budov v okrsku a sluneční záření je ovlivňováno účinkem stínění a odrazu, danými sousedními budovami.
Koeficient pohledu na oblohu ( $S_{vf}$ )	-	Vyjadřuje poměr mezi hloubkou nížin ve městě a jejich hustotou. Hodnota je vyjádřena reálným číslem v rozmezí $0 \div 1$ . V termínech $U_{hi}$ se jedná o významnou hodnotu $S_{vf}$ (vysoké budovy, rozdělené úzkou ulicí), vykládanou jako možnost silné akumulace tepla v budovách, které jsou středem zájmu. K tomu dochází, protože sluneční záření je „zachycováno“ v soutěsce a vmanévrována se do systému vytápění budov více než je tomu v „otevřené“ situaci.

Vzor budov byl charakterizován na základě informací týkajících se:

- kontextu (například průměrná výška a blízkost okolních budov, přítomnost a velikost zelených ploch);
- geometrie (například velikost budovy, objem, plocha pláště budovy, geometrická typologie);
- specifických vlastností stavebních prvků a stavebních systémů (např. typologie povrchů stěn a prosklených prvků, typ topného systému a výroba teplé užitkové vody), které byly shrnuty obdobím výstavby budovy;
- výpočtu spotřeby energie pro vytápění a ohřev teplé vody a energetické parametry.

Například, v <sup>[FER]</sup> byla architektonická typologie rozdělena do 5 kategorií:

- základní budova (BB) – izolované venkovské stodoly, později rozšířené a používané jako obytná budova, mají zpravidla pouze jedno patro;
- izolovaná budova (IB) – izolovaná, má soukromou zahradu, obvykle má jedno nebo dvě patra;
- předměstská stavba (PRS) – má dvě společné zdi s přilehlými budovami, pouze dvě strany, přední a zadní. Skládají se ze dvou nebo tří podlaží, zřídka čtyři (standardní počet podlaží 3,20 m);
- lineární budova (LB) – charakterizovaná lineárními kombinacemi bytových jednotek, má obvykle více než čtyři patra (standardní výška podlahy 3,20 m);
- stavba bloků (BKB) – získaná z lineárních budov, které mění směr a tím omezují vnitřní prostor. Obvykle má šest nebo více podlaží a je prezentován jako jeden celek.

Pro každou identifikovanou architektonickou typologii je „typ budovy“ určen průměrnou hodnotou geometrických charakteristik budov souvisejících s touto typologií a základním stavebním obdobím, které byly použity ke stanovení tepelných a fyzikálních parametrů obálky budovy. Co se týče výrobních systémů zásobování teplem a teplou vodou, jedná se o typickou technologii pro hlavní stavební období (určeno typickou analýzou sebraných dat). Tímto způsobem architektonickou klasifikací jsou tedy identifikované typologie určovány také z energetického hlediska.



Tab. 4.2 uvádí hlavní funkce pro každou stavební typologie modelování k posouzení tepelné zátěže.

Tab. 4.2 : Průměrné geometrické vlastnosti, architektonické a energetické charakteristiky jednotlivých typologií budov.<sup>24</sup>

Identifikovaná typologie budovy	Geometrické charakteristiky identifikované typologie budovy							
	BB	Celková plocha povrchu podlaží (m <sup>2</sup> )	Podlaží (počet)	Bytů (počet)	Vnější povrch budovy S (m <sup>2</sup> )	Vytápěný objem V (m <sup>3</sup> )	S / V * (1 / m)	
Architektonické a energetické charakteristiky identifikované typologie budovy								
Fáze výstavby		Hodnota propustnosti (W / m <sup>2</sup> K)				Vytápění a typ systému TUV		
		První podlaží	Vnější stěny	Střecha	Okna	Vytápění **, H	Teplá užitková voda **, TUV	Typ *** <sup>25</sup>

## 4.2. Simulátory chování budov

Z fyzického hlediska je budova velmi složitým systémem, který je ovlivněn širokou škálou parametrů. Simulační model je abstrakce skutečné budovy, která umožní vzít v úvahu dopad na vysokou úroveň detailů a analyzovat klíčové ukazatele výkonnosti bez nákladných měření. Modelování výkonnosti budov (Building Performance Simulation – BPS) je technologie s významným potenciálem, která umožňuje realisticky kvantifikovat a porovnat relativní náklady a výkonnostní charakteristiky navrhovaného projektu s relativně malými náklady a výdaji. Poptávka po energii, kvalita vnitřního prostředí (včetně tepelného a vizuálního komfortu, kvality vnitřního ovzduší a vlhkosti), vytápění, větrání a klimatizace a obnovitelných systémů, městského modelování, automatizace budov a optimalizace práce jsou důležité aspekty BPS.

24 FERRANTE, Patrizia. Average geometrical properties, architectural and energy characteristics of each building typologies. In: *IEEE Xplore Digital Library*. On the architectural and energy classification of existing buildings: A case study of a district in the city of Palermo [online]. 2016 [cit.19.04.2019]. Dostupné z: [https://ieeexplore.ieee.org/mediastore\\_new/IEEE/content/media/7547194/7555399/7555412/7555412-table-3-source-small.gif](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/7547194/7555399/7555412/7555412-table-3-source-small.gif)

25 \*, „Tvarový poměr“ je poměr mezi vnějším povrchem budovy (S) a vytápěným objemem (V), který je tímto povrchem opláštěn.

\*\* Typ systému a druh energie (elektřina, plyn apod.).

\*\*\* Autonomní pro byt nebo centralizované; kombinovaní (H+DHW) nebo ne.

## 4.2.1. Softwarové nástroje

Za posledních 50 let byly vyvinuty, rozšířeny a využívány doslova stovky energetických programů pro budovy. Hlavními stavebními energetickými nástroji jsou programy modelování energie pro celou budovu, které poskytují uživatelům klíčové ukazatele výkonnosti budov, jako je spotřeba energie a poptávka, teplota, vlhkost a náklady.

Obecně lze software BPS klasifikovat jako:

- aplikace s integrovaným simulačním softwarovým komponentem – BPS s vlastním softwarovým komponentem;
- software, které se připojují ke konkrétnímu softwarovému komponentu – BPS s externím softwarovým komponentem;
- plugíny pro jiný software poskytující specifickou analýzu výkonu;
- software, které zajišťují komunikaci mezi BPS a geometrickým modelováním pomocí grafického programování (algoritmické modelování) – „glue“-software.

### 4.2.1.a. BPS s vlastním softwarovým komponentem

*BSim*<sup>26</sup> poskytuje pohodlné modelování detailního kombinovaného hydrotermálního modelování budov a staveb. Dnes je *BSim* nejrozšířenějším nástrojem v Dánsku a s rostoucím zájmem v zahraničí pro návrh energetiky budov a analýzu vlhkosti.

*DOE2*<sup>27</sup> předpovídá hodinovou spotřebu energie a energetické náklady budovy na základě hodinových informací o počasí, geometrického popisu budovy a HVAC a tarifní struktury pro veřejné služby. *DOE-2* má jeden podprogram pro vstupní konverzi (*BDL processor*) a čtyři simulační podprogramy (*LOADS, SYSTEMS, PLANT* a *ECON*).

*EnergyPlus*<sup>28</sup> je modulární strukturovaný kód založený na nejoblíbenějších funkcích a schopnostech *BLAST* a *DOE2*. Jedná se o modelovací mechanismus se vstupem a výstupem textových souborů. Zatížení vypočtená (pomocí mechanismu tepelné bilance) s uživatelem definovaným časovým krokem jsou přenesena do modelovacího modulu stavebních systémů najednou. Modul modelování stavebního systému *EnergyPlus* s variabilním časovým krokem počítá odezvu systému vytápění a chlazení a odezvu zařízení a elektrického systému.

*ESP-r*<sup>29</sup> je univerzální více doménové prostředí pro vytváření tepelného proudění vzduchu mezi zónami, pohybem vzduchu uvnitř zóny, vytápěním, ventilací a klimatizací a průtokem elektřiny – simulačním prostředím. Vychází ze schématu „modelování následuje popis“, když

26 Engineering Simulation Software and Services | *BSim Engineering*, 2017 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.bsim-engineering.com/>

27 HIRSH, Jeff, 2017. *DOE2.com Home Page* [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.doe2.com/>

28 ENERGYPLUS. *EnergyPlus* | *EnergyPlus* [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://energyplus.net/>

29 ESP-r. *ESRU Web site*, 2015 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>

se při vývoji budovy a popisu systému uplatňují další technické oblasti; udržuje jasnou energetickou rovnováhu v každé zóně a na každém povrchu.

*IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)*<sup>30</sup> je založen na společné modelovací platformě pro modulární systémy, modelovací prostředí IDA. Fyzické systémy z několika oblastí v IDA jsou popsány pomocí symbolických rovnic uvedených v jednom nebo obou modelovacích jazycích v neutrálním modelu (NMF) nebo ve formátu MODELICA.

*iDbuild*<sup>31</sup> je kombinovaný denní a tepelný simulační nástroj pro modelování denního světla a energetické účinnosti místností v budovách založených na klimatických datech. Nástroj je schopen ukázat, jak parametry určující výkon a jejich kombinace ovlivňují energetické charakteristiky, tepelné prostředí v místnosti, kvalitu vzduchu a podmínky denního světla na úrovni místnosti.

#### 4.2.1.b. BPS s externím softwarovým komponentem

*IES 〈VE〉*<sup>32</sup> je integrovaná sada aplikací spojených společným uživatelským rozhraním a jednotným integrovaným datovým modelem. Program poskytuje prostředí pro podrobné posouzení staveb budov a systémů, které jim umožní optimalizovat v souladu s kritérii komfortu a spotřeby energie.

*RADIANCE*<sup>33</sup> je sada nástrojů pro modelování osvětlení. Obsahuje vizualizační nástroj, stejně jako mnoho dalších nástrojů pro měření úrovně imitace světla. Využívá trasování paprsků k provádění všech výpočtů osvětlení zrychlených pomocí datové struktury oktostromu. Nejprve představil koncept zobrazování s vysokým dynamickým rozsahem, když úrovně světla (teoreticky) jsou hodnoty s otevřeným koncem namísto desetinného maxima (například od 0,0 do 1,0) nebo integrálního maximálního zlomku (od 0 do 255/255). Rovněž implementuje globální osvětlení pomocí metody Monte Carlo pro vzorkování světelného incidentu na místě.

*VELUX Daylight Visualizer*<sup>34</sup> je nástroj pro modelování osvětlení pro analýzu denního světla v budovách. Je navržen tak, aby usnadňoval používání denního světla a pomáhal profesionálům předpovídat a dokumentovat úroveň denního světla a vzhled místnosti před realizací stavebního projektu.

---

30 *IDA ICE – Simulation Software | EQUA*, 2015 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.equa.se/en/ida-ice>

31 *Welcome to idbuild.dk | iDbuild*, 2017 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.idbuild.dk/>

32 *Integrated Environmental Solutions. Integrated Environmental Solutions*, 2011 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.iesve.com/>

33 *Radiance — Radsite | radiance-online.org*, 2017 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.radiance-online.org/>

34 *VELUX Group - better living for people, using daylight and fresh air. VELUX Group - better living for people, using daylight and fresh air*, 2018 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.velux.com/>

### 4.2.1.c. Pluginy

*DAYSIM*<sup>35</sup> je software pro analýzu denního světla na bázi RADIANCE, který simuluje roční množství denního světla v budovách a okolí budov. DAYSIM umožňuje uživatelům modelovat dynamické fasádní systémy, od standardních žaluzií až po moderní prvky přeměrování světla, přepínatelného zasklení a jejich kombinací. Uživatelé mohou volitelně specifikovat komplexní elektrické osvětlovací a řídicí systémy, včetně ručních světelných spínačů, senzorů přítomnosti a fotobuňky řízené stmíváním.

*DesignBuilder*<sup>36</sup> je softwarový nástroj založený na technologii EnergyPlus, který se používá k měření a kontrole energie, uhlíku, osvětlení a pohodlí. DesignBuilder kombinuje rychlé trojrozměrné modelování budov s dynamickým energetickým modelováním.

*The Quick Energy Simulation Tool (eQUEST)*<sup>37</sup> je snadno použitelný nástroj pro analýzu spotřeby energie v budovách, který poskytuje vysoce kvalitní výsledky kombinací wizardu stavby budov, wizardu měření energetické účinnosti (EEM) a grafickým zobrazovacím modulem výsledků s vylepšeným programem modelování energie budov DOE2.

*OpenStudio*<sup>38</sup> je multiplatformová sbírka softwarových nástrojů pro podporu energetického modelování celé budovy s využitím technologie EnergyPlus a pokročilé analýzy denního světla pomocí programu RADIANCE. OpenStudio je open source projekt (LGPL), jehož cílem je podpora rozvoje a expanze komunity a zavedení soukromého sektoru.

*RIUSKA*<sup>39</sup> se používá pro výpočet komfortu a energetické charakteristiky budovy. Program je také používán pro modelování v programu MagiCAD Comfort & Energy, což znamená, že tento software je také certifikován společností BREEAM.

*DIVA-for-Rhino*<sup>40</sup> je vysoce optimalizovaný plugin pro denní a energetické modelování pro modeláře Rhinoceros – NURBS. DIVA-for-Rhino umožňuje uživatelům provádět řadu hodnocení environmentálních charakteristik jednotlivých budov a městských krajin, včetně radiačních map, fotorealistických vizualizací, metrik denního světla založených na klimatických, ročních a individuálních časově závislých analýzách oslnění, souladu s požadavky LEED a CHPS denního světla, a také výpočty energie a zátěže v jedné zóně tepla.

---

35 *Daysim*. DAYSIM Advanced Daylight Simulation Software, 2018 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://daysim.ning.com/>

36 *DesignBuilder Software Ltd – Home | DesignBuilder*, 2019 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/>

37 *eQUEST*. DOE2.com, 2009 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.doe2.com/equest/>

38 *OpenStudio | OpenStudio*, 2019[online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.openstudio.net/>

39 *Granlund Group | Granlund Oy*, 2015 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.granlundgroup.com/>

40 NIEMASZ, Jeff, 2019. DIVA for Rhino [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://diva4rhino.com>

*Autodesk Green Building Studio*<sup>41</sup> je flexibilní cloudová služba, která umožňuje provádět modelování výkonu budov, aby se optimalizovala energetická účinnost a dosáhla neutrality uhlíku v raných fázích návrhu.

*Honeybee*<sup>42</sup> spojuje vizuální programovací prostředí Grasshopper se čtyřmi osvědčenými mechanismy modelování – zejména EnergyPlus, RADIANCE, Daysim a OpenStudio – které hodnotí energii budov, pohodlí a denní světlo. Tyto pluginy poskytují dynamické propojení mezi flexibilním komponentovým rozhraním vizuálního programování Grasshopper a osvědčenými sadami environmentálních dat a mechanismy modelování.

Nástroj *jEPlus*<sup>43</sup> byl navržen speciálně pro provádění komplexní parametrické analýzy pomocí programu EnergyPlus. Poskytuje grafické rozhraní pro definování parametrů návrhu, úpravy modelů, správu simulační a shromažďování výsledků.

#### 4.2.1.d. „Glue“-software

*Grasshopper*<sup>44</sup> je vizuální programovací jazyk a prostředí, které funguje na základě Rhinoceros pro počítačem podporované projektování (CAD). Grasshopper se používá především k vytváření generativních algoritmů. Programy mohou také obsahovat další typy algoritmů, včetně numerických, textových, audiovizuálních a hmatových aplikací. Vylepšená použití Grasshopperu zahrnují parametrické modelování pro konstrukční návrh, parametrické modelování pro architekturu a výrobu, analýzu světelných charakteristik pro zelenou architekturu a energetickou spotřebu budov.

*Dynamo*<sup>45</sup> je technologie s open source komponentem pro vizuální programování. Umožňuje manipulovat s daty, zkoumat možnosti návrhu, automatizovat procesy. Když je používán ve spolupráci s jinými aplikacemi, může manipulovat a propojovat složité systémy, jako jsou CAD, stavební informační modely a mechanismy modelování.

### 4.2.2. DesignBuilder

Budovy jsou komplexním termodynamickým objektem, který obsahuje neustále se měnící energetické toky mezi různými tepelnými zónami uvnitř i vně budovy. Vzhledem ke složitosti stavebního modelu může počítačové modelování efektivněji, komplexněji a přesněji analyzovat účinky různých ECM (Energy Conservation Measure, opatření na zachování energie) a jejich komplexních interakcí než jakákoli jiná dostupná metoda.

41 *Green Building Studio*. AUTODESK, 2013 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://gbs.autodesk.com/GBS/>

42 *Ladybug Tools | Honeybee*. Ladybug.tool, 2017[online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>

43 *start [- jEPlus.org]*. [jeplus.org](http://www.jeplus.org), 2018 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.jeplus.org/wiki/doku.php>

44 *Grasshopper - algorithmic modeling for Rhino*. Grasshopper3D, 2019 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.grasshopper3d.com>

45 *Dynamo BIM*. AUTODESK, 2016 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://dynamobim.org>

*DesignBuilder*<sup>[DES]</sup> je software pro komplexní dynamické modelování budov, analýzu a environmentální hodnocení. DesignBuilder má uživatelsky příjemné rozhraní a může být použit pro certifikaci budov.

Hlavním účelem tohoto softwaru je výpočet spotřeby energie budovy. Model budovy lze importovat z jiných programů BIM.

Klíčové vlastnosti programu jsou:

- Výpočet přesných údajů popisujících chování budovy a vnitřního prostředí;
- Vizualizace jakékoli fáze projektu;
- Zlepšení procesu projektování a hodnocení možností (důležitá rozhodovací data jsou k dispozici, když je potřebujete);
- Umožňuje provádět modelování pro malé i velké projekty (od jednotlivých místností až po rodinné domy a velká administrativní centra);
- Umožňuje navrhovat budovy šetrné k životnímu prostředí;
- Lze použít k vyhodnocení některých kritérií pro certifikaci budov v souladu s BREEAM, LEED, GreenStar.

#### **4.2.2.a. Vstupní data**

Pro provedení simulace je nutné vytvořit / upravit dvě hlavní složky stavebního energetického modelu: stavební materiály a komponenty (stěny, podlahy, stropy, obyvatelé a zařízení) a komponenty zařízení (zařízení HVAC a další systémy řízení prostředí). S takovými dobře známými vstupními daty jako jsou: hodnota součinitele prostupu tepla konstrukcí a otvorů, poměr vodivosti solárního zařízení, obsazenost budovy, po simulaci je možné získat stavební a blokový výstup zónových dat (průměrné teploty, komfortní podmínky), vnitřní zisky, latentní zatížení.

#### **4.2.2.b. Simulace**

Software DesignBuilder je založen na simulačním algoritmu EnergyPlus pro hodnocení stavebních podmínek a provozních scénářů. Výpočet distribuce teploty, rychlosti a tlaku se provádí pomocí modulu CFD (Computational Fluid Dynamics, výpočetní dynamika tekutin).

#### **4.2.2.c. Výstupní data**

Po modelování a výpočtech budou tato výstupní data získána jako: tepelné ztráty, solární energie, pokojová teplota, množství energie potřebné pro vytápění, větrání, klimatizace. Po úpravě zobrazení výsledků je možné provést komplexní analýzu a porovnání energetických charakteristik budovy. V nastaveních je možné zvolit, které proměnné budou

zahrnutý do zobrazení grafů interních faktorů zesílení, rozpadu paliva, pohodlí nebo paliva, včetně hodnot CO<sub>2</sub>. Všechny tyto informace lze zobrazit jako graf, tabulku, mřížku nebo souhrn.

#### 4.2.2.d. Použití

Některé typické účely použití výstupních dat jsou:

- hodnocení možnosti fasády z hlediska přehřátí, spotřeby energie a parametrů stínění; vyhodnocení optimálního využití denního světla; modelování systémů řízení osvětlení a stanovení míry úspor v příslušné elektřině;
- výpočet teploty, rychlosti a rozložení tlaku v budově / okolí pomocí modulu CFD (Computational Fluid Dynamics);
- vizualizace územního plánu a stínování;
- tepelná simulace v budovách, které jsou větrané s přirozeným větráním;
- stanovení kapacity vytápěcího a chladicího zařízení, aby se zahrnuły problémy, které pomohou navrhnout klimatizaci.

### 4.3. Simulátory obnovitelných zdrojů energie

V současné době hraje instalace obnovitelných zdrojů energie v energetických systémech významnou úlohu na celém světě, protože obnovitelné zdroje energie jsou šetrné k životnímu prostředí a bezpečné. Mnoho obnovitelných zdrojů energie, jako je fotovoltaika (PV) nebo větrná energie, však závisí na krátkodobých meteorologických podmínkách a je proto méně předvídatelná a / nebo zvládnutelná než tradiční zdroje energie. Proto je nezbytné modelování a simulace těchto zdrojů pro studium vlivu OZE na tok energie a kvalitu energetického systému.

#### 4.3.1. Softwarové nástroje

V další části bude uveden přehled softwarových nástrojů OZE na základě práce <sup>[POC]</sup>.

V <sup>[KAL]</sup> byl vyvinut softwarový nástroj, nazvaný *PHOTOV-III*, pro určení požadované kapacity FV generátoru a pro ukládání fotovoltaických systémů pro autonomní síť a síť. Tento software generuje rozměrové křivky, ale nevypočítává skutečné rozměry fotovoltaického systému. Software navíc neposkytuje analýzu toku energie pro systém připojený k síti.

V <sup>[ELH]</sup> byl vyvinut program na základě *FORTTRAN* pro výpočet plochy velikosti obnovitelných zdrojů energie na základě dobře definovaného profilu počasí. Omezení programu je, že není uživatelsky přívětivý. Kromě toho v případě systémů připojených k síti nelze provádět analýzu toku výkonu.



Pro analýzu různých typů systémů obnovitelné energie existují komerční softwarové nástroje. Tyto komerční softwarové nástroje jsou RETScreen, PV F-Chart, SolarDesignTool, INSEL, TRNSYS, model Solar Advisor NREL, ESP-r 11.5, PVSYST 4.33, SolarPro, PV DesignPro-G, PV\*SOL Expert, HOMER a PV.MY.

Softwarový nástroj *RETscreen* analyzuje ekonomické aspekty systémů obnovitelných zdrojů energie. Nicméně, techniky modelování používané v softwaru jsou spíše omezené.

Software *PV F-Chart* poskytuje analýzu pro návrh autonomních systémů obnovitelných zdrojů energie. Není však zahrnuta možnost simulace hybridního systému obnovitelné energie v jedné mikrosíti. Software navíc poskytuje měsíční hodnocení výkonu, které nemusí být tak přesné jako denní hodnocení výkonu.

Software *SolarDesignTool* poskytuje doporučení pro návrh systémů obnovitelných zdrojů energie připojených k energetickému systému, ale nepředpovídá jejich výkon a dopad na energetický systém.

Software *INSEL* má schopnost simulovat systémy obnovitelných zdrojů energie, ale analýza energetických toků není zvažována.

*TRNSYS* je simulační program používaný k modelování systémů obnovitelných zdrojů energie. Příkladem aplikace simulačního programu je dynamická simulace solárního systému teplé vody během typického meteorologického roku tak, aby bylo možné dosáhnout takového systému dlouhodobých úspor nákladů. Dopad simulovaných obnovitelných zdrojů energie na rozvodnou síť však není analyzován.

Software *PVSYST 4.33* umožňuje určit velikost autonomních systémů a systémů obnovitelných zdrojů energie připojených k síti, nikoli však pro hybridní fotovoltaické systémy, a nemůže takové systémy simulovat.

*PV DesignPro-G* navrhuje pouze systémy obnovitelných zdrojů energie připojené k síti. Solar Pro zároveň zahrnuje výpočty, které berou v úvahu efekty stínování, křivky 1-V a výkonové a finanční analýzy.

*PV\*SOL Expert* poskytuje možnosti vizualizace, které jsou užitečné pro vizualizaci všech paralelních střech a integrovaných střešních systémů PV a také počítá stínování založené na trojrozměrných objektech.

Program *PV.MY* vypočítává optimální velikost obnovitelných zdrojů energie. *PV.MY* může navíc předpovědět denní výkonnost navrženého systému na jeden rok. *PV.MY* však také nemůže vypočítat tok energie pro mikro síť.

Software *RAPSim* je určen pro alternativy k čisté energii, kombinující modely pro obnovitelné zdroje energie a metody modelování energetických sítí. Hlavními oblastmi použití jsou mikrosítě od úrovně domácnosti do distribuční sítě na úrovni nízkého a středního napětí.



Software *HOMER* je velmi dobrým nástrojem pro optimalizaci a modelování, který je široce využíván mnoha výzkumníky. Tento software poskytuje přímou optimalizaci pro všechny typy systémů obnovitelných zdrojů energie a provádí analýzu emisí a ekonomickou analýzu pro inženýrský systém. Kromě toho je software *HOMER* schopen předvídat výkonnost navrženého systému obnovitelné energie. Ale stejně jako u jiných nástrojů, mikrosíťová analýza se nebere v úvahu.

### 4.3.2. HOMER

Hybridní optimalizační model pro obnovitelné zdroje energie (Hybrid Optimization Model for Electrical Renewable – *HOMER*) je mikro-energetický optimalizační model vyvinutý americkou národní laboratoří pro obnovitelné zdroje energie. Tato softwarová aplikace slouží k vývoji a technickému a finančnímu vyhodnocení možností pro autonomní a síťové napájecí systémy pro vzdálené, autonomní a distribuované aplikace. Software může zahrnovat solární fotovoltaické systémy, větrné turbíny, dieselové generátory, střídače a baterie. To umožní zvážit velký počet technologických možností, které budou zohledňovat dostupnost energie a dalších proměnných. *HOMER* byl poprvé vyvinut v roce 1993 pro interní použití ministerstvem energetiky (DOE), pro pochopení kompromisů mezi různými konfiguracemi výroby energie.<sup>[KAS]</sup>

*HOMER* je jedním z nástrojů, které asociace globálního systému pro mobilní komunikaci (Global System for Mobile Communications – *GSMA*) používá pro navrhování základních stanic obnovitelných zdrojů energie.

Struktura programu obsahuje 3 hlavní moduly:

- modelování;
- optimalizace;
- analýza citlivosti.

*HOMER* prezentuje výsledky návrhu ve formě tabulek a grafů, což usnadňuje porovnání různých konfigurací a umožňuje určit ekonomické a technické výhody různých systémů. Omezení jsou podmínky, které musí systém splňovat. *HOMER* vyřazuje systémy, které nesplňují specifikovaná omezení, takže se nezobrazují ve výsledcích optimalizace ani ve výsledcích citlivosti.<sup>[MAL]</sup>

Tab. 4.3 ukazuje některé výhody a omezení použití softwaru *HOMER*.

Tab. 4.3 : Výhody a omezení softwaru HOMER.<sup>46</sup>

Výhody	Omezení
Simuluje seznam skutečných technologií, například katalog dostupných technologií a komponent.	Vyžaduje kvalitní vstupní data (zdroje).
Velmi podrobné výsledky analýzy a hodnocení.	Vyžaduje detailní vstupní data (a čas).
Definuje seznam možných kombinací různých technologií a jejich velikostí.	Potřebuje zkušené kritérium pro souhlas s dobrými řešeními.
Rychle spouští velké množství kombinací.	HOMER nebude hádat klíčové hodnoty nebo velikosti, pokud nejsou zadány.
Výsledky mohou být užitečné pro studium konfigurace a optimalizace systému.	Může být časově náročné a zatěžující.

#### 4.3.2.a. Vstupní data

HOMER umožňuje uživateli zadat hodinový profil spotřeby energie a koordinovat generování obnovitelné energie s požadovanou zátěží. To umožňuje uživateli analyzovat potenciál mikrosítě, špičkový průnik obnovitelných zdrojů energie, poměr obnovitelných zdrojů k celkové energii a stabilitu sítě, zejména pro střední a velké projekty.

#### 4.3.2.b. Simulace

HOMER je ve svém jádru simulačním modelem. HOMER simuluje práci hybridní mikrosítě po celý rok od jedné minuty do jedné hodiny.<sup>[HOM]</sup>

#### 4.3.2.c. Výstupní data

V souladu s velikostí projektu můžeme porovnat standardní konfiguraci diesellového generátoru s modely využívajícími obnovitelné hybridní (větrný a solární) zdroje, čistý vítr a čisté solární panely. Postupná analýza obchodní situace pro off-grid lokalitu by měla porovnat existující řešení (nebo standardní řešení operátora v případě nového umístění) s preferovanou obnovitelnou možností. Navíc zavedením citlivostní analýzy na cenu nafty a primární zátěže můžeme hodnotit finanční a obnovitelné ukazatele různých modelů v různých scénářích.

46 OKEDU, K. J., UHUNMWANGHO, Roland, 2014. Optimization of Renewable Energy Efficiency using HOMER. International journal of renewable energy research. [online]. June, 4(2) (421-427) [cit.13.04.2019]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/263765594\\_Optimization\\_of\\_Renewable\\_Energy\\_Efficiency\\_using\\_HOMER](https://www.researchgate.net/publication/263765594_Optimization_of_Renewable_Energy_Efficiency_using_HOMER)

## 4.4. Simulátory mobility

Hlavním úkolem komplexního matematického modelu dopravní sítě je určení a předpověď všech parametrů fungování sítě, jako je intenzita dopravy na všech síťových prvcích, objemy provozu v sítích veřejné dopravy, průměrná rychlost provozu, zpoždění a ztráty času atd. Řešení tohoto problému je založeno na reprodukci v rámci počítačové simulace celé struktury pohybů prováděných ve městě na všech druzích dopravy během dne. Modelování mobility je tedy složitým úkolem, který zahrnuje velký počet souvisejících úkolů.

### 4.4.1. Modely městské mobility

„Klasický“ model je v současné době považován za systém modelování dopravních toků v síti velkého města, která zahrnuje čtyři hlavní etapy (tzv. „čtyřstupňové schéma“):

- odhad celkového příjezdového a odjezdového objemu z každého okresu města (Trip generation);
- dělení podle způsobu pohybu, jako jsou pěší pohyb, pohyb veřejnou dopravou, pohyb na soukromém autě atd. (Modal split);
- stanovení matic korespondencí, které určují velikost pohybu mezi každou dvojicí sídelních oblastí města (Trip distribution);
- rozložení korespondencí podél dopravní sítě, tj. určení všech cest zvolených účastníky pohybu a určení počtu pohybů podél každé cesty (Trip assignment).

Veškeré pohyby v dopravní síti lze rozdělit do skupin podle účelu pohybu. Nejdůležitější a četné jsou

- přesun z míst bydliště na místa zaměstnání a zpět (tzv. pracovní korespondence);
- přesun z míst bydliště na místa kulturních a komunitních služeb (obchody atd.) a zpět;
- pohyby mezi místy uplatnění práce (služební cesty);
- pohyby mezi objekty kulturních a komunitních služeb.

Modely tohoto typu jsou obecně označovány jako modely aktivity (activity-based). Jedním z prvních modelů aktivity, který získal širokou praktickou aplikaci, byl model SAMS (Sequenced Activity Mobility Simulator).<sup>[KIT]</sup> Matematická formulace a softwarová implementace modelů aktivity a klasického čtyřstupňového modelu se výrazně liší. V klasickém modelu jsou prvky struktury jednotlivé pohyby, které tvoří matici pohybů (korespondence). V modelech aktivity působí jako prvky celé sekvence pohybů.

V praktické implementaci modelů aktivity se místo výpočtu multi-indexových polí provádí mikromodelování jednotlivých pohybů metodou Monte-Carlo. Podstata metody je následující: soubor náhodných hodnot je generován pro cílovou náhodnou veličinu a pak jsou na ní

vypočteny požadované hodnoty. Například, pro každého jednotlivého obyvatele se provádí náhodný výběr charakteristik pohybů – umístění cílů, doba výkonu, způsob pohybu. Při klasifikaci řetězců pohybu se rozlišují hlavní a vedlejší cíle. Každý řetězec pohybu je vlastně pohyb směrem k hlavnímu cíli s náhodnou návštěvou vedlejších cílů. Pro zjednodušení výběrového řízení se aplikuje jeho rozklad.<sup>[SVE]</sup> Obvykle se aplikuje rozklad na 3 úrovně<sup>[SHI]</sup>:

- volba denního režimu činnosti;
- modelovací řetězce: určení hlavního cíle, hlavní metody a času zahájení hlavního pohybu každého řetězce;
- modelovací vazby: volba umístění mezilehlého cíle, volba způsobu a času začátku pohybu pro všechny odkazy.

Příkladem použití metody Monte Carlo v simulaci mobility je Nagel-Schreckenbergův model. V rámci tohoto modelu se trasa skládá z buněk, maximální povolené rychlosti a určitého počtu motorových vozidel (MV). V každém kroku je stav všech motorových vozidel aktualizován v souladu s následujícími pravidly:

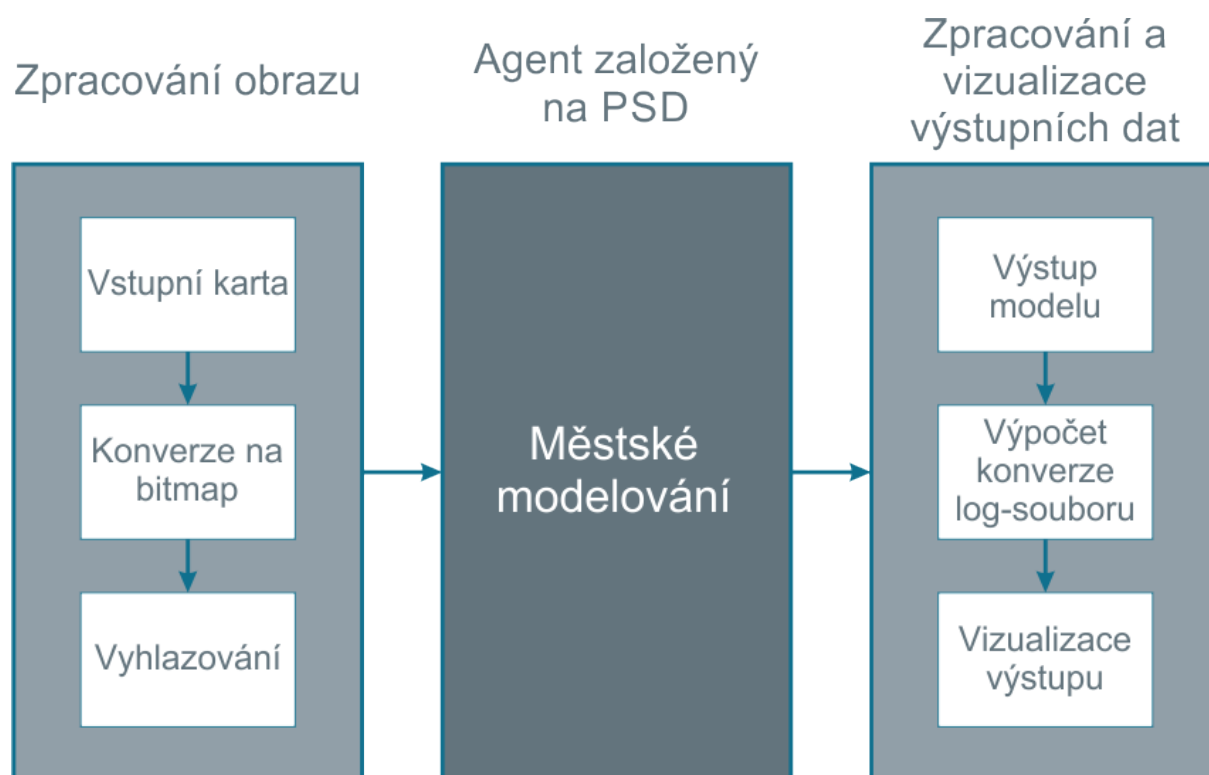
- rychlost daného MV  $v$  se zvýší o jednu, pokud je nižší než maximální povolená rychlost;
- najdete vzdálenost  $d$  mezi daným MV a předním MV. Pokud je rychlost MV větší nebo rovna vzdálenosti  $d$ , sníží se rychlost na  $d-1$ ;
- pomocí metody Monte Carlo se přidá prvek náhodnosti. S pravděpodobností  $p$  klesá rychlost daného MV o jednu;
- tento MV se posune dopředu o  $v$ .

Tento model je poměrně jednoduchý, ale je velmi efektivní. Tento model nebere v úvahu nehody nebo špatnou jízdu. Jeho účelem je simulovat spontánní změny v povaze dopravních toků. Existují složitější modely, ale mnohé z nich jsou založeny na Nagel-Schreckenbergově modelu.<sup>[WOO]</sup>

Ve společné práci výzkumných pracovníků Johannes Kepler University Linz (Rakousko), University of London (Spojené království), Ingolstadt University of Technology (Německo) a Bahri University (Islamabad, Pákistán) uvažují o softwarové platformě pro modelování městské mobility založené na přístupech orientovaných na agentech, geoinformacích a superpočítačových technologiích. Vývojáři použili skutečnou rastrovou mapu malého města ve střední Evropě s velmi vysokým rozlišením, transformovanou do jemnozrné (1,25 m<sup>2</sup>) dvourozměrné mřížky. Odpovídající buněčný automat spojuje pohyblivé agenty s jejich obytným prostorem. Vzhledem k měřítku objektu, který je modelován, je však technické provedení modelu téměř nemožné bez použití paralelních výpočtů.

Vyvinutá softwarová platforma pro paralelní simulaci na základě modelování založeného na agentech<sup>[SUP]</sup> obsahuje tři hlavní komponenty, znázorněné na Obr. 4.4 ve formě bloků:

- blok pro zpracování obrazu;
- blok pro paralelní simulace pomocí přístupu založeného na agentech;
- blok pro zpracování a vizualizaci výstupních dat.



Obr. 4.4

Schéma softwarové platformy pro paralelní simulaci pomocí přístupu založeného na agentech. Hlavní komponenty.<sup>47</sup>

#### 4.4.2. Softwarové nástroje

*Simulation of Urban Mobility* (SUMO)<sup>48</sup> je vysoce přenosný mikroskopický open source simulační balíček určený pro práci s velkými silničními sítěmi.

*Quadstone Paramics*<sup>49</sup> je modulární sada nástrojů pro mikroskopické modelování, která slouží k navrhování efektivní, ekonomické, řídičsky přátelské dopravní infrastruktury šetrné k

47 Originál: Схема программной платформы для параллельных симуляций с использованием агент-ориентированного подхода: основные компоненты. In: Суперкомпьютерные технологии. Платформа для моделирования городской мобильности на основе агент-ориентированного подхода, геоинформационных и суперкомпьютерных технологий [online]. 25 Июля 2017 [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <http://supercomputer.pro/digest/detail.php?ID=135>

48 SUMO – Simulation of Urban Mobility. SUMO, 2019 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://sumo.sourceforge.net>

49 Quadstone Paramics | Traffic and Pedestrian Simulation, Analysis and Design Software. Quadstone Paramics, 2019 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.paramics-online.com/>

chodcům, která umožňuje rychlé vyhodnocení jízdních podmínek v současném i příštím roce a podrobně popisuje zprávy ve vysokém rozlišení pro nezúčastněné strany.

*Treiber's Microsimulation of Road Traffic*<sup>50</sup> je osobní softwarový projekt vytvořený Treiberem a využíváný ve výzkumu dynamiky provozu a modelování provozu.

*Aimsun*<sup>51</sup> je simulační balíček, který kombinuje tři typy dopravních modelů: statické nástroje pro distribuci provozu, mesoskopický simulátor a mikrosimulátor. Mikroskopický simulátor a mesoskopický simulátor jsou komponenty, které umožňují dynamickou simulaci. Mohou pracovat s různými dopravními sítěmi: městskými sítěmi, dálnicemi, dálnicemi, silnicemi, tepnami a jejich kombinací.

*SimTraffic*<sup>52</sup> je část simulační aplikace balíčku Trafficware's Synchro Studio. Používá se jako simulátor provozu pro Trafficware's Studio, který také obsahuje aplikaci pro synchronizaci semaforů.

*TSIS-CORSIM*<sup>53</sup> je softwarový balíček pro mikroskopické modelování pohybu pro zabezpečovací systémy, silniční systémy, dálniční systémy nebo kombinované signální systémy. CORSIM (CORridor SIMulation) se skládá z integrované sady dvou mikroskopických simulačních modelů, které představují celé dopravní prostředí. Mikroskopické modelování simuluje pohyb jednotlivých vozidel, které zahrnují vliv geometrických podmínek, jízdní podmínky a chování řidiče. TSIS (Traffic Software Integrated System) je integrované vývojové prostředí, které umožňuje uživatelům analyzovat dopravní operace.

Znalost dopravních toků lze později využít k dalšímu výpočtu potřebné energie pro nabíjení možných elektrických vozidel v dané oblasti.

---

50 TREIBER, Martin, 2000. Microsimulation of Traffic Flow: Onramp [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://www.traffic-simulation.de>

51 *Aimsun* | *Aimsun*. Aimsun, 2019 [online]. [cit. 24.04.2019] Dostupné z: <https://www.aimsun.com>

52 *Trafficware, a CUBIC Company - A Tradition of Innovation*. Trafficware, 2019 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://www.trafficware.com>

53 *TSIS: Traffic Software Integrated System*. McTrans, 2013 [online]. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <https://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tsis>

## 5. Aplikace

Další analýza byla provedena na základě práce <sup>[FER]</sup>. Jako příklad byla vzata lokalita M.J. Lermontova – Ve struhách (Obr. 5.1). Pro popis konstrukcí, jejich součinitele prostupu tepla, systémy TZB byly použity údaje z projektu TABULA<sup>54</sup>. Simulace mobility nebyla vzata v úvahu.

### 5.1. Popis lokality

Lokalita se nachází v Bubeneči – ve městské čtvrti Prahy a katastrálním území na levém břehu Vltavy.

Lokalita je obytnou částí, má městský charakter zástavby.

#### 5.1.1. Architektonický a konstrukční popis

Budovy dané lokality lze podle doby výstavby rozdělit do dvou období: období 1920-1945 a období 1946-1960. Obě období jsou poválečné, kdy byl prioritou počet bytových jednotek. Proto byla kvalita tepelně technických charakteristik konstrukcí nízká (první tepelně technická norma pro tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí byla zpracována později, v roce 1962<sup>55</sup>).

##### 5.1.1.a. Období 1920-1945

Mezi budovy období 1920-1945 patří domy na ulici Lermontova č.p. 932, 859, 858 (rok 1937), 856, 855, 175.

Domy tohoto období jsou zděné. Nejmenší tloušťka cihelného zdiva u ochlazovaných konstrukcí byla 450 mm.

*Střechy* jsou sedlové s dřevěnými krovy s krytinou z pálených tašek. Podkroví byla většinou neobydlená (nevytápěné půdní prostory).

*Podlahy* nepodsklepených objektů na úrovni přízemí se prováděly z betonu. Ve většině případů byly původní podlahy již nahrazeny betonovou mazaninou s různými navazujícími skladbami a nášlapnými vrstvami (linoleum nebo později PVC).

---

54 TABULA WebTool. TABULA WebTool, 2015 [online]. [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: <http://webtool.building-typology.eu>

55 ČSN 73 0540 Navrhování stavebních konstrukcí z hlediska tepelné techniky.





www.geoportalpraha.cz, © Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, stránka vytvořena: 26.4.2019 7:57:15  
M1:1000

0 190 380 m

**Obr. 5.1:** Pohled na analyzovanou oblast s vyznačením řešené lokality.



*Stropní konstrukce* se prováděly dřevěné trámové s rákosovou omítkou, se záklopem a škvárovým nebo suťovým násypem.

*Okna* byla dřevěná dvojitá, vnější křídla se již většinou otvírala dovnitř.

*V současné době* většina domů zůstává bez rekonstrukcí (s výjimkou domu č.p. 859 – rekonstrukce v roce 2018), vnější stěny nejsou zatepleny, většina oken byla nahrazena plastovými, okna ve schodišti a v suterénu zůstávají dřevěná.

### **5.1.1.b. Období 1946-1960**

Budovy období 1946-1960 lze rozdělit do dvou skupin: nájemní domy na ul. Lermontova č.p. 1018, 1019, 703, 610, 1020 (rok 1957), 968, 969, 970, 971, 972, 999 a typové třípodlažní budovy 50. let („dvouletky“) Ve struhách č.p. 1002-1013.

#### **5.1.1.b.1) Nájemní domy**

Nájemní domy měly cihelné stěny z plných pálených cihel o tl. 450 mm. Budovy mají nástavbu se snížením půdorysné plochy na 2m na každé straně.

*Střechy* jsou ploché, ze železobetonových panelů. Tepelná izolace těchto střech byla nejčastěji prováděná z lehkých litých betonů v proměnné tloušťce, takže zároveň vytvářela i vrstvu spádovou.

*Stropy* byly ze železobetonových stropních desek.

*Okna* byla používána téměř jen dřevěná zdvojená, ale u schodišť nebyla výjimkou okna dřevěná jednoduchá (jednoduchý rám i jednoduché zasklení). Ve schodištích byly používány sklobetony a okna kovová s jednoduchým zasklením.

*V současné době* nejsou domy rekonstruovány, vnější stěny nejsou zatepleny. Jedinou změnou byla výměna oken za plastová (dům č.p. 1020, rok 2011). V domech č.p. 968-972 a 999 jsou okna ve schodišti v původním stavu (sklobeton a kovová okna).

#### **5.1.1.b.2) Typová zástavba**

Typová zástavba má charakter řádové zástavby. Domy měly obvodové zdi především z cihel a škvárobetonových prvků.

*Střechy* domů jsou šikmé s dřevěnými krovky. Podkroví (půdy) byly ve většině případů nevyužívané a tedy nevytápěné.

*Stropy* byly zpočátku nejčastěji dřevěné trámové.

*Podlahy* (půdy) pod nevytápěným podkrovím byly řešeny jako pochůzné i jako nepochůzné. Pochůzné podlahy byly řešeny obvykle s násypem škváry, vrstvou betonu nebo škvárobetonu a nášlapnou vrstvou z půdovek.

Nášlapné vrstvy podlah v obytných místnostech byly obvykle dřevěné (vlysy, parkety, palubky, sopalit apod.), v ostatních místnostech (chodby, příslušenství, spíže) z dlažby (kamenina, keramika, xylolit apod.).

*Okna* převažují dřevěná dvojitá (špaletová).

V *současné době* nejsou domy rekonstruovány (výjimkou je zateplení domů č.p. 1005, 1006), podkroví domů č.p. 1005-1008 jsou využívány jako obytné prostory, stěny (zejména štitové stěny) nebyly izolovány, všechna okna byla nahrazena plastovými.

## 5.1.2. Energetický popis

### 5.1.2.a. Vytápění

Vytápění budov lokality je přes centrální zásobování teplem (CZT) s centrální předávací stanicí. Rozvody tepla jsou kompletně uvnitř budovy, ústřední topení se standardním oběhovým čerpadlem bytového domu.

### 5.1.2.b. Příprava teplé vody

Příprava teplé vody je CZT s centrální předávací stanicí. Centrální zásobník TV je vně budov. Rozvod TV je centrální s cirkulací. Příprava TV je centrální s oběhovým čerpadlem.

### 5.1.2.c. Větrání

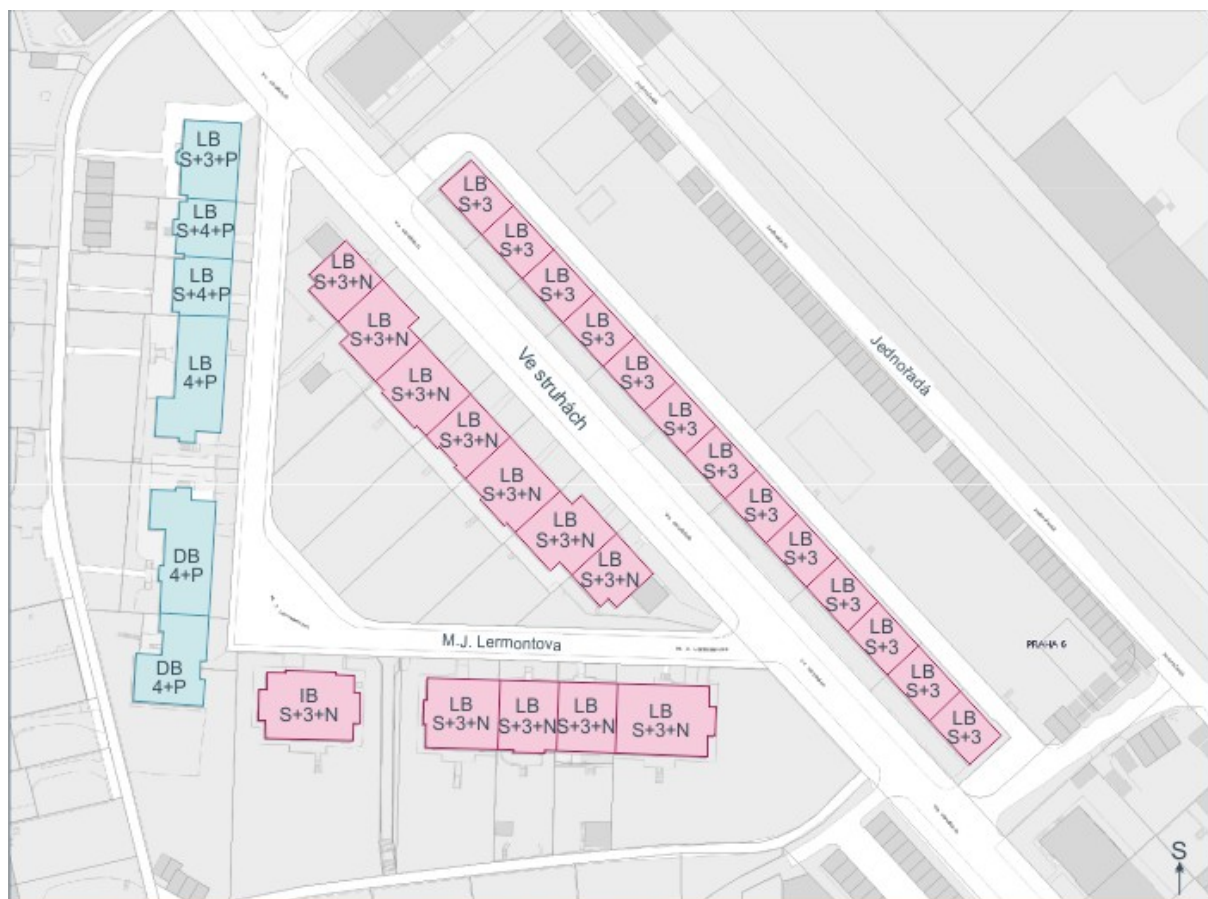
Větrání v budovách je přirozené.

### 5.1.2.d. Použití OZE

V lokalitě nebyly použity obnovitelné zdroje energie.

## 5.2. Typologie budov

V rozebrané lokalitě (Obr. 5.2, Tab. 5.1) převládají řadové domy 1946-1960 období výstavby. Izolovaný dům pochází ze stejného období.



www.geoportalpraha.cz, © Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, stránka vytvořena: 27.4.2019  
 M1:1500

0 25 50m

LEGENDA: konstrukční period

- 1921-1945
- 1946-1960

LEGENDA: popis objektu

TYP budovy

- S+3+N
- └┘ Nadstavba/Podkrovi
- └┘ Počet podlaží
- └┘ Suterén

- IB - izolovaný dům
- DB - dvojdům
- LB - řadový dům

Obr. 5.2

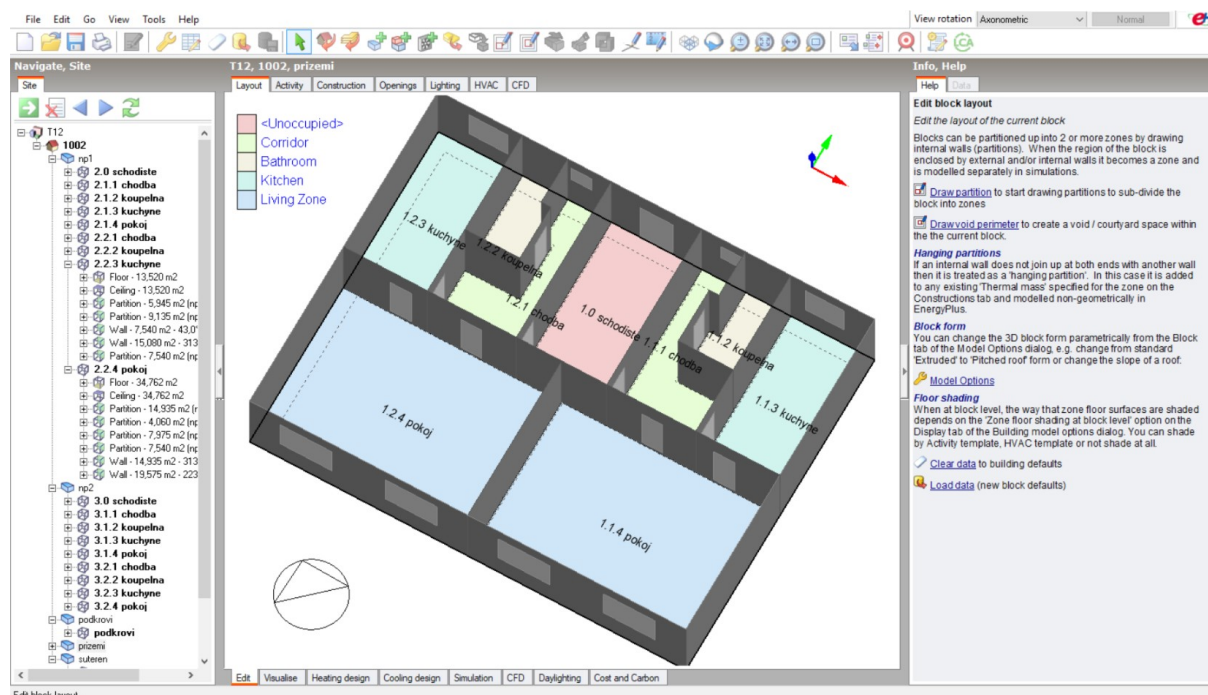
Identifikace typologie budov.

Tab. 5.1 : Typologie budov.

Typologie budovy	Období výstavby		%
	1921-1945	1946-1960	
IB	0	1	3,2
DB	2	0	6,5
LB	4	24	90,3
Σ	6	25	

Okrsek má nízkou hustotu osídlení a můžeme identifikovat dvě typologie budov, které se liší tloušťkou stěn, dispozicí a nadstavbou: typová zástavba a nájemní domy. Pro další podrobnou analýzu byly použity údaje o konstrukcích, dispozičním řešení, spotřebě energie následujících domů – typový blok (č. 1004) a rohový nájemní dům (č. 1020).

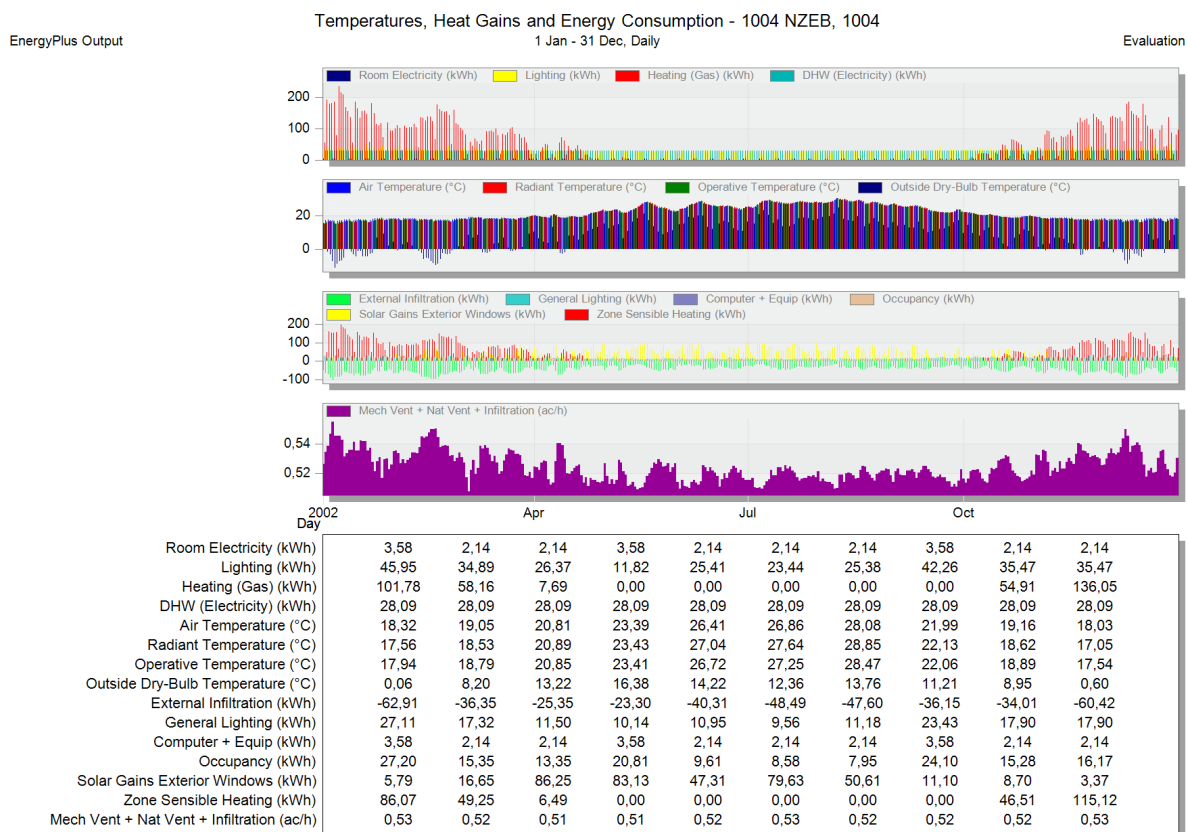
V software DesignBuilder byla modelována budova (Obr. 5.3), u jednotlivých konstrukcí byly definovány skladba a součinitel prostupu tepla. Nastavuje se potřebná data pro simulaci: dělení budovy do zón, které se liší spotřebou energie (počet lidí, jejich chování, plán spotřebičů, osvětlení, vytápění, ohřev vody).



Obr. 5.3  
Modelování v DesignBuilder.<sup>56</sup>

Software počítá spotřebu energie na vytápění, přípravu teplé vody, osvětlení pro určité časové období v krocích od hodiny do roku (Obr. 5.4).

56 Levé okno – navigační panel; centrální okno – model objektu; pravé okno - informace o objektu, konstrukci nebo rozvrhu.



Obr. 5.4

Výsledky prezentované ve formě grafu (výše) a tabulky (níže).<sup>57</sup>

Na základě Tab. 4.3 byla identifikována spotřeba tepla a elektřiny pro vybrané typologie (Tab. 5.2, Tab. 5.3).

Tab. 5.2 : Typová zástavba: hlavní charakteristiky.


Typový blok	
Popis	Cihelný třípatrový dům s suterénem a šikmou střechou. Na každém patře jsou dva dvoupokojové byty.

<sup>57</sup> Horizontální úroveň ukazuje výběr času po měsících (březen, červenec, říjen), vertikální úroveň vyjadřuje hodnoty spotřebičů (kWh, případně °C).



Hlavní charakteristiky	Celková plocha povrchu podlaží = 148,7 m <sup>2</sup> Počet podlaží = 3 Počet bytů = 6 Vnější povrch budovy S = 422,1 m <sup>2</sup> Vytápěný objem V = 1280 m <sup>3</sup> S / V = 0,33 m <sup>-1</sup> Fáze výstavby: r. 1948 U <sub>stěna</sub> = 1,1 W / m <sup>2</sup> .K U <sub>střecha</sub> = 1,1 W / m <sup>2</sup> .K U <sub>okno</sub> = 1 W / m <sup>2</sup> .K U <sub>em</sub> = 1,4 W / m <sup>2</sup> .K Typ systému vytápění: CZT s centrální předávací stanicí Typ systému TUV: CZT s centrální předávací stanicí
Roční spotřeba energie na vytápění	29,0 MWh / rok
Roční spotřeba energie na přípravu TUV	9,6 MWh / rok
Roční spotřeba energie na spotřebiče	13,8 MWh / rok

Tab. 5.3 : Nájemní dům: hlavní charakteristiky.

Nájemní dům	
Popis	Cihelný třípatrový dům s suterénem, nadstavbou a plochou střechou. Na každém patře jsou 4 dvoupokojové byty.
Hlavní charakteristiky	Celková plocha povrchu podlaží = 347,1 m <sup>2</sup> Počet podlaží = 4 Počet bytů = 16 Vnější povrch budovy S = 1182,6 m <sup>2</sup> Vytápěný objem V = 3882,7 m <sup>3</sup>

	$S / V = 0,30 \text{ m}^{-1}$ Fáze výstavby: r. 1957 $U_{\text{stěna}} = 1,3 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ $U_{\text{střecha}} = 1,2 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ $U_{\text{okno}} = 1 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ $U_{\text{em}} = 1,2 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ Typ systému vytápění: CZT s centrální předávací stanicí Typ systému TUV: CZT s centrální předávací stanicí
Roční spotřeba energie na vytápění	106,6 MWh / rok
Roční spotřeba energie na přípravu TUV	74,3 MWh / rok
Roční spotřeba energie na spotřebiče	24,2 MWh / rok

### 5.3. Stavební opatření

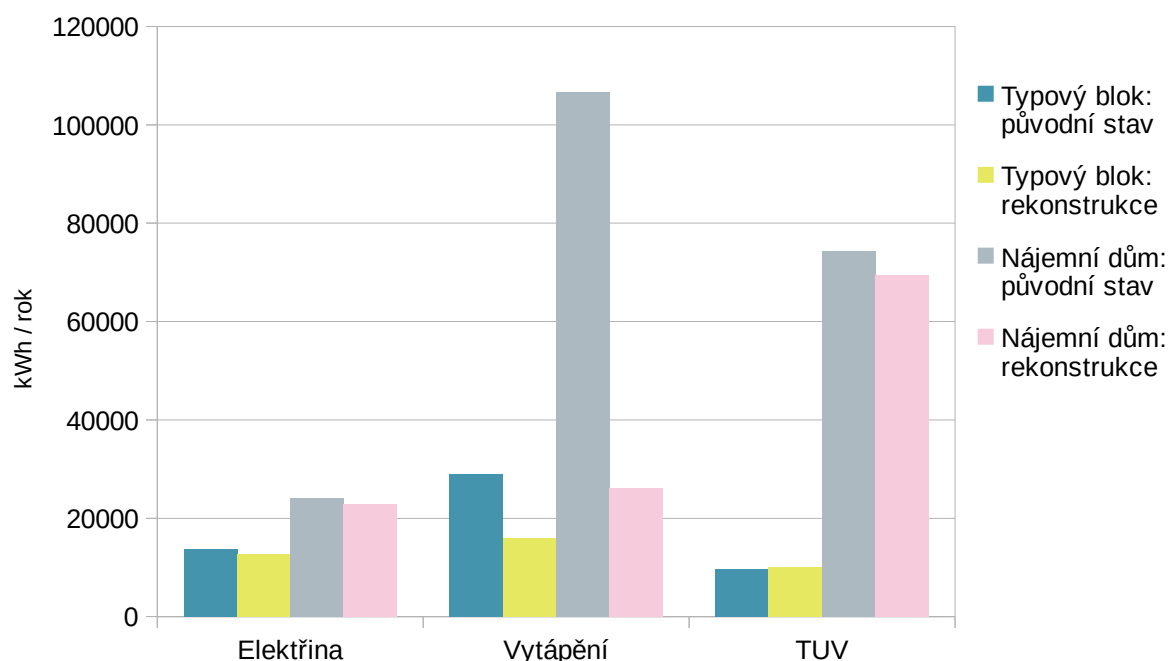
Vzhledem k tomu, že konstrukce nesplňují požadavky pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie, byly provedeny následující změny – uvedení součinitele prostupu tepla obálky budovy do normových hodnot (izolace stěn, konstrukcí v kontaktu se zemí, střechy). Výsledky a porovnání s původním stavem jsou uvedeny v Tab. 5.4, Tab. 5.5 a na Obr. 5.5.

Tab. 5.4 : Porovnání součinitelů prostupu tepla.

	Typový blok		Nájemní dům	
	Původní stav [W / m <sup>2</sup> .K]	Rekonstrukce [W / m <sup>2</sup> .K]	Původní stav [W / m <sup>2</sup> .K]	Rekonstrukce [W / m <sup>2</sup> .K]
$U_{\text{stěna}}$	1,1	0,15	1,3	0,15
$U_{\text{podlaha}}$	1,03	0,26	1,33	0,32
$U_{\text{střecha}}$	1,1	0,12	1,2	0,13
$U_{\text{em}}$	1,4	0,19	1,2	0,25

Tab. 5.5 : Porovnání spotřeby energie.

	<b>Elektrina [kWh / rok]</b>	<b>Vytápění [kWh / rok]</b>	<b>Příprava TUV [kWh / rok]</b>
Typový blok: původní stav	13 756,51	29 021,70	9 626,13
Typový blok: rekonstrukce	12 755,96	15 932,97	9 991,59
Nájemní dům: původní stav	24 226,35	106 569,27	74 311,63
Nájemní dům: rekonstrukce	22 780,74	26 106,61	69 361,5



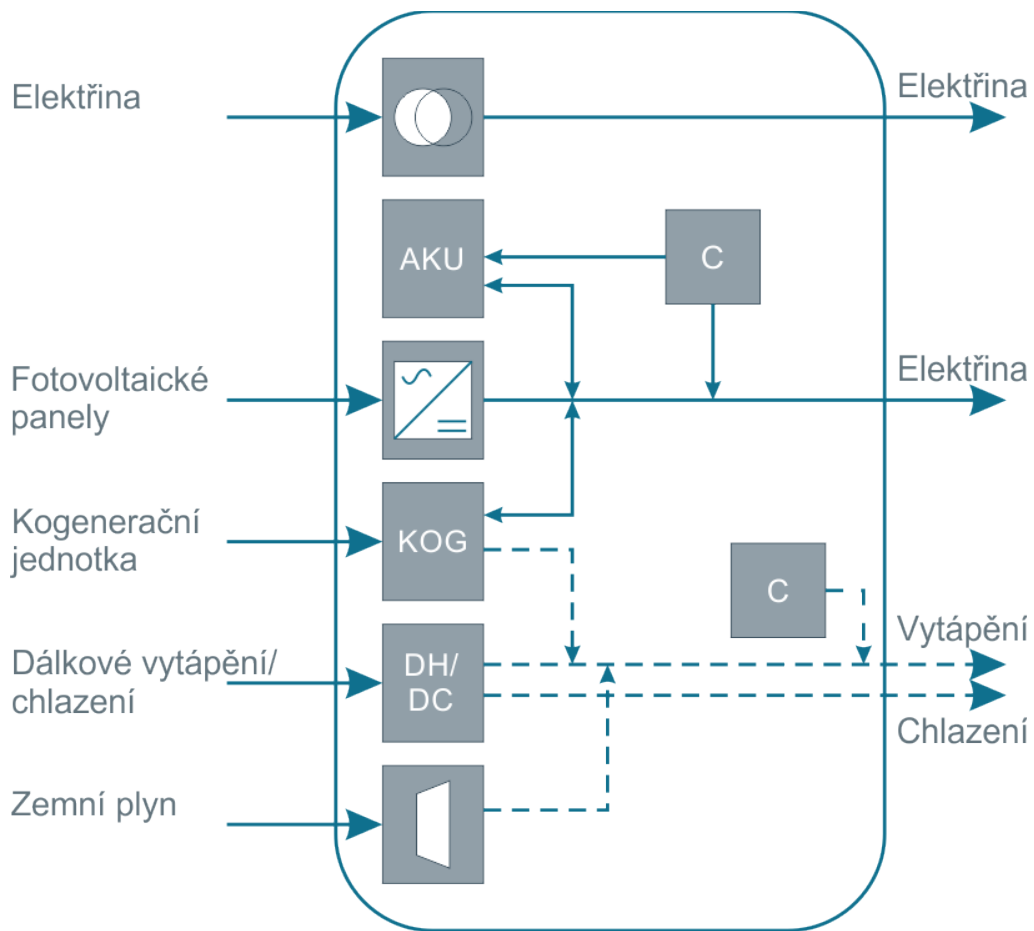
Obr. 5.5  
 Porovnání spotřeby energie.

Jak je vidět největší změny nastaly ve vytápění, kde se spotřeba energie snížila téměř dvakrát v typovém bloku a ve 4 v nájemním domě.

## 5.4. Koncept městského energetického střediska

Následující změny se týkají využití OZE. Hlavním konceptem projektu (Obr. 5.6) je využití takových obnovitelných zdrojů energie, jako je solární energie a kogenerace. Energie získaná z fotovoltaických panelů a kogenerační jednotky je přeměrována na městské energetické středisko, odkud rozvody dodávají elektrickou energii a vypouštějí centrální síť. Také energie z OZE může být uložena v akumulacích bateriích. Vyrobené teplo kogenerační jednotky může být použito pro vytápění.



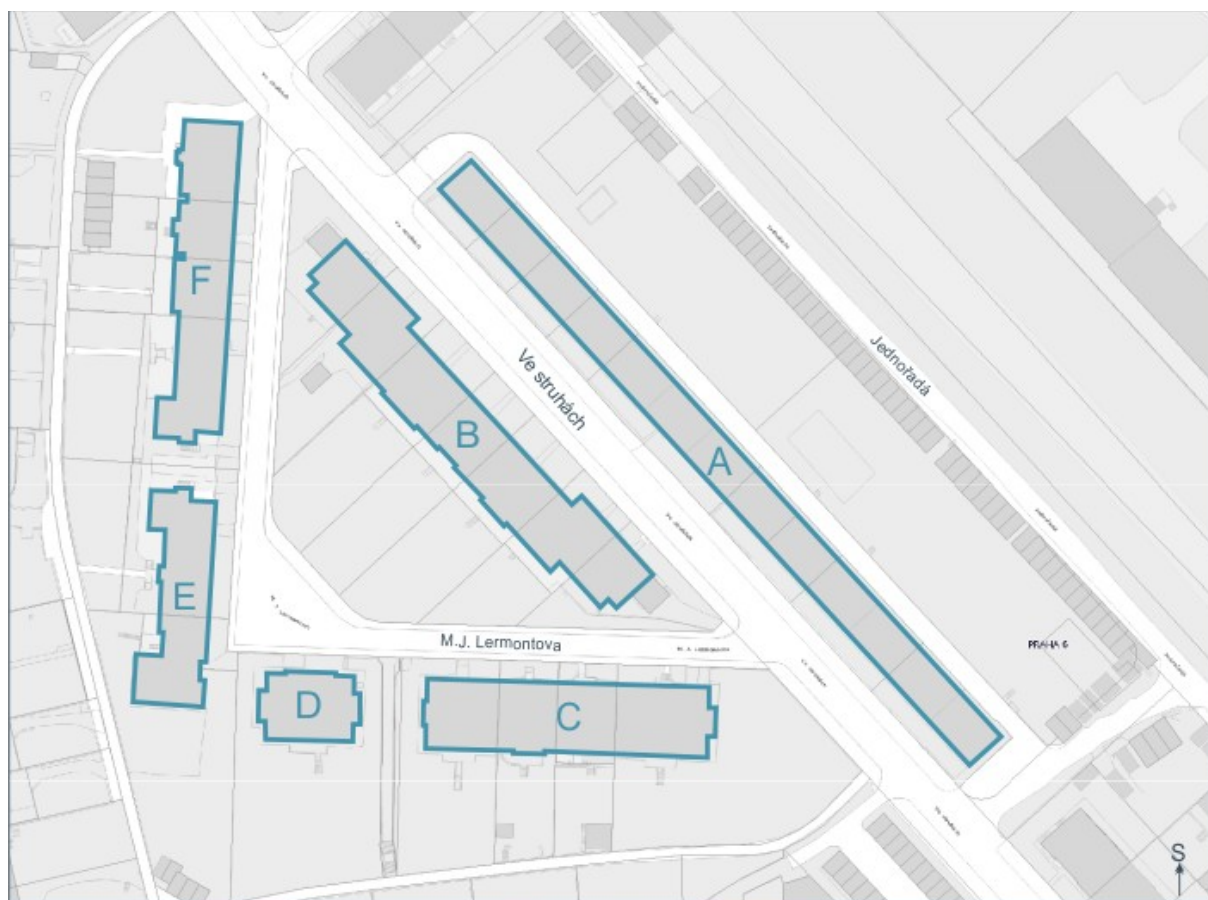


Obr. 5.6

Koncept městského energetického střediska.

### 5.4.1. Fotovoltaická energie

Návrh počtu fotovoltaických panelů vychází z geometrie budov (Obr. 5.7). Navzdory poměrně velké ploše střech je prostor pro instalaci fotovoltaických panelů velmi malý: vzhledem k přítomnosti fyzických překážek – větrací šachty, komíny, hromosvody, parabolické antény; nebo umístění domů k světovým stranám – hlavní fasády budov směřují na severní nebo severovýchodní stranu.



www.geoportalpraha.cz, © Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, stránka vytvořena: 27.4.2019  
 M1:1500

0 25 50m

**Obr. 5.7**

*Dělení objektů podle plochy střech.*

### 5.4.1.a. Návrh počtu panelů

V Tab. 5.6 je uveden počet PV panelů, jejich výkon a roční produkce elektřiny.

*Tab. 5.6 : Návrh počtu FV panelů.*

Objekt	Plocha střech [m <sup>2</sup> ]	Dostupná plocha [m <sup>2</sup> ]	Orientace	Sklon [°]	Počet panelů	Výkon [kWp]	Roční produkce [kWh]
A	888	800	JZ	30	400	100	95 000
B	1 215	730	JZ	15	365	91,25	86 688
C	850	350	J	15	170	42,5	40 375
D	265	100	J	15	53	13,25	12 588
E	617	180	Z	30	90	22,5	21 375
F	921	285	Z	30	142	35,5	33 725
				Σ	1 220	318	289 751

### 5.4.1.b. Návrh střídačů

Tab. 5.7 uvádí typ a počet střídačů. Další podrobné charakteristiky jsou uvedeny v Příloze E.

Tab. 5.7 : Návrh počtu střídačů AC/DC.

Objekt	Výkon FV panelů [kWp]	Střídač	Max. výkon FV generátoru [kWp]	Počet
A	100	KACO Powador 30000xi	37,5	3
B	91,25	KACO Powador 30000xi	37,5	3
C	42,5	KACO Powador 25000xi	30,0	2
D	13,25	KACO Powador 25000xi	30,0	1
E	22,5	KACO Powador 25000xi	30,0	1
F	35,5	KACO Powador 30000xi	37,5	1

### 5.4.1.c. Návrh bateriového úložiště

Charakteristiky Tesla PowerPack 2:

Energetická kapacita (AC):	210 kWh
Výkon (AC):	50 kW
Napětí (AC):	380 ÷ 480 V
Rozměry:	1,308 x 0,822 x 2,185 m
Hmotnost:	1622 kg
Počet:	10

Další podrobné charakteristiky jsou uvedeny v Příloze E.

### 5.4.1.d. Dimenzování kabelů FVE

Tab. 5.8 ukazuje návrh kabelů FVE.

Tab. 5.8 : Dimenze kabelů.

Objekt	Výstupní výkon střídače [kWp]	Napětí [V]	Proud [A]	Kabel
A	112,5	400	281,25	CYKY 5x35
B	112,5	400	281,25	CYKY 5x35
C	60,0	400	150,00	CYKY 5x25
D	30,0	400	75,00	CYKY 5x16
E	30,0	400	75,00	CYKY 5x16
F	37,5	400	93,75	CYKY 5x16

## 5.4.2. Kogenerace

Návrh kogenerační jednotky vychází z potřeby tepla na ohřev vody.

Roční spotřeba:	1 100,95	MWh
Denní spotřeba:	3 016,31	kWh
Hodinová spotřeba:	125,68	kWh
Rozměry:	1,308 x 0,822 x 2,185	m
Počet:	10	

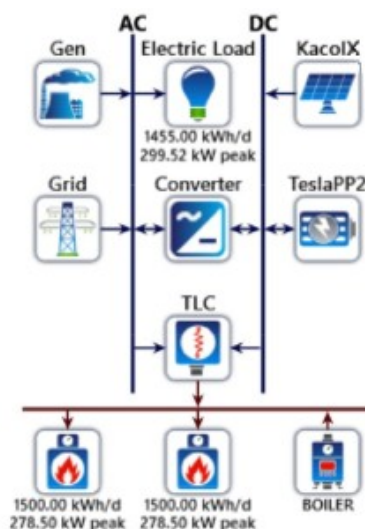
Charakteristiky Tedom Cento 120:

Tepelný výkon:	177	kW
Elektrický výkon:	125	kW
Max. spotřeba plynu:	36,3	m <sup>3</sup> /h
Rozměry:	5,000 x 2,500 x 2,660	m
Hmotnost:	8 265	kg

Další podrobné charakteristiky jsou uvedeny v Příloze E.

## 5.5. Stavební uspořádání MES

Princip skladby OZE v MES je ukázán na Obr. 5.8.



Obr. 5.8

Schéma architektury systému.

Umístění a počet rozvaděčů jsou zobrazeny v Příloze D.

## 5.6. Simulace a optimalizace

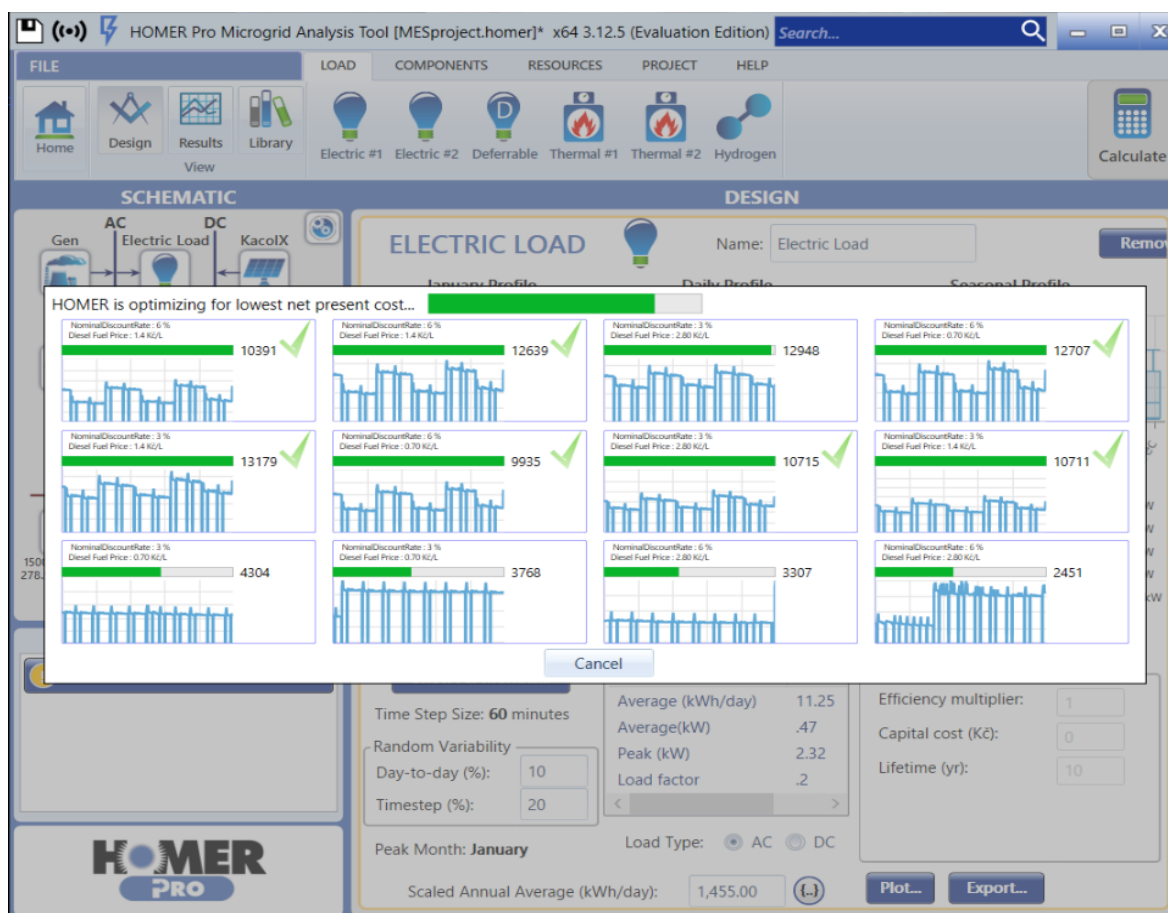
K simulaci a optimalizaci možných kombinací využití obnovitelných zdrojů energie byl použit software HOMER.

Pro optimalizaci byly zadány tepelná a elektrická zátěž (Obr. 5.9). Dále byly vybrány typy obnovitelných zdrojů energie (FVE, kogenerace), generátor jako doplňkový zdroj energie, akumulátory, centrální síť.



**Obr. 5.9**  
 Modelování v HOMER.<sup>58</sup> Levá část ukazuje schéma systému, v centrální části je prezentováno elektrické zatížení.

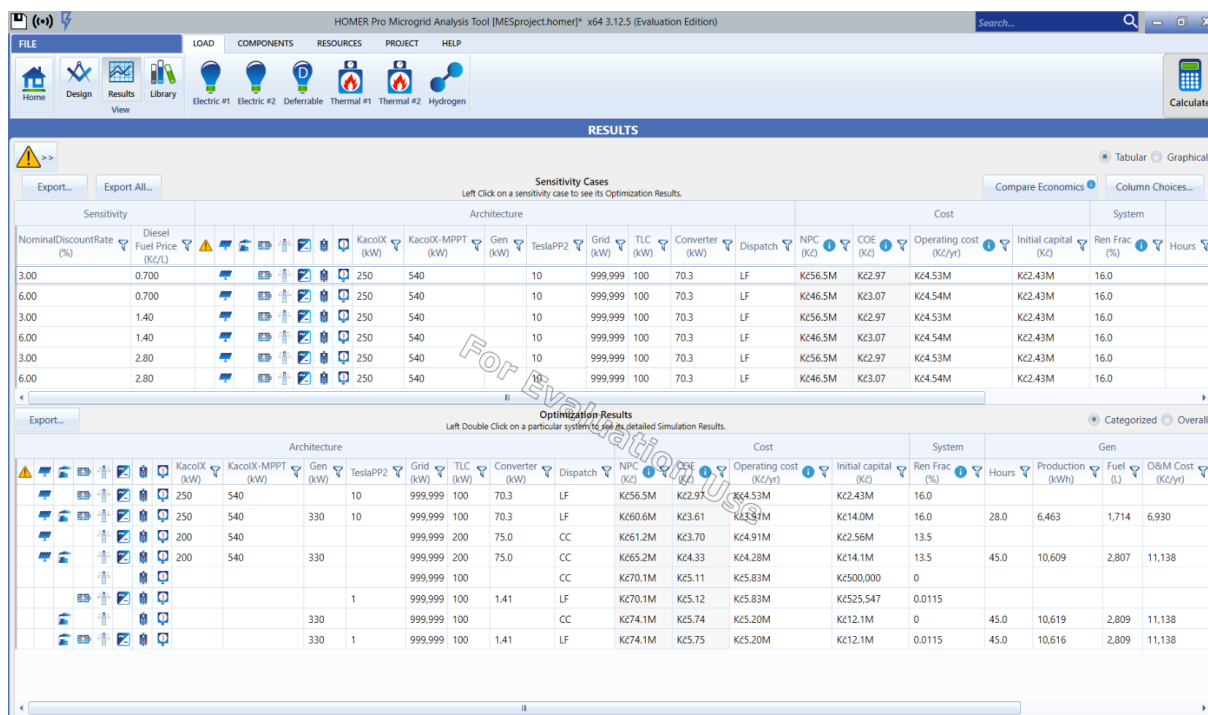
58 Horní panel představuje 3 hlavní funkce: Design, Results, Library. Funkce Design obsahuje zátěž (elektrická a tepelná pro kogenerační jednotku), komponenty (jsou součástí energetického systému), OZE, projekt (umožňuje nastavit ekonomické hodnoty).



Obr. 5.10  
Průběh optimalizace.<sup>59</sup>

Po výpočtech a simulacích (Obr. 5.10) program nabízí nejvýhodnější možnosti (podle použití energie ze sítě, NPV, ceny paliva) (Obr. 5.11).

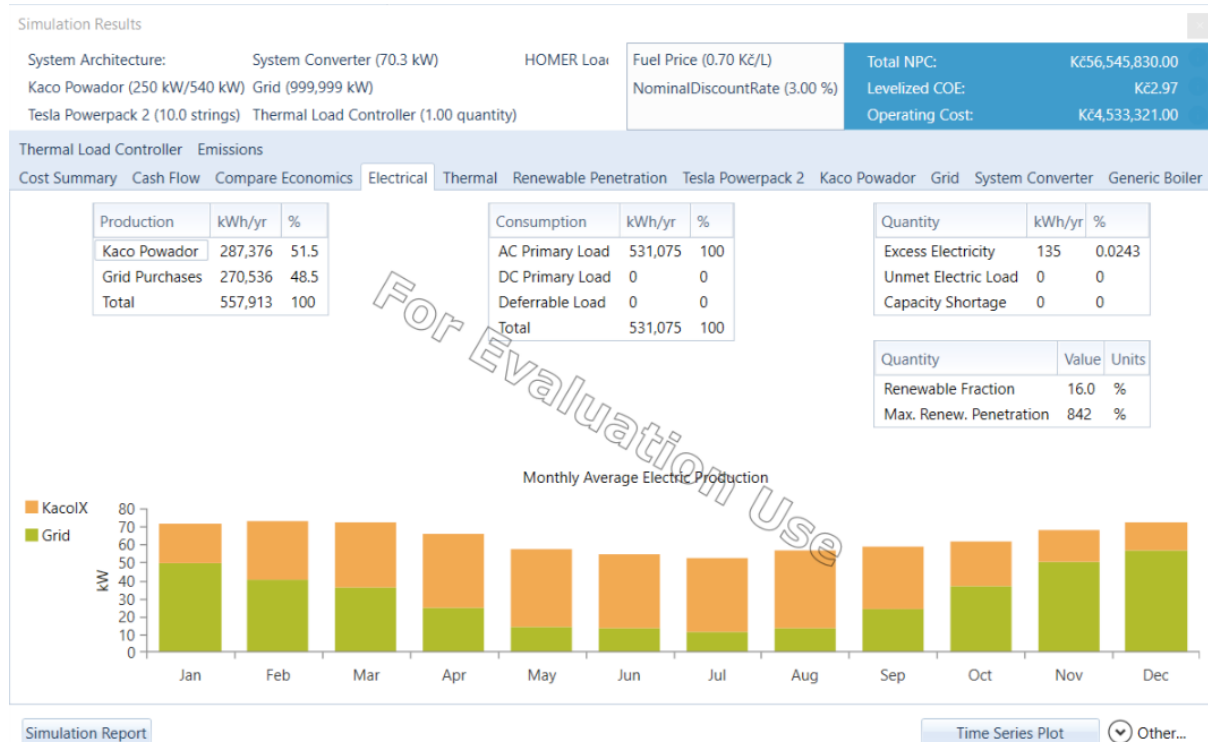
59 Zadaním několika hodnot pro konkrétní vstupní proměnnou (např. nominální diskontní sazba, očekávaná míra inflace) se provede citlivostní analýza. HOMER opakuje proces optimalizace pro každou hodnotu proměnné a umožňuje uvidět vliv tyto hodnot na výsledky.



Obr. 5.11

Výsledky, kde horní okno představuje citlivostní analýzu. Dolu jsou ukázány možné řešení optimalizace.

Takže v případě našeho projektu (Obr. 5.12) je nejvýhodnějším z hlediska využití obnovitelné energie využití PVE, kogenerace, baterie. V tomto případě je ročně pokryto 51,5% elektrické energie.

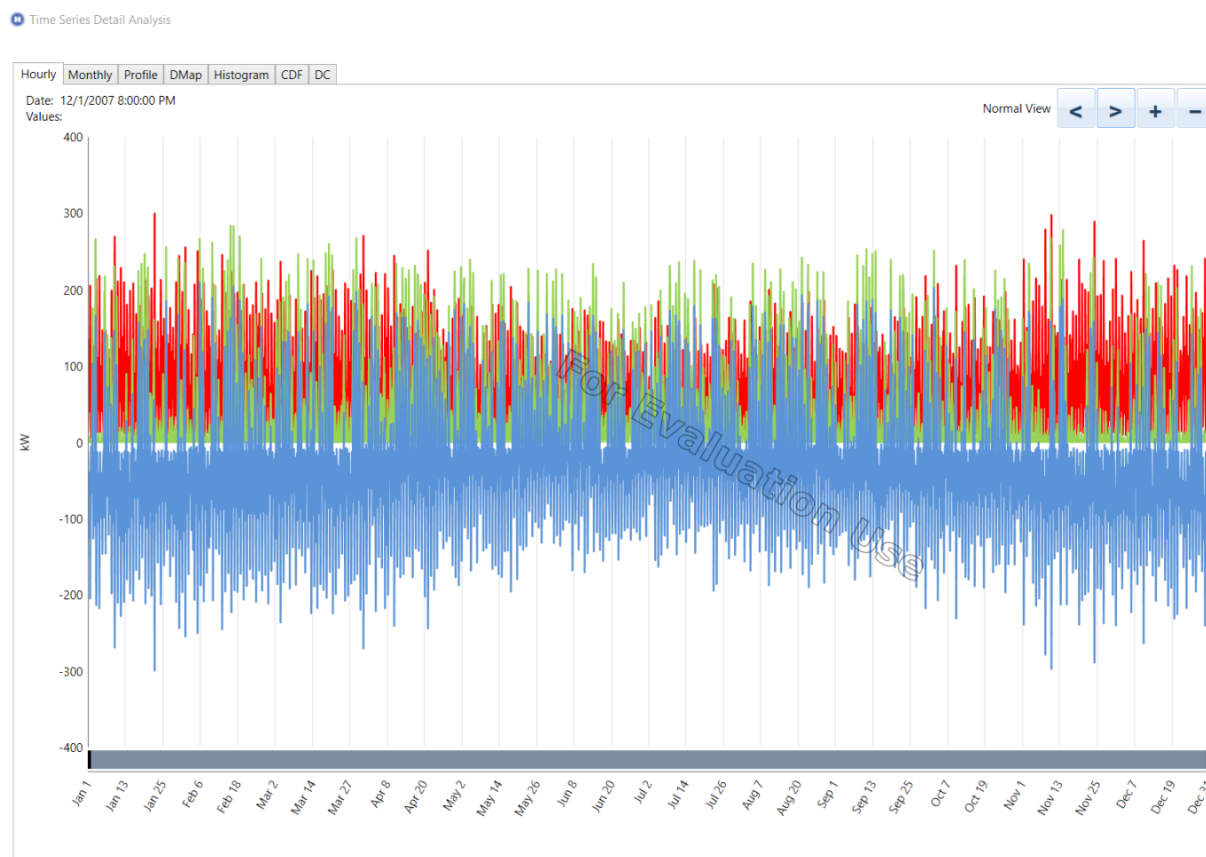


Obr. 5.12

Výsledky simulace. Žlutým je ukázána fotovoltaická energie, zeleným – energie ze sítě.



Profil elektrického zatížení optimální varianty je ukázán na Obr. 5.13.



Obr. 5.13  
Profil elektrického zatížení.<sup>60</sup>

## 5.7. Hodnocení výsledků

Pro zlepšení energetické účinnosti a snížení spotřeby elektřiny jsou zapotřebí komplexní opatření. Prvním krokem je posouzení objektu, zjištění jeho slabých míst (vysoké hodnoty součinitele prostupu tepla, přítomnost tepelných mostů a vazeb) a následná rekonstrukce (nejlepší je rekonstrukce celé obálky budovy). Na příkladu projektu bylo tedy prokázáno, že izolace vnějších konstrukcí účinně ovlivňuje vytápění (snižuje se spotřeba energie o dvakrát). Dalším krokem je maximalizace využití dostupných obnovitelných zdrojů energie. Instalace solárních panelů v létě pokrývá až 80% energie potřebné pro domácnost.

Simulační programy umožňují provádět výpočty pro různé situace, což zrychluje proces hodnocení. Navíc zvyšují efektivitu výpočtů a poskytují prostor pro analýzu.

<sup>60</sup> Červený profil – primární zátěž AC;  
zelený profil – celkový výkon OZE;  
modrý profil – rozdíl.



## 6. Závěr

Cílem práce bylo studium, analýza a vyhodnocení městských energetických středisek.

V této práci byla zkoumána literatura o energetických systémech a studovány programy DesignBuilder a HOMER pro provádění dynamických simulací.

Na konečnou spotřebu elektřiny mají vliv konstrukce budov, potřeby obyvatel. Ve studii byl ukázán vliv tepelné izolace budovy na energetickou účinnost na vytápění. Budovy po rekonstrukcích dosáhly potřebné součinitele pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

V důsledku práce byla získána data, která mohou ukázat potenciál této lokality. Využívání obnovitelných zdrojů energie snížilo spotřebu elektřiny ze sítě ve vybrané lokalitě o 51,5%.

Studie má velký praktický význam pro budoucí projekty. Integrace simulačních softwarů umožňuje přesnější výpočty spotřeby energie a umožňuje efektivněji provádět analýzy a hodnocení energetické účinnosti. V současné době může práce ukázat možnosti energetického růstu a rozvoje měst.

## Bibliografie

- [ALL] ALLEGRINI, Jonas, OREHOUNIG, Kristina, MAVROMATIDIS, Georgeos, RUESCH, Florian, DORER, Viktor a EVINS, Ralph, 2015. A review of modelling approaches and tools for the simulation of district-scale energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. December, 52 (1391-1404) [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007704>
- [BUR] БУРНАШЕВ, К.Г., 2012. Повышение энергоэффективности за счет внедрения новой концепции Smart Grid. *Вестник ГУУ* [online]. 11 (1) (5-11). [cit.07.05.2019]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-energoeffektivnosti-za-schet-vnedreniya-novoy-kontseptsii-smart-grid>
- [DAL] DALLA ROSA, Alessandro a CHRISTENSEN, Jørgen Erik, 2011. Low-energy district heating in energy-efficient building areas. *Energy* [online]. December, 36(12) (6890-6899) [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211006608>
- [DES] DesignBuilder Help – Welcome to DesignBuilder v6. DesignBuilder, 2019 [online]. [cit. 03.04.2019] Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/#GetStarted.htm>
- [ELH] EL-HEFNAWI, Said H., 1998. Photovoltaic diesel-generator hybrid power system sizing. *Renewable Energy* [online]. January, 13 (1) (33-40) [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148197000748>
- [FER] FERRANTE, Patrizia, LA GENNUSA, Maria a PERI, Georgia, 2016. On the architectural and energy classification of existing buildings: A case study of a district in the city of Palermo. *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)* [online]. 1 September [cit.19.04.2019]. ISBN 978-1-5090-2320-2. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7555412>
- [GAR] GARLÍK, Bohumír, 2018. Application of neural networks and evolutionary algorithms to solve energy optimization and unit commitment for a Smart City. *Neural Network World* [online]. August, 28(6) (379-413) [cit.12.04.2019]. ISBN 1210-0552. Dostupné z: <http://www.nnw.cz/doi/2018/NNW.2018.28.022.pdf>
- [GRU] GRUBLER, Arnulf a kol., 2012. Chapter 18: Urban energy systems. In: *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. [online] Eds. Team, GEA Writing: Cambridge University Press and IIASA, October (1307-1400). 15 January 2016. [cit.16.04.2019]. Dostupné z: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/10067/1/GEA%20Chapter%2018%20Urban%20Energy%20Systems.pdf>

[HOM] HOMER Pro – Microgrid Software for Designing Optimized Hybrid Microgrids. HOMER – Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software, 2014 [online]. [cit. 12.04.2019]. Dostupné z: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>

[KAB] KABELE, Karel a URBAN, Miroslav, 2017. Pohled na budovy s téměř nulovou spotřebou energie v kontextu současných legislativních požadavků v ČR. In: TZB-info [online]. Leden [cit.08.04.2019]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15179-pohled-na-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-v-kontextu-soucasnych-legislativnich-pozadavku-v-cr>

[KAL] KALDELLIS, John K., 2004. Optimum technoeconomic energy autonomous photovoltaic solution for remote consumers throughout Greece. *Energy Conversion and Management* [online]. October, 45 (17) (2745-2760) [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890403003741>

[KAS] KASSAM, Areef S., 2010. HOMER Software. Training Guide for Renewable Energy Base Station Design. [online]. GSMA. May [cit. 12.04.2019]. Dostupné z: <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2012/06/HOMER-Software-Training-Guide-June-2011.pdf>

[KEI] KEIRSTEAD, James, JENNINGS, Mark a SIVAKUMAR, Aruna, 2012. A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. August, 16 (6) (3847-3866) [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112001414>

[KIT] KITAMURA, Ryuichi, PAS, Eric I., LULA, Clarisse V., LAWTON, T. Keith a BENSON, Paul E., 1996. The sequenced activity mobility simulator (sams): An integrated approach to modelling transportation, land use and air quality. *Transportation* [online]. August, 23 (3) (267–291) [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2F0165705>

[LUN] LUND, Peter D., MIKKOLA, Jani a YPYÄ, Jenni, 2014. Smart energy system design for large clean power schemes in urban areas. *Journal of Cleaner Production* [online]. 15 September, 103 (437-445). [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614005915>.

[MAL] МАЛИНОВСКИЙ, Георгий, 2017. Описание главных окон программы «HOMER». [online]. [cit. 12.04.2019]. Dostupné z: <https://docplayer.ru/29008695-Opisanie-glavnyh-okon-programmy-homer-model-optimizacii-energosisitem-homer-kompyuternaya-programma-razrabotannaya-amerikanskoy-nacionalnoy.html>

[MAN] MANCARELLA, Pierluigi, 2014. MES (multi-energy systems): an overview of concepts and evaluation models. *Energy* [online]. 1 February, 65 (1-17) [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213008931>

[MOL1] MOLITOR, Christoph, GROSS, Stephan, ZEITZ, Jakob a kol., 2014. MESCOS —A Multienergy System Cosimulator for City District Energy Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* [online]. November, 10(4) (2247-2256) [cit.16.04.2019]. ISSN 1941-0050. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6846298>

[MOL2] MOLITOR, Christoph a kol., 2012. New energy concepts and related information technologies: Dual Demand Side Management. *2012 PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)* [online]. (1-6) [cit.16.04.2019]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6175700>

[NEO] Что такое микрогрид? | NEOSUN Energy. *NEOSUN Energy | Solar panel & Lithium Battery Manufacturer*, 2016 [online]. 19 декабря [cit.08.04.2019]. Dostupné z: <https://neosun.com/ru/chto-takoe-mikrogrid/>

[POC] PÖCHACKER, Manfred, KHATIB, Tamer a ELMENREICH, Wilfried, 2014. The microgrid simulation tool RAPSIm: Description and case study. *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT ASIA)* [online]. 11 August, (278-283) [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6873803>

[ROB] ROBINSON, Darren, HALDI, Frédéric a kol., 2009. CITYSIM: Comprehensive Micro-Simulation of Resource Flows for Sustainable Urban Planning. *IBPSA 2009 – International Building Performance Simulation Association 2009* [online]. 27 July (1083-1090) [cit.17.04.2019]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/43652081\\_CITYSIM\\_Comprehensive\\_Micro-Simulation\\_of\\_Resource\\_Flows\\_for\\_Sustainable\\_Urban\\_Planning](https://www.researchgate.net/publication/43652081_CITYSIM_Comprehensive_Micro-Simulation_of_Resource_Flows_for_Sustainable_Urban_Planning)

[SHI] SHIFTAN, Yoram a BEN-AKIVA, Moshe, 2011. A practical policysensitive activity-based model. *The Annals of Regional Science* [online]. December, 47 (3) (517-541) [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00168-010-0393-5>

[SUP] Платформа для моделирования городской мобильности на основе агент-ориентированного подхода, геоинформационных и суперкомпьютерных технологий. *Суперкомпьютерные технологии*, 2017 [online]. 25 Июля [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <http://supercomputer.pro/digest/detail.php?ID=135>

[SVE] ШВЕЦОВ, Владимир, 2010. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях. *Труды МФТИ* [online]. 15 Октября, 2 (4) (169-179) [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: [https://mipt.ru/science/trudy/4\\_8/Pages\\_169-179\\_from\\_Trud-8-18.pdf](https://mipt.ru/science/trudy/4_8/Pages_169-179_from_Trud-8-18.pdf)

[SWA] SWAN, Lucas G., UGURSAL, V. Ismet, 2009. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and sustainable energy reviews* [online]. October, 13 (8) (1819-1835) [cit. 19.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032108001949>

[THO] THOMAS, Daren, MILLER, Clayton, KÄMPF, Jérôme a SCHLUETER Arno, 2014. Multiscale co-simulation of EnergyPlus and CitySim models derived from a building information model. *Bausim 2014: Fifth German-Austrian IBPSA Conference* [online]. September (469-476) [cit.17.04.2019]. Dostupné z: [http://www.ibpsa.org/proceedings/bausimPapers/2014/p1184\\_final.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/bausimPapers/2014/p1184_final.pdf)

[WOO] WOODS, Alex, 2015. Introduction to Monte Carlo Method. AnalyticBridge – A Data Science Central Community [online]. 25 July [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://www.analyticbridge.datasciencecentral.com/profiles/blogs/introduction-to-monte-carlo-methods>

## Seznam obrázků

Obr. 3.1 : Koncept městského energetického střediska.....	15
Obr. 3.2 : Jak funguje MicroGrid.....	17
Obr. 3.3 : Struktura SmartGrid.....	19
Obr. 3.4 : Schéma regulace SmartGrid.....	20
Obr. 3.5 : Koncepční struktura CitySim s plánovanou funkčností zobrazenou šedě.....	24
Obr. 3.6 : Koncepční struktura EnergyPlus.....	25
Obr. 4.1 : Metodický přístup k optimalizaci konfigurací a analýze scénářů.....	27
Obr. 4.2 : Techniky modelování nahoru dolů a zdola nahoru pro odhad regionální nebo národní spotřeby energie v domácnostech.....	28
Obr. 4.3 : Metodika identifikace energeticko-architektonických archetypů budov.....	29
Obr. 4.4 : Schéma softwarové platformy pro paralelní simulace pomocí přístupu založeného na agentech. Hlavní komponenty.....	45
Obr. 5.1: Pohled na analyzovanou oblast s vyznačením řešené lokality.....	48
Obr. 5.2 : Identifikace typologie budov.....	51
Obr. 5.3 : Modelování v DesignBuilder.....	52
Obr. 5.4 : Výsledky prezentované ve formě grafu (výše) a tabulky (níže).....	53
Obr. 5.5 : Porovnání spotřeby energie.....	56
Obr. 5.6 : Koncept městského energetického střediska.....	57
Obr. 5.7 : Dělení objektů podle plochy střech.....	58
Obr. 5.8 : Schéma architektury systému.....	60
Obr. 5.9 : Modelování v HOMER. Levá část ukazuje schéma systému, v centrální části je prezentováno elektrické zatížení.....	61
Obr. 5.10 : Průběh optimalizace.....	62
Obr. 5.11 : Výsledky, kde horní okno představuje citlivostní analýzu. Dolu jsou ukázány možné řešení optimalizace.....	63
Obr. 5.12 : Výsledky simulace. Žlutým je ukázána fotovoltaická energie, zeleným – energie ze sítě.....	63
Obr. 5.13 : Profil elektrického zatížení.....	64

## Seznam tabulek

Tab. 2.1 : Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí.....	12
Tab. 2.2 : Referenční hodnoty pro energetickou náročnost budov s téměř nulovou spotřebou energie pro různá klimatická pásma v EU.....	13
Tab. 2.3 : Klasifikační třídy pro ukazatele energetické náročnosti.....	14
Tab. 3.1 : Největší projekty MicroGrid systémů.....	20
Tab. 4.1 : Základní městské energetické parametry pro obytné okrsky.....	30
Tab. 4.2 : Průměrné geometrické vlastnosti, architektonické a energetické charakteristiky jednotlivých typologií budov.....	33
Tab. 4.3 : Výhody a omezení softwaru HOMER.....	42
Tab. 5.1 : Typologie budov.....	52
Tab. 5.2 : Typová zástavba: hlavní charakteristiky.....	53
Tab. 5.3 : Nájemní dům: hlavní charakteristiky.....	54
Tab. 5.4 : Porovnání součinitelů prostupu tepla.....	55
Tab. 5.5 : Porovnání spotřeby energie.....	56
Tab. 5.6 : Návrh počtu FV panelů.....	58
Tab. 5.7 : Návrh počtu střídačů AC/DC.....	59
Tab. 5.8 : Dimenze kabelů.....	59