



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra měření

**Simulace vlivu uživatelského chování na spotřebu energie  
v rodinném domě**

**Simulation of users behaviour to energy consumption  
in a family house**

Diplomová práce

Studijní program: Inteligentní budovy

Vedoucí práce: Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

**Bc. Pavla Hudcová  
Praha 2020**



## PROHLÁŠENÍ

---

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

---

Podpis autorky práce



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hudcová** Jméno: **Pavla** Osobní číslo: **434703**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**  
Studijní program: **Inteligentní budovy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Simulace vlivu uživatelského chování na spotřebu energie v rodinném domě**

Název diplomové práce anglicky:

**Simulation of users behaviour to energy consumption in a family house**

Pokyny pro vypracování:

V návaznosti na předchozí projekt doplňte rešerši stávajících přístupů k modelování uživatelského chování v budovách. Na jejím základě zvolte vhodný přístup a nástroj k vytvoření počítačového modelu. Vytvořte počítačový model popisující vliv chování uživatelů rodinného domu na spotřebu elektrické energie domácími spotřebiči. Zaměřte se na posouzení vlivu různých životních situací jednotlivých osob v domácnosti (rodiče pracujících, matka v domácnosti, děti, apod.). Stanovte pilotní příklad, pro který provedete výpočty spotřeby elektrické energie, analyzujte data a diskutujte je v jejich kontextu. Vytvořte schéma spotřeby energie rodiny v intervalu jednoho týdne (bez zohlednění sezónních vlivů).

Seznam doporučené literatury:

- [1] Yu B., Zhang J. (2017) Household Energy Consumption Behavior. In: Zhang J. (eds) Life-Oriented Behavioral Research for Urban Policy. Springer, Tokyo
- [2] Geckil, Ilhan K., and Patrick L. Anderson. Applied Game Theory and Strategic Behavior, CRC Press LLC, 2009. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=589888>.
- [3] Ant Colonies: Behavior in Insects and Computer Applications, edited by Emily C. Sun, Nova Science Publishers, Incorporated, 2011. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=3017986>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Daniel Adamovský, Ph.D., katedra technických zařízení budov FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

\_\_\_\_\_

Datum zadání diplomové práce: **12.02.2020** Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce:  
**do konce letního semestru 2020/2021**

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studentky



## PODĚKOVÁNÍ

---

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Danielu Adamovskému, Ph.D. za cenné rady při tvorbě této práce a dlouhé diskuse vedené nad řešenou problematikou.

Děkuji také všem, kteří mi poskytli údaje o spotřebě elektrické energie v jejich domácnostech.

V neposlední řadě děkuji své rodině a partnerovi za podporu při psaní práce a za všechny podnětné diskuse, které se mnou k tématu vedli.





## ABSTRAKT

---

Cílem této diplomové práce je vytvořit počítačový model spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti na základě uživatelského chování, a to jak během všedního dne, tak o víkendu. Jako simulační nástroj byl zvolen program Anylogic, ve kterém byly vytvořeny jednotlivé simulační projekty, které zohledňují data o denních aktivitách českých občanů z druhé vlny panelového šetření domácností, které proběhlo v roce 2016 v České republice. V práci jsou zpracovány typové domácnosti – domácnost se dvěma pracujícími dospělými a domácnost se dvěma pracujícími dospělými a dvěma dětmi. V závěru práce jsou výsledky ze simulace diskutovány a porovnávány s výsledky zahraničních studií, které jsou uvedeny v rešerši.

Klíčová slova: Spotřeba energie, příkon, Anylogic, pravděpodobnostní modelování, elektrické spotřebiče, modelování, chování uživatele.

## ABSTRACT

---

The objective of this diploma thesis is to create a computer model of energy consumption of electrical appliances in the household based on user behavior, both during weekdays and on weekends. As a simulation tool Anylogic program was chosen, in which individual simulation projects were created, which take into account data on daily activities of Czech citizens from the second wave of the panel survey of households, which took place in 2016 in the Czech Republic. The thesis deals with typical households – a household with two working adults, and a household with two working adults and two children. In conclusion, the results of the simulation are discussed and compared with the results of foreign studies, which are presented in the research.

Key words: Energy consumption, power consumption, Anylogic, probabilistic modeling, electrical appliances, modeling, user behavior.

# OBSAH

---

1	Úvod .....	12
1.1	Motivace.....	12
1.2	Cíle práce .....	13
2	Problematika v literatuře .....	14
2.1	Definování indexů dopadu .....	14
2.2	Pravděpodobnostní (stochastické) modelování.....	15
2.3	Agentově orientované modelování.....	17
2.4	Ostatní přístupy k modelování .....	18
3	Metodika .....	22
3.1	Měření a kategorizace spotřebičů.....	23
3.1.1	Metoda měření.....	23
3.1.2	Použitá zařízení.....	24
3.1.2.1	FIBARO Home Center Lite.....	24
3.1.2.2	FIBARO chytrá zásuvka .....	24
3.1.2.3	Philio chytrá zásuvka .....	24
3.1.3	Typické profily domácích spotřebičů.....	25
3.1.3.1	Nepřetržitě běžící .....	25
3.1.3.2	Chladící .....	26
3.1.3.3	V pohotovostním režimu – standby .....	26
3.1.3.4	Aktivní.....	26
3.2	Chování uživatele .....	27
3.2.1	Proměnné z výzkumu .....	27
3.2.1.1	Obyčejný nebo výjimečný den .....	27
3.2.1.2	Typ dne.....	27
3.2.2	Zpracování dat – dospělí .....	28
3.2.2.1	Všední den .....	29
3.2.2.2	Víkend.....	29
3.2.3	Zpracování dat – děti.....	29
3.2.3.1	Všední den .....	30
3.2.3.2	Víkend.....	30
3.3	Simulační program .....	31
3.3.1.1	Agentově založené .....	32
3.3.1.2	Diskrétní .....	32
3.3.1.3	Systémově dynamické .....	32

4	Popis simulačního modelu .....	33
4.1	Spotřebiče – zapínání na základě vstupu agenta do funkčního bloku .....	37
4.1.1	Sledování televize.....	37
4.1.2	Na počítači.....	38
4.1.3	Úklid .....	39
4.1.4	Příprava jídla.....	40
4.1.5	Dopolední vaření .....	41
4.1.6	Polední a odpolední vaření.....	41
4.2	Spotřebiče – simulační projekt domácnost.....	43
4.2.1	Lednice .....	44
4.2.2	Modem .....	44
4.2.3	Myčka .....	45
4.2.4	Pračka a sušička.....	46
5	Výsledky simulačních běhů .....	49
5.1	Domácnost se dvěma pracujícími dospělými a dvěma dětmi.....	49
5.1.1	Všední den.....	50
5.1.2	Víkend.....	51
5.2	Domácnost se dvěma pracujícími dospělými.....	52
5.2.1	Všední den.....	52
5.2.2	Víkend.....	53
6	Diskuse .....	54
7	Závěr.....	56
8	Seznam obrázků .....	57
9	Seznam tabulek.....	59
10	Zdroje / použitá literatura .....	60

---

# 1 ÚVOD

Chování uživatele je obecně považováno za jednu z hlavních příčin nejistoty v energetické náročnosti budov. Kvůli obtížnosti předvídání, jak se budou lidé v budově chovat, jsou denní předpoklady spotřeby energie velmi zjednodušené a nepřesné. Chování uživatele v budově se často uvádí jako důležitá příčina rozdílu mezi vypočtenou a skutečnou energetickou náročností [1].

Spotřeba energie je přitom nedílnou součástí provozu každé obytné budovy. Energie je spotřebovávána různými způsoby – na osvětlení, přípravu teplé vody, v některých domech se elektřina používá např. i k vytápění. Nedílnou součástí spotřeby energie v domě je i spotřeba běžných domácích spotřebičů během jejich používání. Jedná se o část spotřeby, která se špatně predikuje, protože je závislá na vybavení domácnosti, a především na chování uživatele.

Podle českého statistického úřadu z dat z roku 2015 je podíl této elektřiny spotřebované základními domácími spotřebiči na celkové spotřebě 30,3 % [2]. Jedná se tedy procentuálně o významnou část spotřeby elektrické energie, kterou nesmíme opomínat.

Spotřebič	Celkový počet spotřebičů	Celková spotřeba spotřebičů	Průměrná spotřeba na jeden spotřebič	Podíl na celkové spotřebě elektřiny v domácnosti
	počet	MWh	kWh	%
chladnička s mrazákem (pouze kombinovaná)	4 080 188	1 063 316	261	7,4
chladnička (samostatná)	453 193	100 394	222	0,7
mrazák (samostatný)	1 012 619	300 914	297	2,1
automatická pračka (včetně praček se sušičkou)	4 270 022	769 477	180	5,3
sušička prádla	220 284	73 195	332	0,5
myčka nádobí	1 593 393	309 876	194	2,2
televizor	5 995 044	1 161 613	194	8,1
počítač nebo notebook	4 580 074	579 556	127	4,0
<b>CELKEM</b>	<b>22 204 817</b>	<b>4 358 341</b>	<b>196</b>	<b>30,3</b>

Zdroj dat: šetření Energo 2015, administrativní zdroje dat, modelové výpočty

Tabulka 1 Spotřeba základních spotřebičů v českých domácnostech. [2]

## 1.1 MOTIVACE

Typický denní průběh spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti může být vstupem pro další výzkum v oblasti energetické náročnosti budov. Můžeme předpokládat, že data mohou být využita pro efektivní rozvržení hospodaření s energiemi např. v domě, kde je energie získávána z obnovitelných zdrojů.

Data mohou být zajímavá také pro rozvoj automatizace v domácnostech – dá se spekulovat, zda např. v topné sezóně v době, kdy v domácnosti typicky běží mnoho spotřebičů, které vykazují výrazný příkon energie, můžeme využívat tepelnou energii, kterou tyto spotřebiče sdílí do okolního prostoru.

Zamýšlení se nad energetickými toky v budově je budoucností pro další vývoj moderního bydlení a denní profil spotřeby elektrických spotřebičů je vhodným vstupem pro řešení této problematiky.

## 1.2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je předložit průměrný denní profil spotřeby elektrické energie běžných domácích spotřebičů pro typové české domácnosti.

Předkládáme si otázku, zda má chování uživatele vliv na spotřebu energie v domácnosti a jestli je v tomto ohledu chování průměrných českých rodin odlišné od chování jiných národností. Další otázkou je, zda se výrazně liší průměrný denní profil spotřeby běžných domácích spotřebičů ve všední den a o víkendu.

Díličními cíli práce je:

- provést rešerši českých i zahraničních zdrojů a na základě ní vybrat vhodný simulační nástroj, který bude použit pro tvorbu simulace
- zpracovat data o chování obyvatelů českých domácností
- vytvoření počítačového modelu denního profilu spotřeby elektrické energie běžnými domácími spotřebiči pro typové domácnosti zohledňující chování českých občanů
- zpracování dat vygenerovaných simulacemi

## 2 PROBLEMATIKA V LITERATUŘE

Přesné modelování spotřeby elektrické energie je již dlouho předmětem zájmu v oblasti energetického výzkumu [3]. Existuje mnoho empirických modelů zaměřujících se na generování křivek koncového využití energie, ale bez explicitní vazby na uživatele [3]. Dalším problémem je, že se jedná o modelování chování, které může být pro rozdílné národnosti odlišné.

V rámci rešerše bylo prostudováno mnoho vědeckých článků a studií týkající se, byť vzdáleně této problematiky. V této kapitole jsou uvedeny ty, které autorka práce považuje za nejzajímavější a nejvýznamnější pro tuto práci.

### 2.1 DEFINOVÁNÍ INDEXŮ DOPADU

Isabella Gaetani [1] se ve své studii věnuje problematice vlivu uživatelského chování na spotřebu energie využitou pro vytápění a chlazení administrativní budovy. Přistupuje k problematice definováním indexů dopadu, které jsou charakterizovány svými energetickými zisky a ztrátami (např. potenciální účinek užití žaluzií). Čím vyšší je index dopadu, tím vyšší je spotřeba energie. Tyto indexy dopadu odhadují dopad daného uživatelského chování na spotřebu energie.

Pro užití žaluzií vypadá výpočet indexu dopadu během otopné sezóny následovně [1]:

$$H_{blins,H} = \frac{Q_{losses,total} - (Q_{gains,total} - Q_{gains,windows})}{Q_{NH}} - 1$$

Kde  $Q_{NH}$  je stanoveno dle tepelné bilance pro otopné období [1]:

$$Q_{NH} = (Q_{losses,windows} + Q_{losses,interzone} + Q_{losses,infiltration} + Q_{losses,conduction}) - (Q_{gains,people} + Q_{gains,lights} + Q_{gains,windows} + Q_{gains,equipment} + Q_{gains,interzone} + Q_{gains,infiltration} + Q_{gains,conduction})$$

Kde [1]:

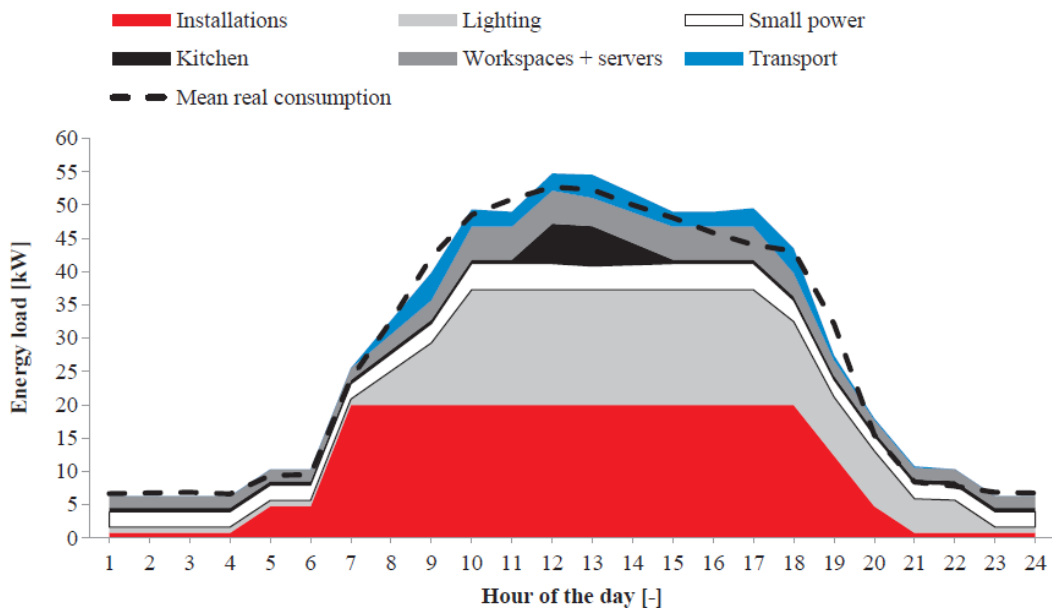
$Q_{losses,windows}$	jsou tepelné ztráty způsobené okny
$Q_{losses,interzone}$	jsou tepelné ztráty způsobené prouděním vzduchu mezi jednotlivými zónami
$Q_{losses,infiltration}$	jsou tepelné ztráty způsobené infiltrací
$Q_{losses,conduction}$	jsou ztráty způsobené vedením neprůhledných povrchů
$Q_{gains,windows}$	jsou tepelné zisky způsobené zářením přes okna
$Q_{gains,people}$	jsou tepelné zisky způsobené přítomností lidí
$Q_{gains,lights}$	jsou tepelné zisky způsobené umělým osvětlením
$Q_{gains,equipment}$	jsou tepelné zisky způsobené vybavením
$Q_{gains,interzone}$	jsou tepelné zisky způsobené prouděním vzduchu mezi jednotlivými zónami
$Q_{gains,infiltration}$	jsou tepelné zisky způsobené infiltrací
$Q_{gains,conduction}$	jsou tepelné zisky způsobené vedením neprůhledných povrchů

Obdobně je stanovena i bilance pro letní období chlazení. Indexy dopadu se pro toto období pak stanovují analogicky [1]:

$$H_{blins,C} = 1 - \frac{(Q_{gains,total} - Q_{gains,windows}) - Q_{losses,total}}{Q_{HC}} - 1$$

Tyto indexy dopadu jsou vyhodnocovány pro odhad účinku různého uživatelského chování na energii spotřebovanou na vytápění (resp. chlazení) pro jeden simulační běh. Variabilita indexů je velmi vysoká – dle stavu budovy, klimatických podmínek atp.

Vždy je třeba vyhodnotit, zda je podíl spotřeby energie na vytápění (resp. chlazení) zanedbatelný proti celkové spotřebě primární energie. Tato studie považuje využití energie na vytápění (resp. chlazení) za relevantní, pokud přesahuje 5% celkové spotřeby primární energie budovy.

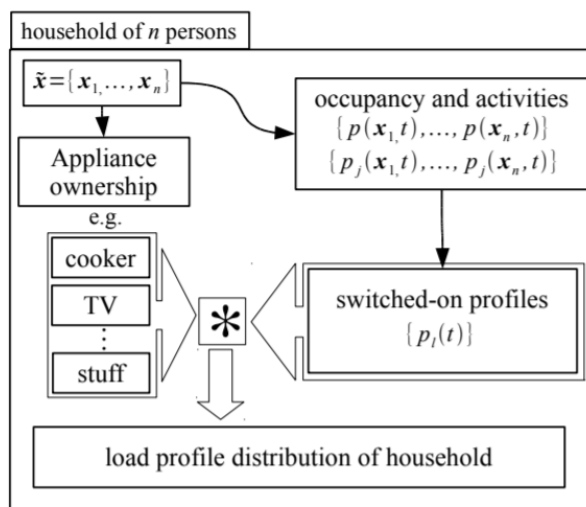


Obrázek 1 Výsledná simulace spotřeby energie pro administrativní budovu (všední dny). [1]

## 2.2 PRAVDĚPODOBNOSTNÍ (STOCHASTICKÉ) MODELOVÁNÍ

Jiný přístup přináší Wout Parys [3], který upozorňuje na to, že při modelování je nejproblematičtější vliv individuální variability, která záleží na mnoha aspektech, jako jsou demografické, fyziologické nebo kulturní podmínky. Dále pak upozorňuje na okrajové podmínky, tedy že je třeba definovat jak velmi aktivního, tak velmi pasivního uživatele. Nejistotu na příslušném parametru modelu pak lze vyjádřit jako distribuci těchto dvou typů uživatelů budovy.

K modelování pak využívá Markovův řetězec, který je charakterizován tím, že každý následující časový krok závisí pouze na aktuálním stavu a model tedy není časově koherentní. Jednotlivé aspekty užití energie v domácnosti, jako spotřeba elektrických spotřebičů, energie na umělé osvětlení, na přípravu teplé vody, vytápění či chlazení, lze integrovat definováním několika pravděpodobnostních funkcí pro různé typy uživatelů [3].

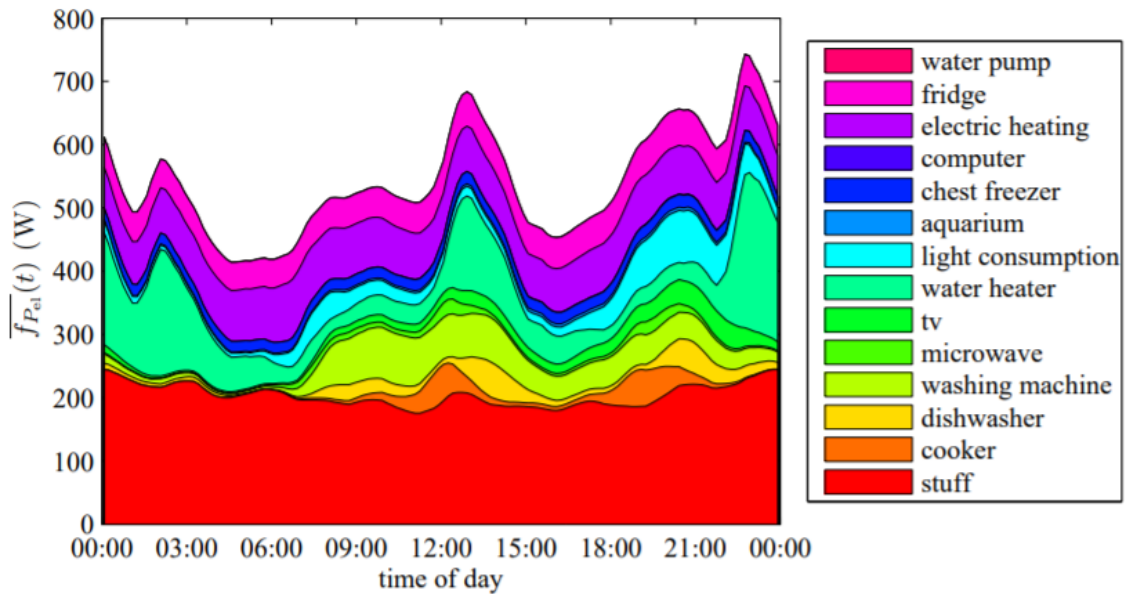


Obrázek 2 Přístup k modelování podle Urs Wilke. [4]

K vytvoření integrovaného modelu založeném na chování uživatelů používá Wout Parys [3] program MATLAB. Ve své práci implementuje dílčí behaviorální submodely. U využití elektrických spotřebičů se odvolává na práci autora Urs Wilke [4]. Ten přistupuje k problematice modelování spotřeby elektrické energie na základě třech časově závislých veličin:

1. Pravděpodobnost, že je uživatel doma
2. Pravděpodobnost zahájení činnosti, pokud je uživatel doma
3. Pravděpodobnostní rozložení délky této činnosti.

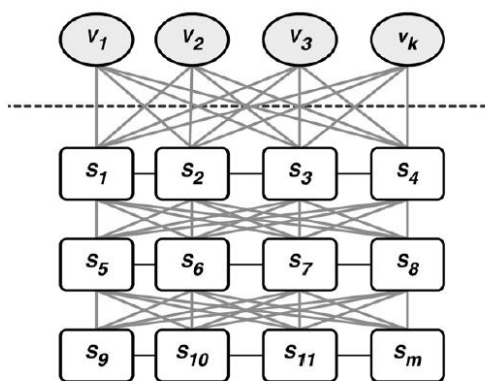
Jedním z dílčích výsledků je pak následující graf spotřeby energie, který nezohledňuje aktuální příkon spotřebičů, ale je vytvořen na základě distribuce v čase – např. u ledničky vidíme, že je její spotřeba uvedena po celý den rovnoměrně jako průměrná spotřeba, ačkoliv reálně není její příkon konstantní, ale mění se během dne na základě spínání termostatu mezi 0 W a maximálním příkonem.



Obrázek 3 Průměrná spotřeba jednotlivých spotřebičů v domácnosti (rozložení v čase). [4]

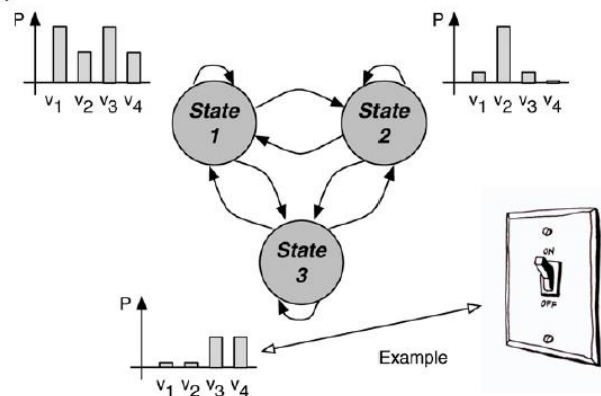
Markovův řetězec využívá ve svém přístupu k tvorbě modelu také Virote [5]. Chování uživatelů je definováno na základě pozorování jejich chování v prostoru a následně je na základě tohoto pozorování přiřazena pravděpodobnost provedení akce. Náhodné akce jsou výsledkem komplexního chování uživatele a jsou závislé na mnoha faktorech, jako je vzdělání uživatele, odpovědnost a další. Na základě pozorování charakterizuje uživatele jako kompozici jednotlivých akcí a stavů, které představují komplexní chování, ovlivňující jeho jednotlivé akce [5].

(a) Occupant Observable Actions (Symbols)



Occupant Hidden States (Markov Chain)

(b)



Obrázek 4 Blokova schémata znázorňující modelování chování uživatelů. a) Obecná struktura skrytého Markovova modelu (b)konkretizace skrytého Markovova modelu. [5]



Pravděpodobnostní model je pak složen z pozorovatelných a skrytých stavů – obrázek č. 4 (a). Pozorovatelné stavy jsou spojeny s akcemi, které provádějí uživatelé – např. vypínají klimatizaci, upravují nastavení termostatu anebo rozsvěcí světla – obrázek č. 4 (b). Motivace pro tyto akce je však často obtížné vidět – např. osobní hodnoty uživatele, ekonomické smýšlení anebo emoční stav. Jedná se o skryté nepozorovatelné stavy, které se nakonec projeví konkrétní pozorovatelnou akcí [5].

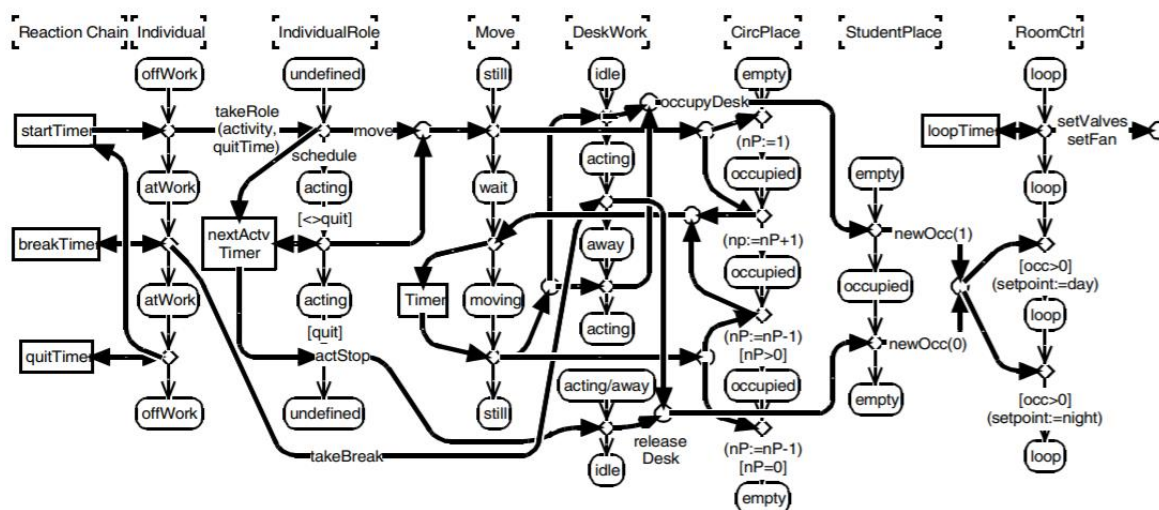
## 2.3 AGENTOVĚ ORIENTOVANÉ MODELOVÁNÍ

Yoon Soo Lee [6] využívá pro simulaci spotřeby energie v administrativní budově v závislosti na uživatelském chování agentově orientovaného modelu. Systém je složený z agentů a ze vztahů mezi nimi. Rozhodování agenta funguje na principu „if-then“. Sleduje se, jak určité chování, které agent provádí (např. zatažení žaluzií) zlepšit tepelnou pohodu uvnitř budovy. Jeho behaviorální model zahrnuje tři následující procesy – definuje chování, identifikuje spouštěče chování a měří, resp. kvantifikuje chování.

Agentově založený model využívá ve své práci i Gerhard Zimmermann [7], ten modeluje všechny uživatele a skupiny uživatelů jako individuální agenty s odlišným chováním. Nezávisle na uživateli pak modeluje různé role a funkční jednotky, jako jsou např. pracoviště. Tento přístup pak aplikuje na simulaci pohybu pracovníků na pracovišti. Na následujícím obrázku můžeme vidět schéma simulace:

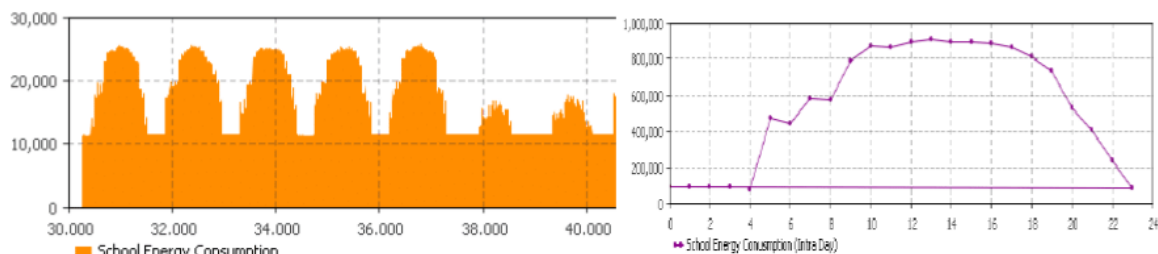
- StartTimer spustí začátek pracovní doby.
- Každý jednotlivec se ujme role, která začíná plánováním pravidelných a nepravidelných úkolů na tento pracovní den.
- Jednotlivec se typicky pohybuje od vchodu k místu jeho pracoviště (circPlace – zná vzdálenosti, odešle zprávu zpět na Move a podle toho je nastavený Timer).
- např. Na StudentPlace je prováděna kontinuální aktivita, dokud IndividualRole nespustí další přesun na jiné místo podle rozvrhu nebo si osoba neudělá přestávku.

K simulaci byl použit program PROBAND, nástroj PROTAGONIST ke kterému se nepodařila dohledat žádná reference.



Obrázek 5 Schéma simulace pohybu uživatele na pracovišti podle Gerharda Zimmermanna. [7]

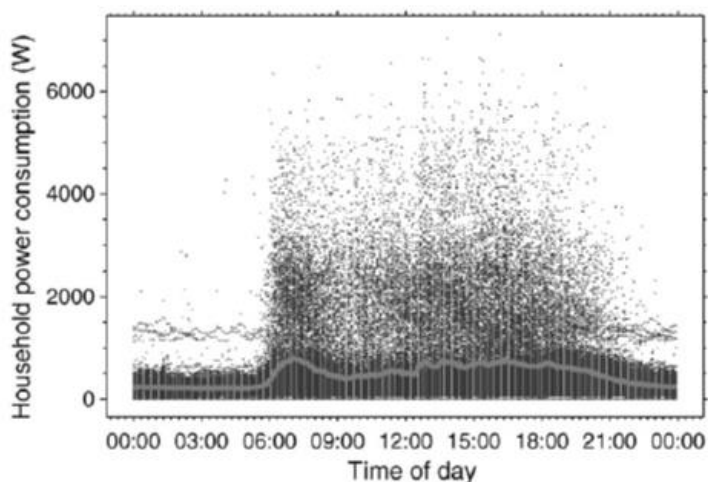
Agentově orientovaného modelování využívá Tao Zhang pro simulaci spotřeby energie ve školní budově [8]. Jako nástroj k modelování využívá simulační program Anylogic, který je užíván v této práci a je rozveden v kapitole 3.3. Vzhledem k omezené denní době, kdy je budova využívána, danému školnímu rozvrhu, a vzhledem k malému množství druhů spotřebičů je model pro tento typ budovy značně jednodušší než pro rodinný dům, kde je náhodnost aktivit, doby a času provozu mnohem vyšší a je tedy náročnější jednotlivé stavy jasně definovat.



Obrázek 6 Model spotřeby energie pro školní budovu v programu Anylogic. [8]

## 2.4 OSTATNÍ PŘÍSTUPY K MODELOVÁNÍ

Zajímavým dokumentem týkajícím se problematiky je dokument v programu Microsoft Excel, generující profily poptávky po elektřině, vydaný univerzitou Strathclyde ve Velké Británii [9]. Umožňuje zjednodušeně spočítat profil spotřeby pro domácnosti o různém složení na základě parametrů jako je např. průměrná spotřeba za den, četnost zapnutí za den a denní doba, kdy bývá spotřebič nejčastěji zapínán.

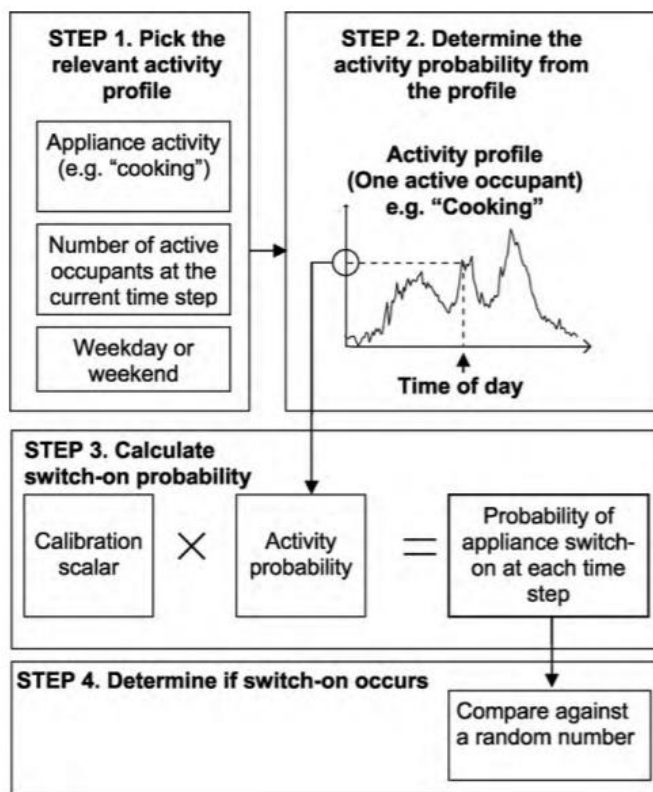


Obrázek 7 Změřená denní spotřeba energie jedné domácnosti během výzkumu od Steven Fifth. Šedá čára ukazuje průměrné hodnoty za každých 5 minut. [10]

Existují studie, které se zabývají experimentálním sledováním spotřeby energie v domácnostech, jako je výzkum autora Steven Fifth [10], v rámci které bylo sledováno 72 domů ve Velké Británii po dobu 2 let. Zaznamenávána byla hodnota celkové spotřeby energie domácnosti každých 5 minut. Grafické znázornění spotřeby energie během dne (za 2leté období) pro jednu domácnost je znázorněno na obrázku č. 7.

V roce 2010 byl na CREST (Centrum pro technologii obnovitelných energetických systémů, Loughborough University) vyvinut nový model poptávky po elektrické energii v domácnosti [11]. Jedná se o pravděpodobnostní model, který dokáže stanovit odhad spotřeby elektřiny v jednotlivých domácnostech na základě počtu obyvatel, vzorů obsazenosti a obsahu bytových zařízení. Na základě přístupu vyvinutého Page [12] pro implementaci Markovových řetězových modelů založených na datech využití času, Richardson vyvinula model obsazenosti obytných budov [13]. Později byl tento model obsazenosti kombinován s přístupem, který vyvinuli Yao a Steemers [14] pro generování událostí zapnutí elektrických spotřebičů za účelem vytvoření nového pravděpodobnostního modelu, který našel v literatuře rozšířené uplatnění.

Metoda zvolená pro spuštění jednotlivých spotřebičů je znázorněna na obrázku č. 8. V kroku 1 je vybraná aktivita (např. vaření), počet aktivních uživatelů a ověřuje se, zda je všední den nebo víkend. V kroku 2 se z charakteristického profilu spotřebiče zvolí pravděpodobnost této aktivity. Ta je v kroku 3 vynásobena kalibračním skalárem, do kterého je započítán průměrný počet zapnutí spotřebiče za jeden rok. Např. v případě ledničky, tato hodnota vychází z počtu sepnutí kompresoru [11].

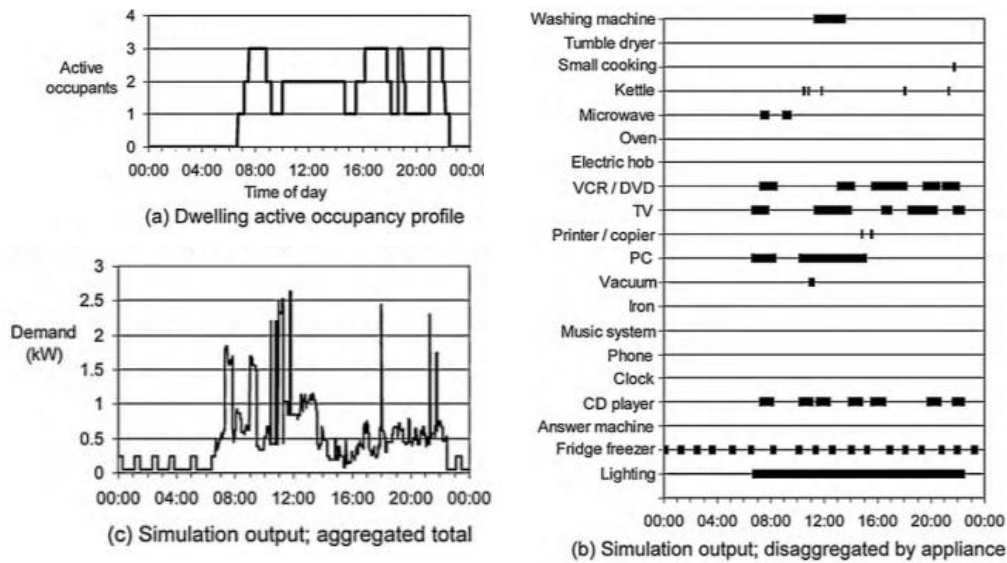


Obrázek 8 Logika spuštění aktivity pro model CREST. [11]

Příklad simulačního výstupu pro jeden byt [11], jeden den v zimě, je znázorněn na obrázku č. 9. Pro tuto simulaci má domácnost 4 obyvatele, z nichž aktivní jsou maximálně tři najednou (a) a nejsou aktivní v noci.

Běh jednotlivých domácích spotřebičů je znázorněn v části b (b). Je patrné, že běh spotřebičů souvisí s počtem aktivních uživatelů. Ve spodní části (b) je vidět, že lednička s mrazákem je spínána i v noci, tedy v době, kdy uživatelé nejsou aktivní a jiné spotřebiče neběží.

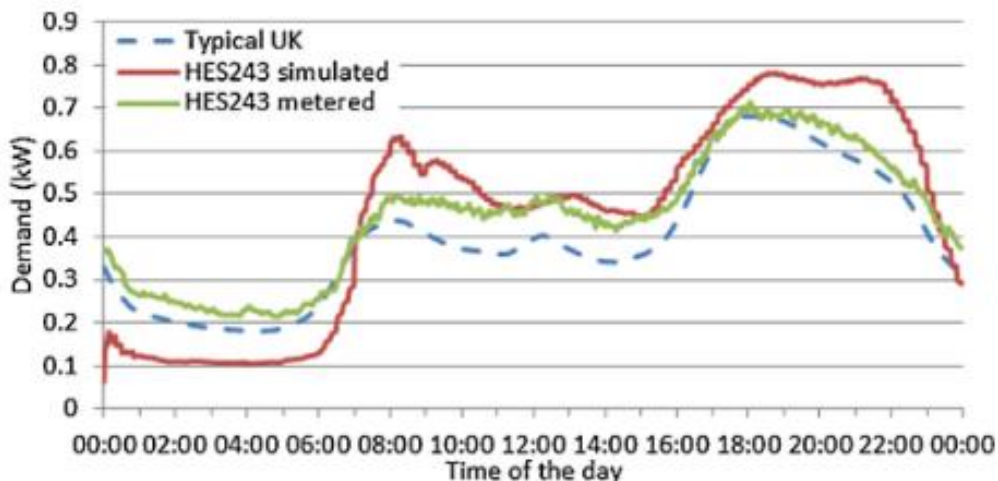
Graf celkové spotřeby energie pro tento simulační případ je uveden na spodním obrázku (c). Během nočních hodin opět sledujeme, že odběr energie tvoří především spotřeba lednice.



Obrázek 9 Výstup jedné ze simulací modelu CREST. [11]

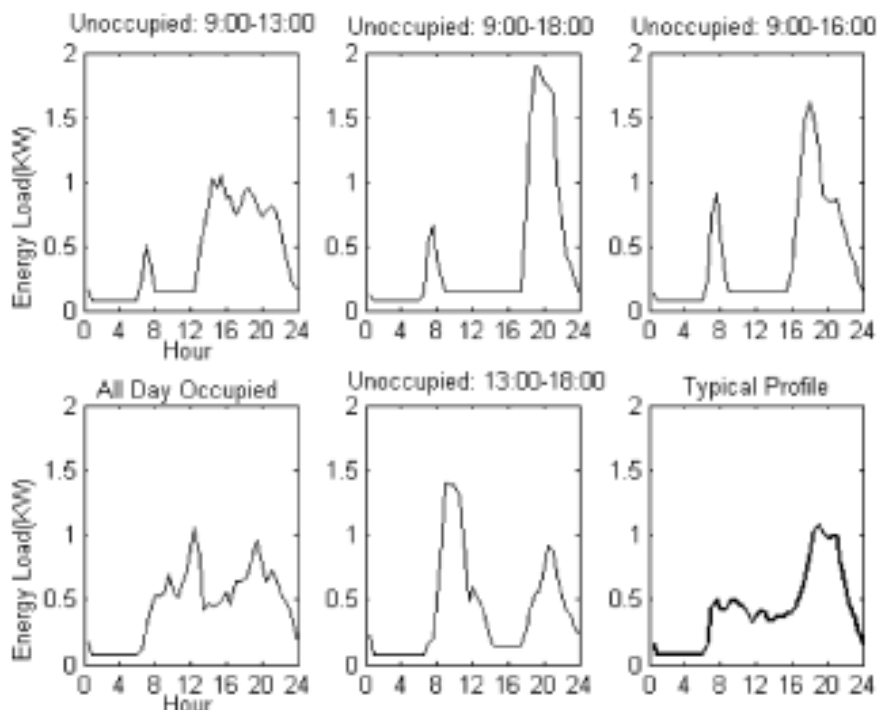
Následovalo monitorování spotřeby britských domácností. Studie měla čtyři hlavní cíle: zjistit rozsah a množství elektrických spotřebičů, které se nacházejí v typickém britském domě, porozumět jejich způsobům používání a jejich dopadu na poptávku po špičkové elektřině, monitorovat celkovou spotřebu elektřiny v domácnostech i jednotlivců, sbírat údaje o návycích uživatelů při používání domácích spotřebičů [15].

Na obrázku 10 můžeme sledovat typický denní profil spotřeby z Velké Británie a profil stanovený na základě měření 243 domácností ve Velké Británii a profil na základě simulace modelu CREST [15].



Obrázek 10 Srovnání typického denního profilu v UK s výsledky měření a simulace z modelu CREST. [15]

Vzhledem k tomu, že se jedná o průměrný profil různých typových domácností, jsou zde zahrnuty i domácnosti, kde nejsou pouze pracující dospělí, ale jsou zde osoby, které přes den zůstávají v domácnosti. Proto na obrázku 10 můžeme sledovat odběr energie i během dopoledne. Yao a Steemers [14], jejichž práce je v modelu CREST využívána, ve své studii s různými profily spotřeby podle obsazenosti pracují.



Obrázek 11 Typický denní profil zatížení spotřebičů průměrné domácnosti v UK. [14]

Model CREST je jedním z nejpropracovanějších modelů svého druhu a je rozvíjen v mnoha celosvětových studiích.

### 3 METODIKA

---



Na základě rešerše bylo zjištěno, že sice existuje zahraniční model, který umožňuje modelování spotřeby elektrických spotřebičů, ale není postaven na chování českých obyvatelů, které může být od chování jiné národnosti odlišné. Stanoveným cílem práce bylo vytvořit takový denní průběh spotřeby domácích spotřebičů, který bude relevantní pro chování našich občanů a porovnat jej se zahraničními daty.

Pro tvorbu simulačního modelu byl zvolen program Anylogic, který umožňuje jak pravděpodobnostní, tak agentově orientované modelování a zároveň je uživatelsky přívětivý a jeho použití je široké natolik, aby bylo možné ho použít pro potřeby modelování spotřeby elektrické energie. Nepodařilo se dohledat příklad použití programu Anylogic pro simulaci spotřeby energie v obytných budovách.

Následně byla zpracovávána data, která byla třeba definovat jako vstupní data pro simulační modely. Jedná se jak o data příkonů spotřebičů, ke kterým bylo přistupováno různými přístupy – některá data byla převzata z oficiálního webu společnosti ČEZ [16]. Pro spotřebiče, které zde nebyly uvedeny bylo provedeno měření anebo byla analyzována data z webových stránek prodejců těchto domácích spotřebičů.

Nepostradatelnou částí modelu jsou data o chování uživatelů. Vzhledem k tomu, že se jedná o velký objem dat, vyžadující velké množství respondentů, kteří budou ochotni zaznamenávat své aktivity v časových intervalech po celý den, byla využita data z již proběhlého výzkumu z roku 2016 – české panelové šetření domácností, 2. vlna [17]. Data z tohoto výzkumu byla pro potřeby simulace filtrována a upravena tak, aby mohla být použita jako vstupní data pro tvorbu simulačního modelu.

Simulační modely vytvořené v programu Anylogic byly rozděleny do několika dílčích simulačních projektů rozdělených podle typu uživatele – dospělý nebo dítě, a podle typu dne – všední den, víkend.

Simulace byly následně spouštěny a do databáze byla ukládána časová závislost celkového příkonu spotřebičů. Data pak byla zpracovávána v programu Microsoft Excel a diskutována v závěru této práce.



### 3.1 MĚŘENÍ A KATEGORIZACE SPOTŘEBIČŮ

Abychom dokázali správně rozdělit spotřebiče dle průběhu spotřeby elektrické energie, je třeba proměřit jejich typické chování během dne v běžné domácnosti.

#### 3.1.1 Metoda měření



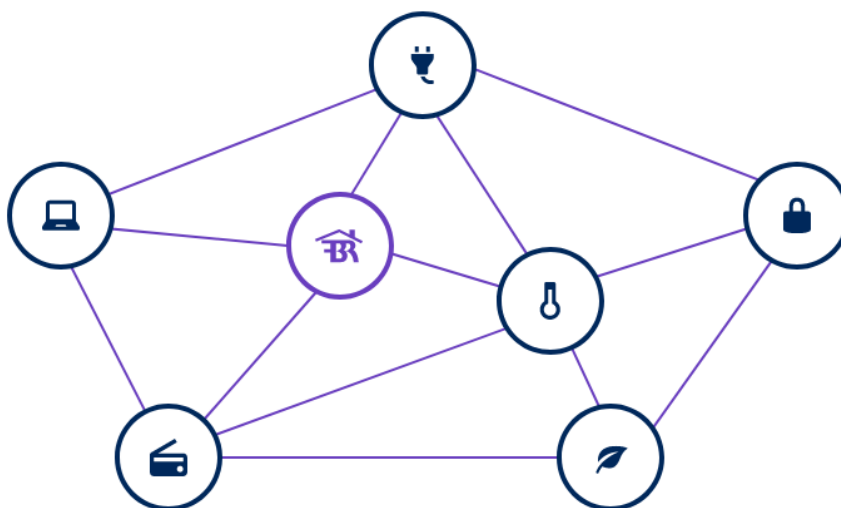
K měření byla použita gateway od společnosti FIBARO, která pracuje na technologii Z-wave. Jedná se o otevřený protokol pro bezdrátovou komunikaci používaný v systémech domácí automatizace, který je mezinárodně standardizován. Jeho hlavní výhody spočívají v absolutní mobilitě, možnosti

propojení zařízení více výrobců a záruce rozvoje v budoucnosti [18].

Protokol Z-Wave byl vyvinut speciálně pro potřeby domácích zařízení jako jsou termostaty, čidla, osvětlení, klimatizace, vzduchotechnika, ovládání audio či video techniky, které přenáší pouze malé objemy dat. Zařízení Z-Wave mají minimální spotřebu energie při zachování okamžité odezvy. Komunikace probíhá ve vyhrazeném pásmu, proto na rozdíl od různých wifi či Bluetooth řešení odpadá problém s rušením [18]. Další výhodou je schopnost zapojení tzv. plug & play. Přidání nového modulu do systému je tedy velmi snadné. V otevřeném prostoru je dosah až 100 metrů.

Z-Wave vytváří topologii sítě typu Mesh, kde každé zařízení je schopné nejen přijímat, ale také vysílat řídicí příkazy. Každý článek tak dokáže sledovat a řídit práci jiných modulů a zároveň komunikovat s centrální jednotkou [18].

Každý výrobek je před získáním certifikace podroben přísnému testování nezávislou zkušebnou. O vývoj a spolehlivost certifikace se stará konsorcium výrobců Z-Wave Alliance. To zaručuje maximální schopnost propojení a vaši nezávislost na jednom výrobcu. V současné době používá technologii Z-Wave přes 325 firem z celého světa. FIBARO trvale podporuje kompatibilitu se všemi Z-Wave zařízeními. V roce 2015 je na trhu dle konsorcia již cca 1 350 certifikovaných produktů [18].



Obrázek 12 Spojení zařízení v síti Z-wave. [18]

### 3.1.2 Použitá zařízení

#### 3.1.2.1 FIBARO Home Center Lite



Obrázek 13 Řídící jednotka chytré domácnosti od společnosti Fibaro. [18]

Jako řídicí jednotka byla použita gateway od společnosti FIBARO. Umožňuje připojení až 230 zařízení a zapojuje se snadno pomocí Ethernetu [18].

Díky této jednotce je možné ve webové aplikaci sledovat a zaznamenávat aktuální spotřebu energie jednotlivých spotřebičů zapojených přes chytré zásuvky. Právě proto byla vybrána gateway této společnosti.

#### 3.1.2.2 FIBARO chytrá zásuvka



Obrázek 14 Chytrá zásuvka od společnosti Fibaro. [18]

Bezdrátová zásuvka společnosti FIBARO je jednou z nejelegantnějších zásuvek svého druhu na trhu. Její hlavní výhodou je její velikost – narozdíl od zásuvek jiných výrobců nezakrývá při zapojení okolní zásuvky. Její zapojení je snadné – stačí zapojit do zásuvky a stisknutím tlačítka na boku ji spárovat s řídicí jednotkou.

Zásuvka je vybavena po svém obvodu signalizací LED – barva odpovídá aktuální hodnotě spotřeby. Např. pokud zásuvka svítí po svém obvodu červeně, signalizuje to vysoký odběr energie zapojeného spotřebiče.

Maximální příkon zapojeného spotřebiče u této zásuvky je 2,5kW.

#### 3.1.2.3 Philio chytrá zásuvka



Obrázek 15 Chytrá zásuvka od společnosti Philio. [19]

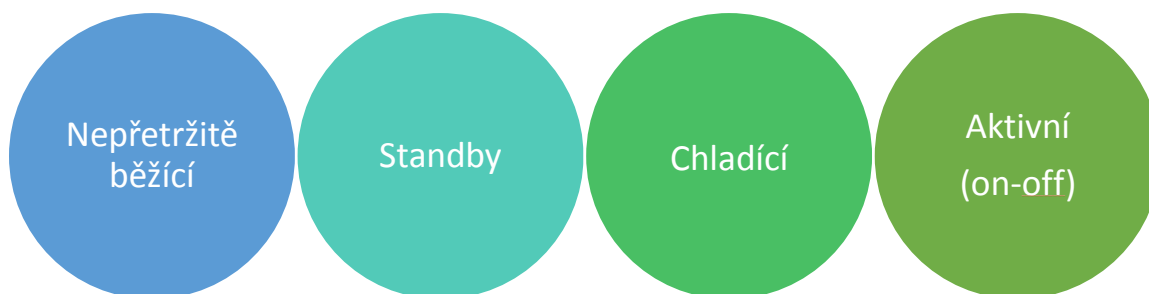
Bezdrátová zásuvka společnosti Philio je dalším zařízením, které bylo k měření používáno. Díky technologii Z-wave je možné k řídicí jednotce připojit i produkty, které nejsou prodávané společností FIBARO.

Tato zásuvka má rovněž světelnou LED signalizaci spotřeby. Maximální možný příkon zapojeného spotřebiče je vyšší než u předchozí zásuvky, a to 3kW.

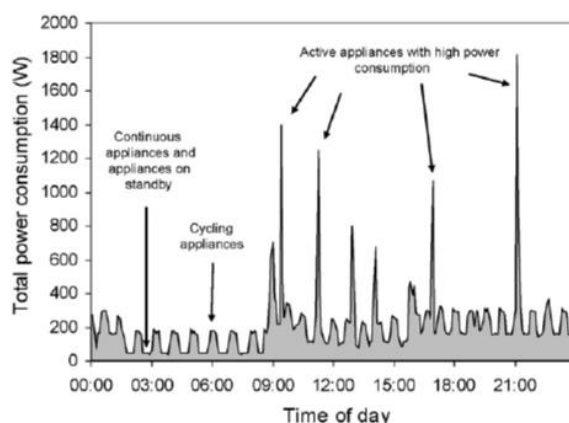
Nevýhodou zásuvky je její velikost a fakt, že při zapojení zakrývá svým tělem sousední zásuvky.



### 3.1.3 Typické profily domácích spotřebičů



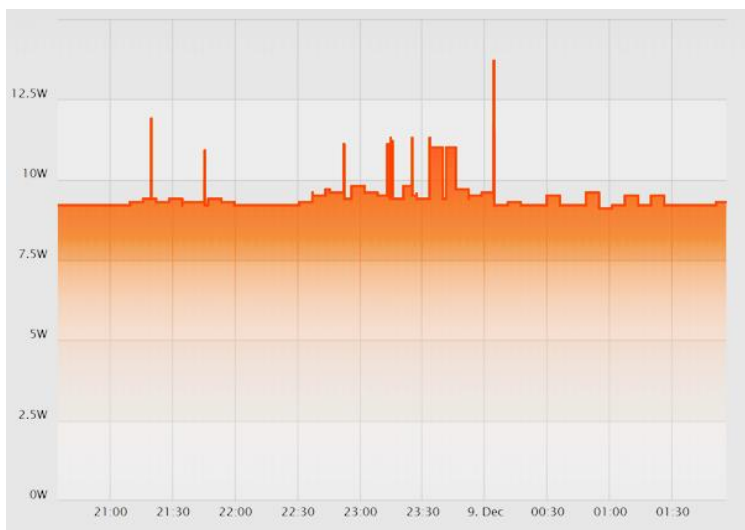
Spotřebiče v domácnosti rozdělujeme dle profilu spotřeby energie [10] na spotřebiče nepřetržitě běžící, v pohotovostním režimu, chladící a aktivní. Celková spotřeba elektrických spotřebičů je pak kombinací těchto profilů.



Obrázek 16 Rozlišení domácích spotřebičů na základě průběhu jejich příkonu. [1]

Na obrázku číslo 16 můžeme tuto kombinaci jednotlivých profilů sledovat. Po celou dobu je konstantní minimální potřeba, kterou tvoří spotřebiče nepřetržitě běžící a spotřebiče v pohotovostním režimu, které právě nejsou zapnuté. Pravidelné opakující se přírůstky energie během celého dne jsou způsobeny chladícím spotřebičem, typicky lednicí s mrazničkou. Dále můžeme sledovat několik velkých odběrů energie, které bývají způsobeny zapnutím aktivních spotřebičů, případně sepnutím spotřebičů, které jsou během nečinnosti v pohotovostním režimu.

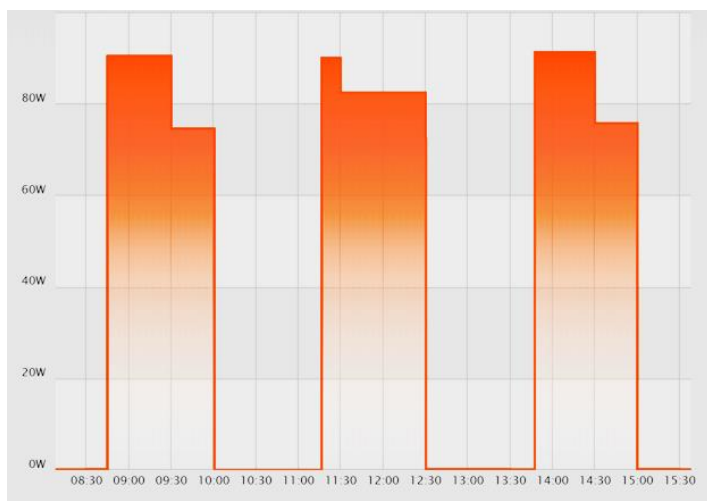
#### 3.1.3.1 Nepřetržitě běžící



Pro nepřetržitě běžící spotřebiče je typický jejich celodenní přibližně konstantní odběr energie. Typicky se jedná např. o elektrické hodiny, některé prvky zabezpečovacích systémů (např. kamery) nebo třeba o běžný modem.

Obrázek 17 Typický průběh spotřeby energie modemu – nepřetržitě běžící spotřebič. (zdroj: autor)

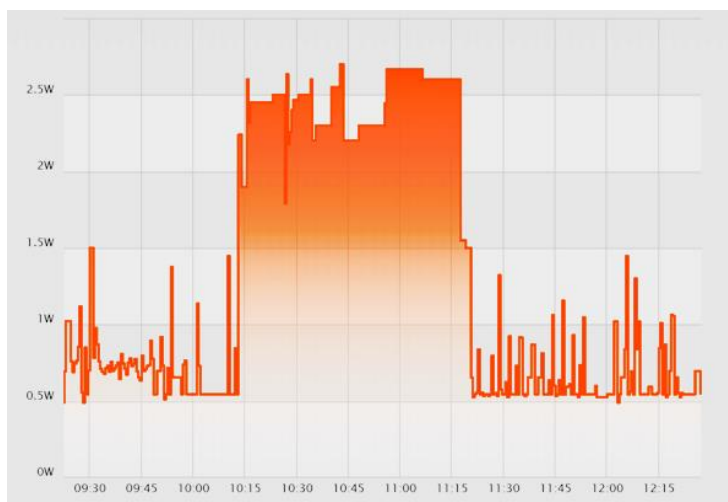
### 3.1.3.2 Chladící



Elektrická energie u chladících zařízení je typicky odebrána v cyklech mezi 0 a maximálním příkonem, kdy v zařízení sepne termostat. Typickými spotřebiči s tímto profilem spotřeby jsou lednice či mrazák.

Obrázek 18 Typický průběh spotřeby energie lednice – chladící spotřebič. (zdroj: autor)

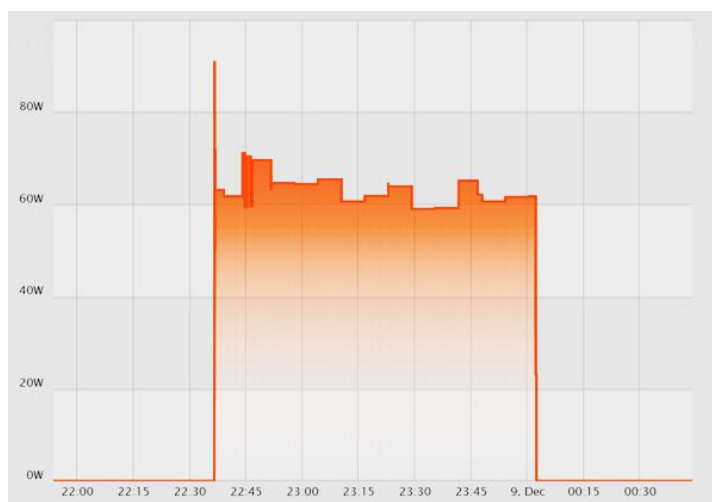
### 3.1.3.3 V pohotovostním režimu – standby



U těchto spotřebičů se střídá pohotovostní režim, během kterého spotřebič odebrá konstantně malé množství energie, s režimem zapnuto, během kterého spotřebič dosahuje svého maximálního příkonu. Typickými spotřebiči v pohotovostním režimu je set-top-box nebo mikrovlnná trouba, která ukazuje hodiny.

Obrázek 19 Typický průběh spotřeby energie set-top-boxu – spotřebič v pohotovostním režimu. (zdroj: autor)

### 3.1.3.4 Aktivní



Aktivní spotřebiče jsou ty, které neodebírají žádnou energii, pokud jsou vypnuté. Elektrickou energii spotřebovávají jedině v případě, že je uživatel zapne – např. pračka, myčka, stolní počítač, rychlovarná konvice atp.

Obrázek 20 Typický průběh spotřeby energie televizní obrazovky – aktivní spotřebič. (zdroj: autor)

## 3.2 CHOVÁNÍ UŽIVATELE

Abychom dokázali správně nadefinovat vstupní podmínky pro simulaci, musíme znát data o typickém chování uživatelů během dne. Jako vstupní data pro simulaci v této práci byla použita data z druhé vlny českého panelového šetření domácností [17], které proběhlo v roce 2016. Během tohoto šetření domácností zaznamenávali respondenti své aktivity během celého dne do půlhodinových intervalů.

Sběr dat realizovaly agentury MEDIAN, s.r.o., a STEM/MARK, a.s., které patří k nejvýznamnějším agenturám pro výzkum trhu a veřejného mínění v České republice [17].

Data z panelového šetření jsou volně dostupná ke stažení na webových stránkách ČSDA [17].

### 3.2.1 Proměnné z výzkumu

Data z výzkumu obsahují následující proměnné, podle kterých je možné data třídit.

#### 3.2.1.1 Obyčejný nebo výjimečný den

Pro každý den je zaznamenáno, zda se jednalo o obyčejný den respondenta anebo, zda byl den výjimečným – např. někdo v rodině byl nemocný, rodina měla návštěvu a podobně [17].

Hodnoty	Kategorie	Četnost
1	Obyčejný den	5444
2	Výjimečný den	976
98	Nejednoznačná odpověď	0
99	bez odpovědi	303

Tabulka 2 Data z výzkumu – obyčejný nebo výjimečný den. [17]

Data, která jsou pro simulaci v této práci relevantní jsou data označená hodnotou 1, tedy data pro obyčejný den, kdy respondent byl např. v práci (dospělý) anebo ve škole (dítě). Data zaznamenaná o výjimečných dnech a data bez odpovědi byla pro potřeby simulace vyřazena.

#### 3.2.1.2 Typ dne

Dalším parametrem, který je uvedený pro každý den a podle kterého byla data pro simulaci tříděna je parametr určující typ dne.

Hodnoty	Kategorie	četnost
1	Den, kdy jsem byl(a) v práci nebo ve škole	2304
2	Den, kdy jsem kvůli nemoci zůstal(a) doma	160
3	Víkend, prázdniny, dovolená	1663
4	Nic z toho	2208
98	Nejednoznačná odpověď	0
99	bez odpovědi	388

Tabulka 3 Data z výzkumu – typ dne. [17]

Podle tohoto parametru byla data vybírána pro jednotlivé simulační projekty. Pro všední den byla vyfiltrována data označená hodnotou 1 – tedy den, kdy byl respondent v práci nebo ve škole. Po víkend byla naopak vybrána data s hodnotou 3 – víkend, prázdniny, dovolená. Ostatní data nebyla pro simulaci využita.

### 3.2.2 Zpracování dat – dospělí

Respondenti této části výzkumu byly osoby starší 18 let. Každý z respondentů zaznamenával své denní aktivity do půlhodinových intervalů. Ve výzkumu bylo dovoleno zaznamenat až 15 aktivit během jednoho intervalu. Druhou aktivitu během jednoho intervalu uvedlo kolem 10 % respondentů, více aktivit bylo zaznamenáno v jednotkách případů. Pro zjednodušení simulace byla brána v potaz pouze první zaznamenaná aktivita.

Aktivity, mezi kterými mohli dospělí respondenti volit jsou zaznamenány v tabulce č. 4.

aktivita	typ aktivity
1	spánek
2	odpočinek
3	osobní péče, hygiena, oblékání
4	stravování
5	cestování/dojíždění
6	zaměstnání
7	studium
8	přestávky mezi prací a studiem
9	vaření, mytí nádobí
10	úklid domu, praní, žehlení, vysávání
11	opravy, údržba domu
12	nakupování, pochůzky
13	péče o děti
14	hraní si s dětmi
15	péče o dospělé
16	dobrovolná činnost
17	náboženská činnost
18	trávení času s přáteli
19	kultura
20	sport, cvičení, venku
21	internet, email, sociální síť
22	hraní her
23	sledování TV, filmu
24	čtení
98	nejednoznačná odpověď
99	bez odpovědi

Tabulka 4 Data z výzkumu – typ aktivity dospělí. Žlutě – aktivity během nichž běží elektrický spotřebič, zeleně – aktivity doma, bez běhu běžných elektrických spotřebičů, modře – aktivity mimo domov.

Tyto aktivity byly pro potřeby simulace rozděleny do několika kategorií – na aktivity, během nichž uživatel pravděpodobně není doma (v tabulce 4 označeny modře), aktivity, během nichž dojde pravděpodobně k použití běžného domácího elektrického spotřebiče (v tabulce 4 označeno žlutě) a aktivity, během nichž sice uživatel pravděpodobně je doma, ale není pro ně typický běh domácího elektrického spotřebiče (v tabulce 4 označeny zeleně). Spornými aktivitami jsou aktivity č. 22 – hraní her a č. 21 – internet, email a sociální síť. U těchto aktivit se pro potřeby simulace předpokládá, že během všedního dne byly do 14 hodin prováděny na mobilním zařízení, tedy bez běhu spotřebiče, následně byly prováděny na počítači nebo notebooku. O víkendu se předpokládá použití notebooku či počítače po celý den.

Vzhledem k tomu, že během simulace pracujeme s předpokladem, že dospělí členové domácnosti jsou pracující lidé, byly pro všední dny vybrány pouze ty denní záznamy, během kterých respondent zaznamenal v intervalu 10:30 – 11:00 aktivitu č. 6 – zaměstnání. Záznamy, ve kterých byla v tomto intervalu zaznamenána jakákoliv jiná aktivita byly pro účely simulace vyřazeny.

### 3.2.2.1 Všední den

Pro všední den bylo zpracováno celkem 1957 denních záznamů. Aktivity z těchto denních záznamů byly přepočítány na pravděpodobnost v daném intervalu a jsou dostupné příloze této práce v tabulce *data\_dospeli\_vsedni*.

### 3.2.2.2 Víkend

Pro víkend bylo zpracováno celkem 1273 denních záznamů. Aktivity z těchto denních záznamů byly přepočítány na pravděpodobnost v daném intervalu a jsou dostupné příloze této práce v tabulce *data\_dospeli\_vikend*.

### 3.2.3 Zpracování dat – děti

Respondenti této části výzkumu byly děti ve věku 10–17 let. Každý z respondentů zaznamenával své denní aktivity do půlhodinových intervalů. Stejně jako v případě zpracování dat dospělých, byly pro simulaci použity pouze první zaznamenané aktivity.

Aktivity, mezi kterými mohli respondenti volit jsou zaznamenány v tabulce č. 5.

aktivita	typ aktivity
1	Spánek
2	osobní péče, hygiena, oblékání
3	jídlo (snídaně, oběd, večeře, svačina)
4	cestování/dojíždění
5	ve škole
6	domácí příprava, učení se
7	trávení času s přáteli
8	trávení času s rodinou
9	internet, email, sociální síť
10	hraní her
11	sledování TV, filmu
12	poslouchání hudby
13	čtení pro zábavu
14	hraní se zvířaty
15	sportování, cvičení
16	Kroužky
17	koníčky ve volném čase
18	výlety, procházky
19	domácí práce – uklízení, příprava jídla
20	Nakupování
21	Brigáda
98	nejednoznačná odpověď
99	bez odpovědi

Tabulka 5 Data z výzkumu – typ aktivity dětí 10–17 let. Žlutě – aktivity během nichž běží elektrický spotřebič, zeleně – aktivity doma, bez běhu běžných elektrických spotřebičů, modře – aktivity mimo domov.

Obdobně jako v případě dospělého respondenta byla tato data rozdělena do třech kategorií – na aktivity, během nichž uživatel pravděpodobně není doma (v tabulce 5 označeny modře), aktivity, během nichž dojde pravděpodobně k použití běžného domácího elektrického spotřebiče (v tabulce 5 označeno žlutě) a aktivity, během nichž sice uživatel pravděpodobně je doma, ale není pro ně typický běh domácího elektrického spotřebiče (v tabulce 5 označeny zeleně). Spornými aktivitami jsou aktivity č. 10 – hraní her a č. 9 – internet, email a sociální sítě. U těchto aktivit se pro potřeby simulace stejně jako v případě dospělé osoby předpokládá, že během všedního dne byly do 14 hodin prováděny na mobilním zařízení, tedy bez běhu spotřebiče, následně byly prováděny na počítači nebo notebooku. O víkendu se předpokládá použití notebooku či počítače po celý den. U aktivity č. 17 domácí práce došlo tentokrát k zařazení mezi aktivity, kdy není zapínán elektrický spotřebič. Vzhledem k možnostem, které program Anylogic dovoluje a ke snaze zjednodušit simulační data tedy předpokládáme, že kuchyňské spotřebiče anebo např. vysavač zapíná v domácnosti pouze dospělý.

#### **3.2.3.1 Všední den**

Pro všední den bylo zpracováno celkem 171 denních záznamů. Aktivity z těchto denních záznamů byly přepočítány na pravděpodobnost v daném intervalu a jsou dostupné příloze této práce v tabulce *data\_deti\_vsedni*.

#### **3.2.3.2 Víkend**

Pro víkend bylo zpracováno celkem 251 denních záznamů. Aktivity z těchto denních záznamů byly přepočítány na pravděpodobnost v daném intervalu a jsou dostupné příloze této práce v tabulce *data\_deti\_vikend*.

### 3.3 SIMULAČNÍ PROGRAM



Pro simulaci problematiky byl zvolen program Anylogic. Jedná se o simulační program disponující stavebními bloky i programovatelnou částí. Program není primárně určen pro modelování spotřeby energie, je přizpůsoben především modelování dopravy, průmyslové výroby, zdravotní péče atp.

Zásadní výhodou programu je možnost kombinace modelování na základě diskretních událostí, systémové dynamiky a agentově orientovaného modelování. Další výhodou programu je možnost doprogramování dílčích funkcí, a tedy možnost využití i u problematiky, ke které primárně není určený. Program pracuje s jazykem java a umožňuje doplňování vlastního kódu v jednotlivých funkčních blocích. Další výhodou programu je jeho bezplatná verze pro vzdělávací účely a jeho přehlednost a snadné uživatelské ovládání. Jiné podobné programy jsou většinou postaveny pouze na programování ve svém vlastním jazyce, nenabízí práci s dílčími bloky a práce s nimi tedy není tak přehledná. Anylogic navíc umožňuje bezplatné využití vlastního cloudu, díky kterému je možné přehrát simulaci i na počítači, kde není program instalován.

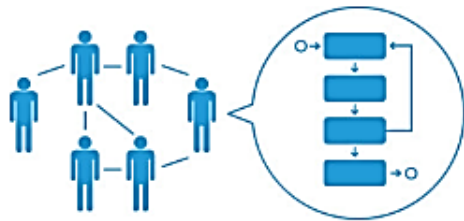
Autorce této práce není známo, že by byl tento program v minulosti využit k modelování spotřeby elektrických spotřebičů v domácnosti. Jak již bylo zmíněno v rešerši, existuje např. model v tomto programu na simulování spotřeby elektrické energie školní budovy, kde je predikce chování uživatelů mnohem snazší.

Program Anylogic dovoluje i grafické interpretace simulací.



Zásadní výhodou tohoto programu je fakt, že spojuje 3 přístupy k modelování [20]:

### 3.3.1.1 Agentově založené

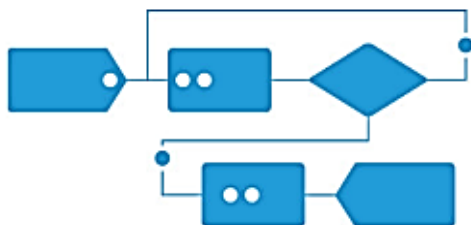


Obrázek 21 Schéma – agentově založené modelování. [20]

Agentově orientované modelování je určeno pro simulaci akce a interakce agentů s cílem posoudit jejich účinky na systém jako celek. Zaměřuje se detailně na jednotlivé prvky systému. Dovoluje založení jednotlivých entit agentů, které se vyznačují stejným chováním. Vize tohoto modelu je taková, že jednoduchá, předem nadefinovaná, pravidla chování agentů, mohou vytvářet chování na složitější úrovni.

### 3.3.1.2 Diskrétní

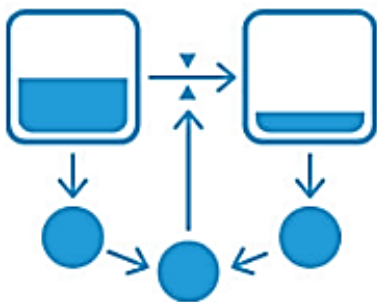
Mnoho procesů je možné popsat jako sekvenci diskrétních událostí. Například příjezd vozu do skladu a jeho odjezd je daný 2 diskrétními událostmi – příjezd a odjezd. Aktuální polohu získáme



Obrázek 22 Schéma – diskrétní modelování. [20]

z rozdílu času těchto událostí. Simulace diskrétních událostí systému je tedy sled událostí v čase. Každá z událostí nastává v určitém okamžiku, a představuje nadefinovanou změnu stavu. Díky výsledkům získaných ze simulace můžeme zjišťovat chování systému za různých podmínek. Mezi komponenty diskrétních simulací patří stavy proměnných, seznamy nadefinované události, statistiky a podmínky.

### 3.3.1.3 Systémově dynamické



Obrázek 23 Schéma – systémově dynamické modelování. [20]

Jedná se o velmi abstraktní způsob modelování, který zanedbává jemné detaily, jako jsou vlastnosti lidí, produktů nebo událostí, a vytváří obecnou reprezentaci komplexního systému. Tyto abstraktní simulační modely mohou být použity pro dlouhodobé strategické simulace a jsou postaveny na konceptu zpětné vazby.

Systémová dynamika začíná určením problému, který máme vyřešit. Tato metoda se používá v situacích, kdy potřebujeme lépe porozumět danému problému. Mezi kroky v systémové dynamice patří:

1. **Definování problému** – určením problému, který máme vyřešit.
2. **Definování systémových prvků** – definice zásadních pojmů a prvků modelu.
3. **Formalizace modelu** – návrh modelu a určení závislostí proměnných.
4. **Vytvoření simulačního modelu** – vytvoření simulace na základě předchozích kroků.



## 4 POPIS SIMULAČNÍHO MODELU

Vzhledem k tomu, že v programu Anylogic ve verzi pro edukační účely je znemožněno použití více než 200 stavebních bloků v jednom simulačním projektu, byla simulace rozdělena celkem do devíti simulačních projektů.

Dospělý – všední den	do 13 h	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
	od 13 h	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
Dospělý – víkend	do 11 h	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
	11-21 h	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
	od 21 h	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
Domácnost	celý den	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
Dítě – všední den	celý den	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
Dítě – víkend	do 19 h	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>
	od 19 h	<a href="#">Odkaz na simulaci online</a>

Tabulka 6 Rozdělení do simulačních projektů s odkazy na simulační projekty na cloudu (případně je možné odkazy na simulace dohledat v příloze v tabulce cloud\_simulace).

Na základě dat z panelového šetření byly vybrány typové domácnosti, které jsou v simulacích zpracovávány. Jedná se o domácnost se dvěma pracujícími dospělými a dvěma dětmi, a o domácnost se dvěma pracujícími dospělými.

Pro modelování byly vybrány následující spotřebiče, které jsou spojeny s vykonáváním určité aktivity uživatele:

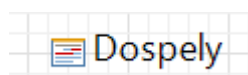
aktivita	spotřebiče
Sledování televize	Set-top-box
	Televizní obrazovka
Na počítači	Stolní počítač
	Obrazovka počítače
	Notebook
Úklid	Vysavač
Příprava jídla	Mikrovlnná trouba
	Rychlovarná konvice
	Trouba
	Varič

Tabulka 7 Modelované spotřebiče spojené s určitou aktivitou uživatele.

V projektu Domácnost jsou modelovány spotřebiče, které nejsou vázané na data z výzkumu českého panelového šetření. Jedná se o spotřebiče, které nebývají pouštěny každý den anebo o spotřebiče, které běží stále anebo jsou pravidelně automaticky spínány. Jedná se o tyto spotřebiče:

spotřebiče
Lednice (s mrazničkou)
Modem
Pračka
Myčka
Sušička

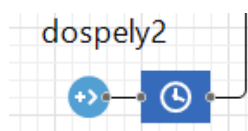
Tabulka 8 Modelované spotřebiče, které jsou modelovány zvlášť v projektu Domácnost.



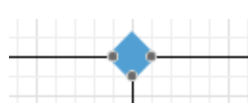
Kromě projektu *Domácnost* je v každém projektu rozvrh, který udává, v kolik hodin kolik agentů do blokového schématu simulace vstoupí.



Tento rozvrh je pak napojený na zdroje agentů, resp. na začátek blokového schématu, kde jsou agenti v požadovaný čas generováni (v Anylogic označováno jako source).

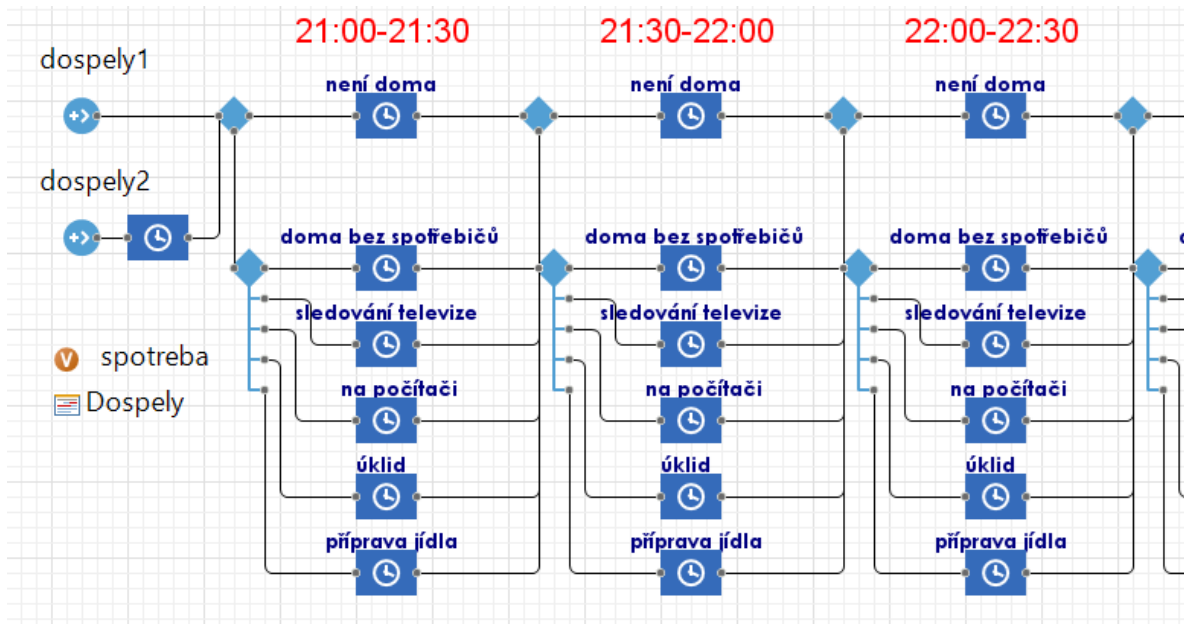


Pokud jsou na začátku blokového schématu dva zdroje agentů je u jednoho z nich zpoždovací blok, ve kterém je druhý agent zpožděn o 0,1 s. Tento krok je důležitý pro správnou funkci kódu – zamezuje tomu, aby byla jedna funkce volána v ten samý okamžik dvakrát.

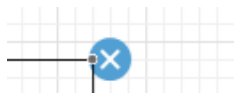


Agenti prochází blokové schéma simulace na základě pravděpodobnostního rozhodování. Pravděpodobnost je nastavena pro každý rozhodovací krok zvlášť podle zpracovaných dat z českého panelového šetření domácností.

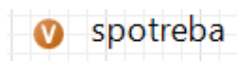
Simulace je zpravidla rozdělena po půlhodinových intervalech a před každým intervalem jsou rozhodovací bloky, ze kterých vedou cesty do jednotlivých funkčních bloků, které znázorňují možnosti aktivit pro následující interval. Vždy se nejprve rozhoduje, zda agent zůstává doma nebo je pryč anebo jestli se tento jeho stav změní. Následně pak, pokud je agent doma, dochází k rozhodování, jakou aktivitu zvolí. Tyto aktivity a jejich pravděpodobnost zvolení jsou nastaveny podle zpracovaných dat z českého panelového šetření domácností. Typicky agent volí mezi aktivitami – doma bez zapnutí elektrických spotřebičů, sledování televize, práce či zábava na počítači, úklid anebo příprava jídla. Pokud je pravděpodobnost některé z aktivit nulová, není pro daný interval vůbec uvedena. Každý blok aktivity v sobě má naprogramovanou funkci, která spustí požadovaný spotřebič.



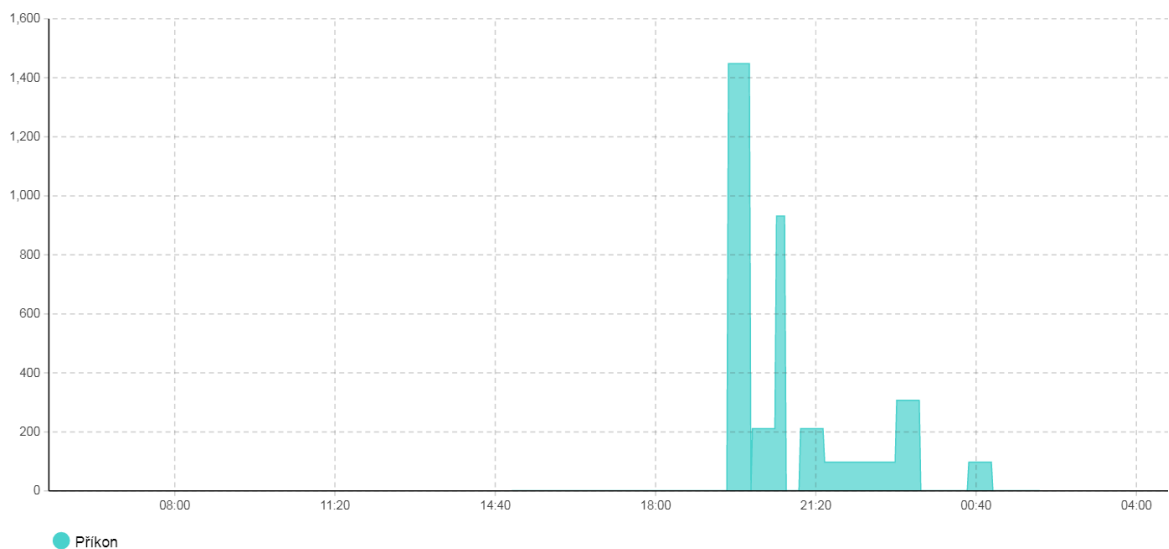
Obrázek 24 Příklad začátku blokového schématu a jeho následný průběh po půlhodinových intervalech, mezi kterými dochází k rozhodování agenta.



Každé blokové schéma je ukončeno zakončovacím blokem (v Anylogic označováno jako sink), kde agenti končí.



V každém projektu najdeme proměnnou *spotřeba*, do které je zaznamenáván aktuální příkon všech spotřebičů, které jsou zapnuté anebo v pohotovostním režimu. Proměnná je typicky umístěna vždy v levé horní části simulačního projektu a jedná se o nejdůležitější proměnnou celého projektu. Průběh této proměnné je v každém projektu zároveň vynášený do grafu. Na ose x je vyznačen čas v daný den a na ose y je aktuální příkon ve W.



Obrázek 25 Graf zaznamenávající příkon spotřebičů během simulace (na ose x je vyznačen čas v daný den a na ose y je aktuální příkon ve W).

Vzhledem k tomu, že v různých domácnostech mají různě energeticky náročné spotřebiče, je příkon pro každý spotřebič generován v mezích daných konkrétním intervalem. Konkrétní intervaly, ve kterých je příkon pro jednotlivé spotřebiče generován jsou uvedeny v následujících podkapitolách. Tak obsáhneme použití novějších šetrných spotřebičů i spotřebičů, které jsou starší a mají vyšší spotřebu. Stejně tak se u některých spotřebičů náhodně generuje délka jejich zapnutí – typicky např. u pračky nebo myčky může docházet k různě dlouhému cyklu.

## 4.1 SPOTŘEBIČE – ZAPÍNÁNÍ NA ZÁKLADĚ VSTUPU AGENTA DO FUNKČNÍHO BLOKU

### 4.1.1 Sledování televize

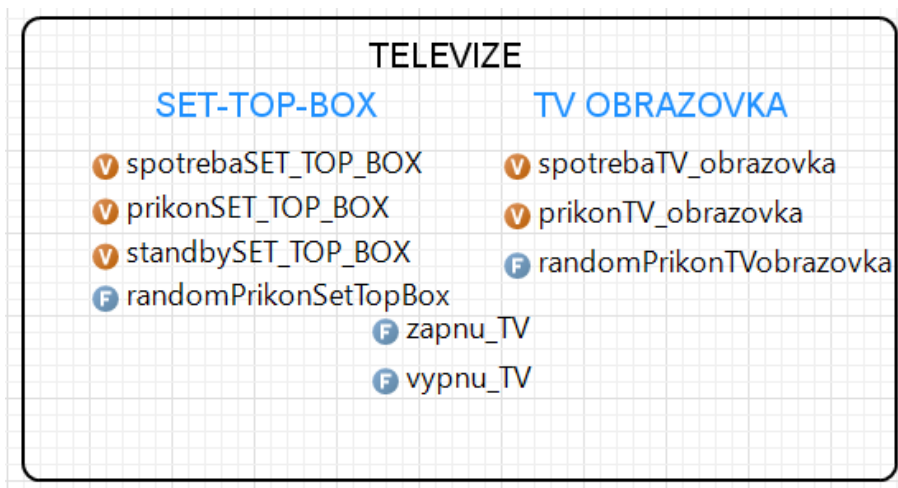
Předpokládáme, že televizi mají jednu dospělí a jednu děti. Pokud televizi sledují např. oba dospělí (resp. obě děti), dojde k zapnutí pouze jedné televize. Předpokládáme také, že televize se skládá z televizní obrazovky a set-top-boxu.

Neuvažujeme drobný výkyv v příkonu set-top-boxu při jeho vyšším zatížení.



Při vstupu agenta do bloku *sledování televize* dojde k zavolání funkce *zapnu\_TV()*. Tato funkce nejprve zkontroluje aktuální spotřebu televize a podle toho vyhodnotí, zda je již zapnuta, a tedy zda ji má zapínat. Pokud je tedy hodnota proměnné *spotrebaSET\_TOP\_BOX* rovna hodnotě *standbySET\_TOP\_BOX* funkce vyhodnotí, že je televize vypnutá a dojde k jejímu zapnutí.

Příkon set-top-boxu je pro každý simulační běh generován při vstupu prvního agenta do simulace funkcí *randomPrikonSetTopBox* v mezích 3–8 W a je ukládána do proměnné *prikonSET\_TOP\_BOX*. Zároveň je generován i příkon televizní obrazovky funkcí *randomPrikonTVobrazovka* a to v intervalu 60–120W a je ukládán do proměnné *prikonTV\_obrazovka*. Na začátku vstupu agenta do blokového schématu je přičtena k hodnotě *spotreba* hodnota příkonu spotřebiče v pohotovostním režimu *standbySET\_TOP\_BOX*, která je nastavena na 0,5 W.



Obrázek 26 Televize – používané proměnné a funkce.

Před zapnutím hodnota *spotrebaSET\_TOP\_BOX* odpovídá standby hodnotě spotřebiče, proto při zapnutí dojde k odečtení *standbySET\_TOP\_BOX* od hodnoty proměnné *spotrebaSET\_TOP\_BOX* a hodnoty proměnné *spotreba* a následně je k oběma těmto proměnným přičtena hodnota proměnné *prikoneSET\_TOP\_BOX*. A zároveň je k hodnotám *spotreba* a *spotrebaTV\_obrazovka* přičtena hodnota *prikoneTV\_obrazovka*.

Po 30 minutách agent opouští tento funkční blok *sledování televize*. Při tomto opouštění je volána funkce *vypnu\_TV()*. Funkce opět nejprve podle aktuální hodnoty proměnné *spotrebaSET\_TOP\_BOX* vyhodnotí, zda je televize již vypnutá. Pokud se hodnota této proměnné nerovná hodnotě proměnné *standbySET\_TOP\_BOX*, tak funkce televizi vypne – od hodnoty *spotrebaSET\_TOP\_BOX* a hodnoty *spotreba* odečte hodnotu proměnné *prikoneSET\_TOP\_BOX*, zároveň od hodnoty proměnné *spotrebaTV\_obrazovka* a hodnoty proměnné *spotreba* odečte hodnotu proměnné *prikoneTV\_obrazovka*. Nakonec k proměnným *spotreba* a *spotrebaSET\_TOP\_BOX* přičte hodnotu proměnné *standbySET\_TOP\_BOX*.

#### 4.1.2 Na počítači

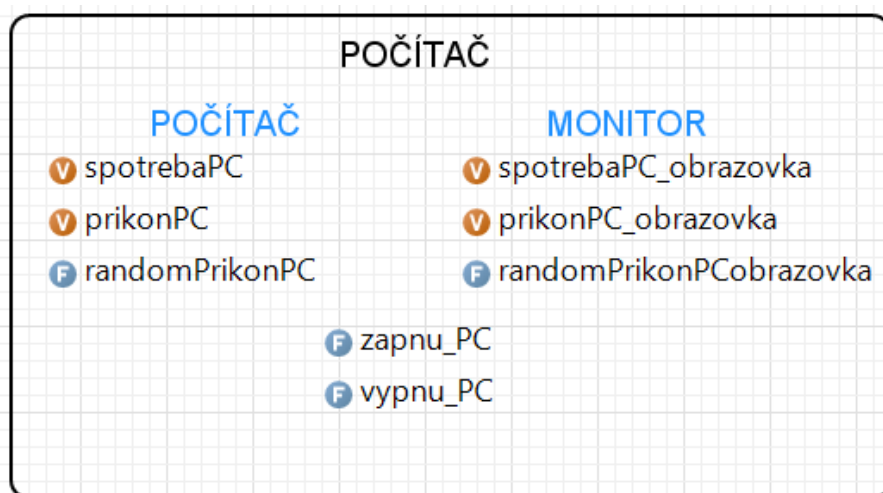
Předpokládáme, že dospělí vlastní dohromady jeden stolní počítač. Pokud je tento počítač zapnutý a pracovat chce i druhý dospělý, využívá k tomu notebook. U dětí předpokládáme použití notebooku vždy a předpokládáme, že každé dítě má svůj. Dále předpokládáme, že po dobu použití notebooku je zařízení nabíjeno a je tedy spotřebována elektrická energie.

Při spuštění počítače neuvažujeme výchyly v jeho příkonu závislé např. na jeho zatížení a uvažujeme pro zjednodušení konstantní odběr elektrické energie.



Při vstupu agenta do tohoto bloku dojde nejprve k ověření podle hodnoty proměnné *spotrebaPC*, zda je již zapnutý stolní počítač. Pokud je hodnota proměnné rovna nule je počítač vypnutý a je volána funkce *zapnu\_PC()*. Pokud je již zapnutý a tedy hodnota *spotrebaPC* je větší než nula, je volána funkce *zapnu\_notebook()*. U projektů se dvěma dětmi se obdobně zapínají dva notebooky.

Příkon stolního počítače je pro každý simulační běh generován při vstupu prvního agenta do simulace funkcí *randomPrikonPC* v intervalu 100–500 W a ukládán do proměnné *prikonPC*. Zároveň je generován i příkon obrazovky počítače funkcí *randomPrikonPCobrazovka* a to v intervalu 20 – 30W a je ukládán do proměnné *prikonPC\_obrazovka*. Příkon notebooku je generován funkcí *randomPrikonNotebook* v intervalu 30–60 W.

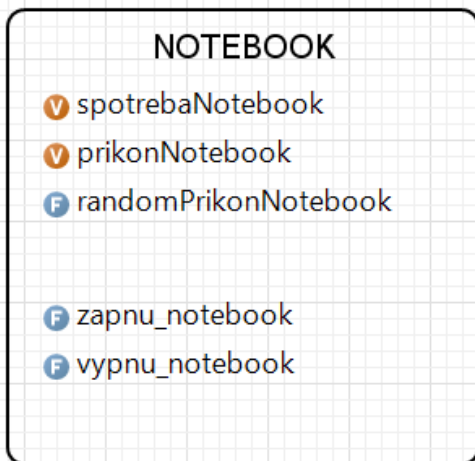


Obrázek 27 Počítač – používané proměnné a funkce.

Funkce *zapnu\_PC()* přičte hodnotu proměnné *prikonPC* k proměnným *spotrebaPC* a *spotreba*. Zároveň přičte také hodnotu proměnné *prikonPC\_obrazovka* k hodnotě proměnné *spotrebaPC\_obrazovka* a proměnné *spotreba*. U funkce *vypnu\_PC()* se obdobně hodnoty odečítají tak, aby hodnoty proměnných *spotrebaPC* a *spotrebaPC\_obrazovka* byly rovny nule.

	délka běhu (ze 30 min)	příkon	standby
set-top-box	30 min	3–8 W	0,5 W
TV obrazovka	30 min	60–120 W	
počítač	30 min	100–500 W	
PC obrazovka	30 min	20–30 W	
vysavač	10–30 min	800–1500 W	

Tabulka 9 Tabulka nastavení spotřebičů – televize, počítač, vysavač.



Obrázek 28 Notebook – používané proměnné a funkce.

Funkce `zapnu_notebook()` přičte k hodnotě proměnné `spotrebaNotebook` a k proměnné `spotreba` hodnotu proměnné `prikonNotebook`. Pokud je volána funkce `vypnu_notebook()` ta obdobně hodnotu `prikonNotebook` odečte.

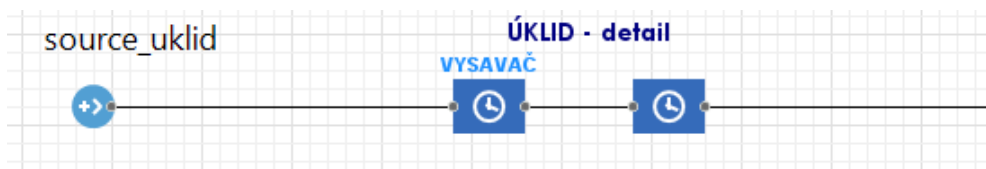
Po 30 minutách agent tento blok *na počítači* opouští a je volána funkce `vypnu_PC()` a pokud je zapnutý i notebook, je volána ještě funkce `vypnu_notebook()`.

Stejně jaké u stolního počítače uvažujeme konstantní příkon spotřebiče při jeho spuštění.

### 4.1.3 Úklid

Předpokládáme, že v domácnosti je právě jeden vysavač a uklízí pouze dospělé osoby. Uklízet může více osob najednou, ale ke spuštění vysavače během jednoho intervalu dojde pouze jednou.

**úklid** Při vstupu do funkčního bloku `úklid` je volána funkce `source_uklid.inject()`, která spustí blokové schéma pro úklid označené jako `ÚKLID – detail`. Při spuštění tohoto blokového schématu je generována délka běhu vysavače funkcí `randomIntervalVysavani` a to v rozmezí 10 – 30 minut. Vygenerovaná hodnota je ukládána do proměnné `intervalVysavani` a ovlivňuje délku bloku `VYSAVAČ`. Při vstupu do bloku `VYSAVAČ` dochází k volání funkce `zapnu_vysavac()`. Po uplynutí doby dané proměnnou `intervalVysavani` je volána funkce `vypnu_vysavac()`. Následující funkční blok pouze dorovná dobu úklidu do 30 minut – tedy znázorňuje dobu, kdy dospělý ještě uklízí, ale už nepoužívá vysavač.



Obrázek 29 Blokové schéma pro úklid



Obrázek 30 Vysavač – používané proměnné a funkce

Příkon vysavače je generován při jeho spuštění funkcí `randomPrikonVysavac` v intervalu 800–1500 W. Vygenerovaná hodnota je ukládána do proměnné `prikonVysavac`.

Funkce `zapnu_vysavac()` přičte hodnotu proměnné `prikonVysavac` k proměnné `spotreba` a k proměnné `spotrebaVysavac`. Funkce `vypnu_vysavac()` obdobně hodnoty odečítá.

#### 4.1.4 Příprava jídla

Předpokládáme, že o přípravu jídla se starají dospělí obyvatelé domácnosti. Vařit může více dospělých, ale spotřebiče se pouští vždy jen jednou – resp. blokové schéma bude spuštěno pro jeden půlhodinový interval pouze jednou.



Při vstupu do funkčního bloku *příprava jídla* je ověřováno, zda již blokové schéma pro přípravu jídla neběží. Pokud proměnná *vareni\_bool* nabývá hodnoty *false*, vaření právě teď ještě neprobíhá a je volána funkce *source\_vareni.inject()*, která blokové schéma pro vaření spustí.

Hodnoty příkonu spotřebičů jsou generovány při každém spuštění blokového schématu pro vaření. Pro troubu je funkcí *randomPrikonTrouba* generován příkon v intervalu 2,5–3,5 kW a hodnota je ukládána do proměnné *prikonTrouba*. Pro vařič je funkcí *randomPrikonVaric* generován příkon v intervalu 2–8 kW a hodnota je ukládána do proměnné *prikonVaric*. Pro digestoř je hodnota generována v intervalu 110–250 W funkcí *randomPrikonDigestor* a ukládána do proměnné *prikonDigestor*. Pro rychlovarnou konvici je hodnota generována v rozmezí 2–2,4 kW funkcí *randomPrikonRychlovarka* a hodnota je ukládána do proměnné *prikonRychlovarka*. Příkon mikrovlnné trouby je generován v intervalu 700–1500 W funkcí *randomPrikonMikrovlna* a hodnota je ukládána do proměnné *prikonMikrovlna*.

Funkce *zapnu\_xxx()*, kde *xxx* je daný kuchyňský spotřebič vždy přičítá hodnotu proměnné *prikonxxx* k proměnné *spotrebaxxx* a zároveň k proměnné *spotreba*. U mikrovlnné trouby dochází nejprve ještě k odečtení standby hodnoty spotřebiče, která je stanovena na 0,5 W. Funkce *vypnu\_xxx()* hodnotu *prikonxxx* odečítá od hodnot proměnných *spotrebaxxx* a *spotreba*. U funkce *zapnu\_varic()* dochází k přičtení jak hodnot pro varnou desku, tak pro digestoř. Obdobně pak u funkce *vypnu\_varic()* se odečítají obě hodnoty.

VAŘENÍ				
TROUBA	VARNÁ DESKA	DIGESTOŘ	RYCHLOVARNÁ KONVICE	MIKROVLNNÁ TROUBA
⓪ spotrebaTrouba	⓪ spotrebaVaric	⓪ spotrebaDigestor	⓪ spotrebaRychlovarka	⓪ spotrebaMikrovlna
⓪ prikonTrouba	⓪ prikonVaric	⓪ prikonDigestor	⓪ prikonRychlovarka	⓪ prikonMikrovlna
Ⓜ randomPrikonTrouba	Ⓜ randomPrikonVaric	Ⓜ randomPrikonDigestor	Ⓜ randomPrikonRychlovarka	Ⓜ standbyMikrovlna
Ⓜ zapnu_troubu	Ⓜ zapnu_varic		Ⓜ zapnu_rychlovarku	Ⓜ randomPrikonMikrovlna
Ⓜ vypnu_troubu	Ⓜ vypnu_varic		Ⓜ vypnu_rychlovarku	Ⓜ zapnu_mikrovlnu
	⓪ intervalVaric		⓪ intervalRychlovarka	Ⓜ vypnu_mikrovlnu
	Ⓜ randomIntervalVaric		Ⓜ randomIntervalRychlovarka	⓪ intervalMikrovlna
				Ⓜ randomIntervalMikrovlna

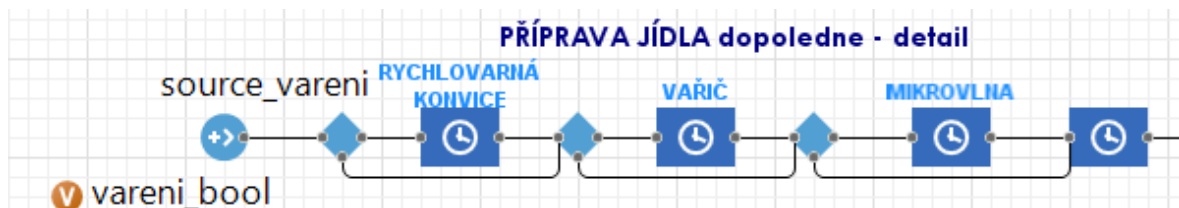
Obrázek 31 Vaření – používané proměnné a funkce.

Rozlišujeme přípravu jídla během dopoledne (snídaně) a po zbytek dne (oběd a večeře).



#### 4.1.5 Dopolední vaření

Dopolední vaření předpokládáme od půlnoci do jedenácti hodin dopoledne. Předpokládáme, že v této době uživatel pravděpodobně připravuje snídani a je tedy celý proces vaření jednodušší než pro oběd nebo večeři.



Obrázek 32 Blokové schéma pro dopolední přípravu jídla.

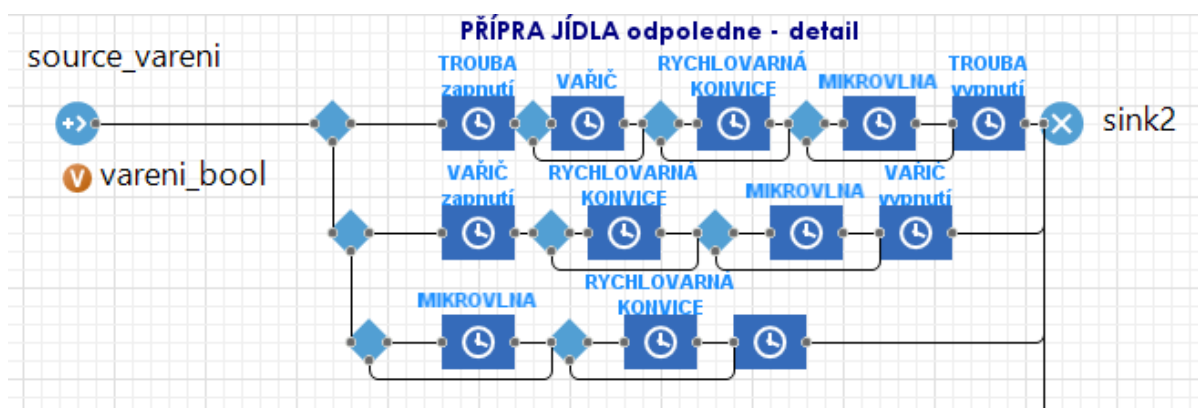
Předpokládáme, že je 95 % pravděpodobnost, že uživatel během 30minutového intervalu vaření zapne rychlovarnou konvici na 2-6 minut, dále pak předpokládáme pravděpodobnost 5 %, že zapne vařič na 10-20 minut a z 10 % poté zapne mikrovlnnou troubu na 1-4 minuty. Předpokládáme tedy, že spínání spotřebičů není paralelní, ale postupné. Poslední blok za blokem *mikrovlna* zajišťuje dopočet času aktivity do 30 minut.

spotřebič	příkon	standby	délka běhu dopoledne
trouba	2500–3500 W		
varná deska	2000–8000 W		10–20 min
digestoř	110–250 W		10–20 min
rychlovarná konvice	2000–2400 W		2–6 min
mikrovlnná trouba	700–1500 W	0,5 W	1–4 min
			celkem max. 30 min

Tabulka 10 Dopolední vaření – nastavení spotřebičů.

#### 4.1.6 Polední a odpolední vaření

Polední a odpolední vaření předpokládáme od jedenácti hodin dopoledne po celý zbytek dne. Předpokládáme, že v této době uživatel pravděpodobně připravuje oběd nebo večeři.



Obrázek 33 Blokové schéma pro polední a odpolední přípravu jídla.

Oproti dopolednímu vaření uvažujeme možnost spuštění více spotřebičů zároveň. Předpokládáme, že pravděpodobnost, že k vaření použije uživatel troubu je 10 %. Trouba pak běží po celou dobu intervalu. V intervalu 0-5 minut po zapnutí trouby uvažujeme 50 % pravděpodobnost, že dojde i ke spuštění vařiče a to na 10-20 minut. Dále pak 30 % pravděpodobnost, že po vařiči zapne současně k troubě ještě rychlovarnou konvici na 2-6 minut a následně 20 % pravděpodobnost, že zapne mikrovlnnou troubu na 1–4 minuty.

Pokud se uživatel nerozhodne použít troubu, uvažujeme 60% pravděpodobnost, že zapne vaříč. Ten pak běží po celou dobu intervalu. V intervalu 0-5 minut po zapnutí vaříče uvažujeme pravděpodobnost 40 %, že uživatel k vaříči zapne na 2-10 minut rychlovarnou konvici a následně 20 % pravděpodobnost, že zapne ještě na 1-10 minut mikrovlnnou troubu.

Pokud uživatel nepoužije ani troubu ani vaříč předpokládáme, že ze 70 % použije k přípravě jídla mikrovlnnou troubu na 1-15 minut a poté z 50 % použije na 2-10 minut rychlovarnou konvici.

Na konci každé větve blokového schématu pro vaření je blok, který zajišťuje dopočet do 30 minut intervalu.

spotřebič	příkon	standby	odpoledne - s troubou	odpoledne - s vaříčem	odpoledne - mikro/rych
trouba	2500–3500 W		30 min		
varná deska	2000–8000 W		10–20 min	30 min	
digestoř	110–250 W		10–20 min	30 min	
rychlovarná konvice	2000–2400 W		2–6 min	2–10 min	2–10 min
mikrovlnná trouba	700–1500 W	0,5W	1–4 min	1–10 min	1–15 min
			celkem max. 30 min	celkem max. 30 min	

Tabulka 11 Polední a odpolední vaření – nastavení spotřebičů.

## 4.2 SPOTŘEBIČE – SIMULAČNÍ PROJEKT DOMÁCNOST

V projektu *Domácnost* jsou simulovány spotřebiče, které jsou užívány bez závislosti chování a rozhodování uživatele podle statistických dat. Jedná se o pračku, myčku, sušičku, lednici a modem. Podle počtu obyvatel domácnosti jsou měněny pravděpodobnosti zapnutí některých spotřebičů podle následujících tabulek.

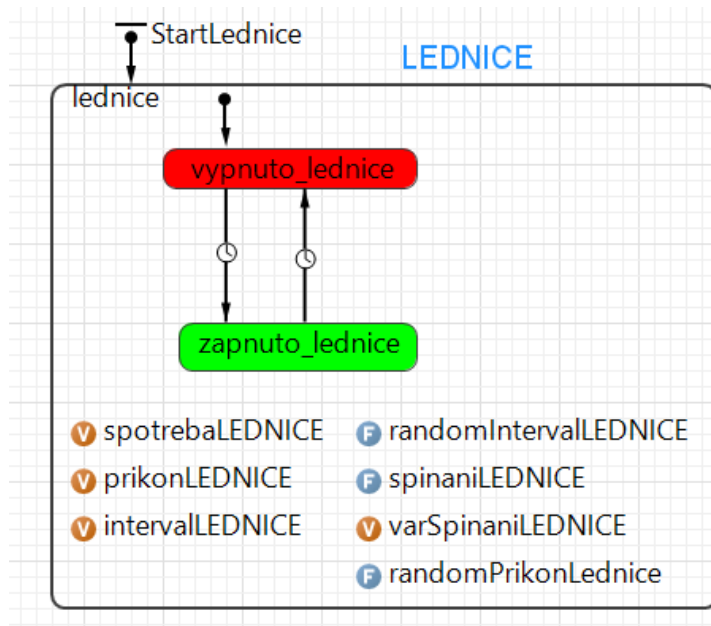
DOMÁCNOST – 2 dospělí + 2 děti					
spotřebič		pst	zapne se	délka běhu	příkon
Pračka	všední den	50 %	16:10-18:00	1,5 – 3 h	2,2-2,4 kW
	víkend	50 %	10:30-16:00		
Sušička	ze 20 % se sepne po pračce			2-3 h	0,8-1,5 kW
Myčka	všední den	70 %	17:10-20:00	2-3,5 h	1,3-1,6 kW
	víkend	70 %	10:30-19:00		
Lednice	každých 60-80 minut			15-24 min	80–100 W
Modem	trvale zapnutý			24 h/den	8-15 W

Tabulka 12 Domácnost – nastavení spotřebičů pro simulaci domácnosti se 2 dospělými a 2 dětmi.

DOMÁCNOST – 2 dospělí					
spotřebič		pst	zapne se	délka běhu	příkon
Pračka	všední den	30 %	16:10-18:00	1,5-3 h	2,2-2,4 kW
	víkend	30 %	10:30-16:00		
Sušička	ze 20 % se sepne po pračce			2-3 h	0,8-1,5 kW
Myčka	všední den	40 %	17:10-20:00	2-3,5 h	1,3-1,6 kW
	víkend	40 %	10:30-19:00		
Lednice	každých 60-80 minut			15-24 min	80–100 W
Modem	trvale zapnutý			24 h/den	8-15 W

Tabulka 13 Domácnost – nastavení spotřebičů pro simulaci domácnosti se 2 dospělými.

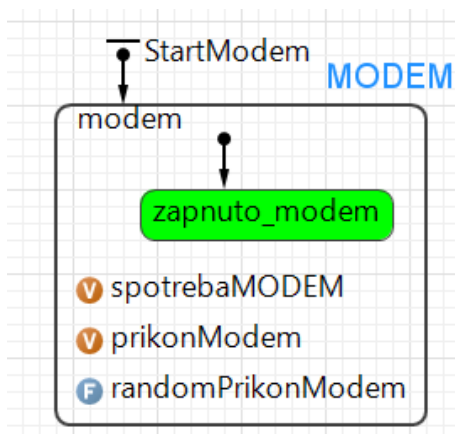
#### 4.2.1 Lednice



Obrázek 34 Lednice – používané proměnné a funkce

minut. Maximální příkon lednice je stanovený proměnnou *prikonLEDNICE*, která je generována pouze při prvním spuštění funkcí *randomPrikonLednice* v mezích 80-100 W a následně zůstává po celý simulační běh stejná. Při sepnutí lednice je tato hodnota příkonu přičtena jak k proměnné *spotrebaLEDNICE*, tak k celkové hodnotě aktuálního příkonu v celém simulačním projektu, který je ukládán v proměnné *spotreba*. Při vypnutí je od stejných proměnných odečtena.

#### 4.2.2 Modem



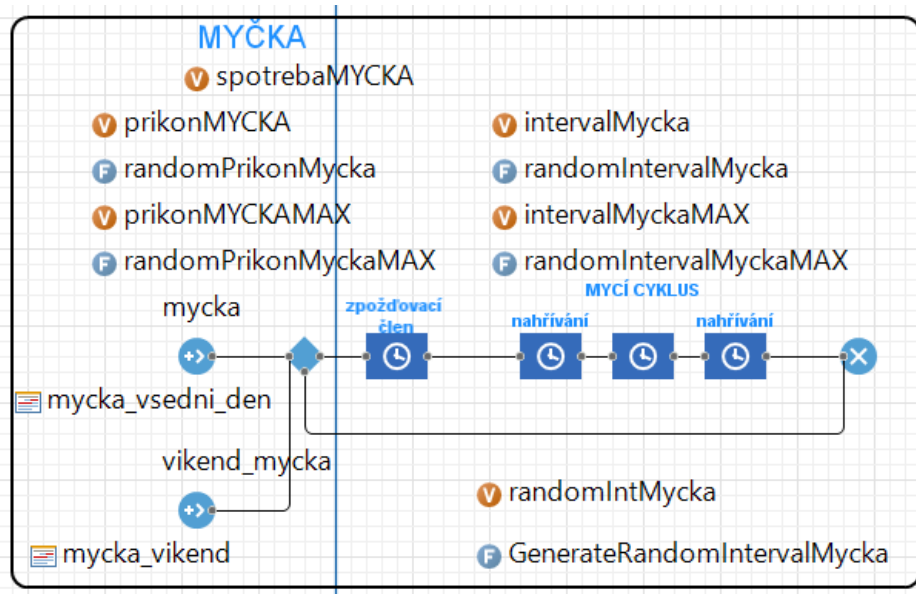
Obrázek 35 Modem – používané proměnné a funkce

Předpokládáme, že v domácnosti nedochází k zapínání a vypínání modemu a běží tedy nepřetržitě. Při spuštění simulace se vygeneruje funkcí *randomPrikonModem* hodnota maximálního příkonu spotřebiče v mezích stanovených na základě měření mezi 6-15 W. Tato hodnota je uložena do proměnné *prikonModem* a po celou dobu simulace zůstává konstantní. Zanedbáváme výkyvy příkonu spotřebiče při vytížení.

Tato hodnota příkonu je přičtena při spuštění k proměnné *spotrebaMODEM* a zároveň je přičtena k celkové hodnotě aktuálního příkonu v celém simulačním projektu, který je ukládán v proměnné *spotreba*. Při vypnutí je od stejných proměnných odečtena.

### 4.2.3 Myčka

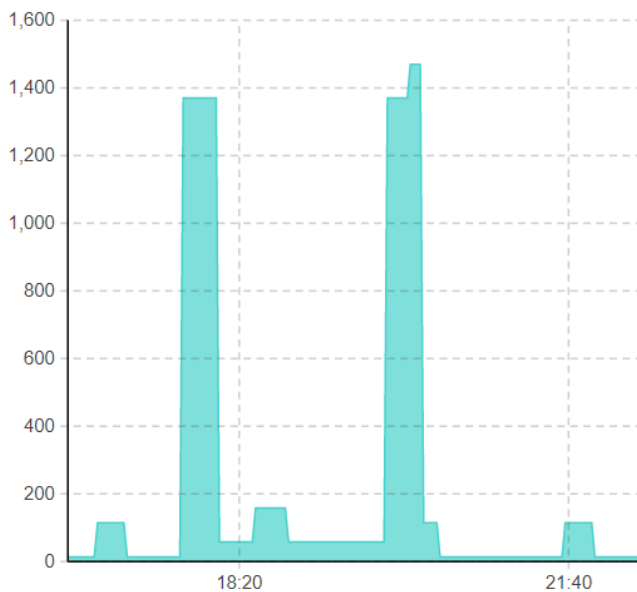
Podle dat českého statistického úřadu předpokládáme, že většina českých domácností má doma myčku [21]. U myčky dochází k rozlišování, zda se jedná o všední den, kdy může být spuštěna po 17 h anebo, zda se jedná o víkend, kdy může dojít ke spuštění už po 10 h. Předpokládáme, že daný den dochází ke spuštění myčky v 70 % případů u čtyřčlenné domácnosti a ve 40 % u dvoučlenné domácnosti. Předpokládáme, že dochází maximálně k jednomu spuštění myčky za den.



Obrázek 36 Myčka – blokové schéma, používané proměnné a funkce

Pro každý nový běh je generováno zpoždění spuštění spotřebiče funkcí *GenerateRandomIntervalMycka*, které je generováno v intervalu 10–180 minut pro všední den a 30–540 minut pro víkend a vygenerovaná hodnota je ukládána do proměnné *randomIntMycka*. Jedná se o zpoždění, kdy je myčka spuštěna po 17 h ve všední den, resp. po 10 h o víkendu. Tato hodnota zpoždění je v blokovém schématu znázorněna zpoždovacím členem. Délka mycího cyklu je generována při každém spuštění funkcí *randomIntervalMycka* v mezích 120–210 minut a je ukládána do proměnné *intervalMycka*.

Vzhledem ke komplikovanému průběhu příkonu spotřebiče během mycího cyklu, bylo provedeno jeho zjednodušení. Na základě měření se předpokládá, že každý mycí cyklus začíná fází nahřívání a rovněž toto nahřívání proběhne ještě jednou ke konci cyklu. Během tohoto nahřívání dochází k maximálnímu příkonu spotřebiče během cyklu a mezi těmito dvěma maximálními odběry je příkon spotřebiče přibližně konstantně velmi malý. Při spuštění spotřebiče v simulačním běhu tedy dochází k vygenerování hodnoty maximálního příkonu spotřebiče během nahřívání funkcí *randomPrikonMyckaMAX*, který je generován v intervalu 1,3–1,6 kW a hodnota je ukládána do proměnné *randomPrikonMyckaMAX*. Zároveň je generována i délka intervalu jednoho peaku mycího cyklu funkcí *randomIntervalMyckaMAX* v mezích 17–22 minut a je ukládána do proměnné *intervalMyckaMAX*. Dále je také při každém spuštění náhodně generován příkon mezi dvěma peaky nahřívání funkcí *randomPrikonMycka* v intervalu 30-100 W a tato hodnota je ukládána do proměnné *prikonMYCKA*.



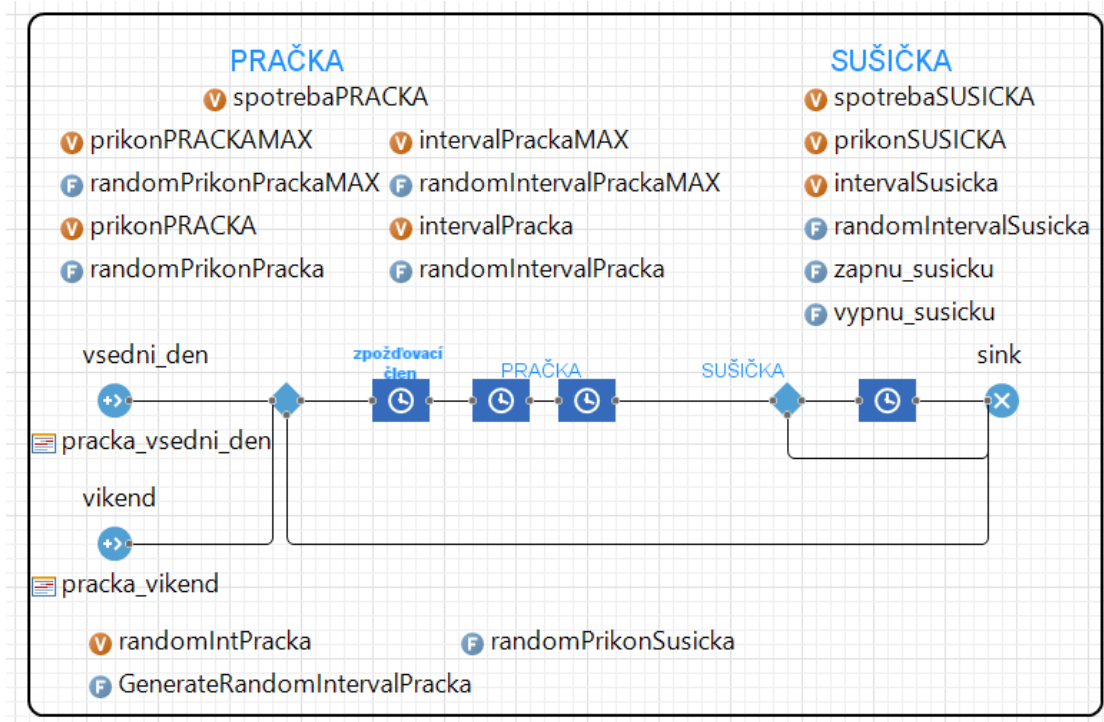
● Příkon

Obrázek 37 Typický průběh mycího cyklu (v průběhu je rovněž zaznamenáno opakované spínání lednice) - na ose x je vyznačen čas v daný den a na ose y je aktuální příkon ve W.

Pokud je tedy myčka během simulace zapnuta, proběhne nejprve 17-22 minut nahřívání, kdy se *spotrebaMYCKA* a *spotreba* celého simulačního projektu zvýší o hodnotu *prikonMYCKAMAX*. Následně je tato hodnota *spotrebaMYCKA* snížena na hodnotu proměnné *prikonMYCKA*. Posledních 17-22 minut mycího cyklu dojde opět k navýšení hodnoty příkonu na hodnotu *prikonMYCKAMAX*.

#### 4.2.4 Pračka a sušička

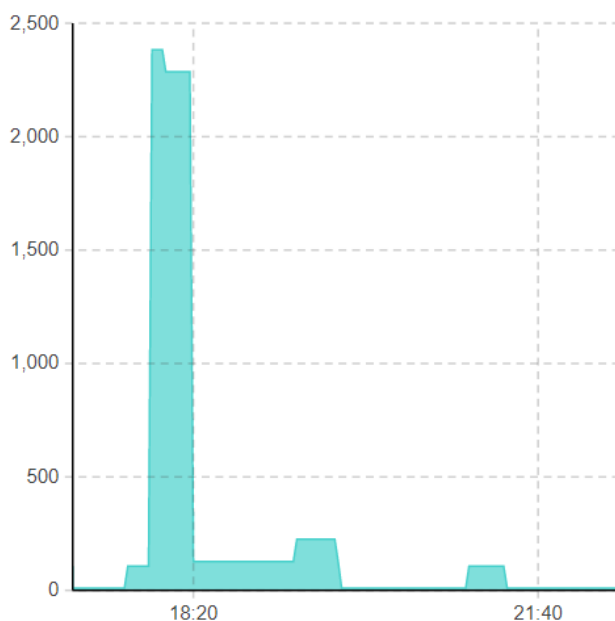
Podle dat českého statistického úřadu předpokládáme, že většina českých domácností má doma pračku a 20 % domácností vlastní navíc i sušičku [21]. U pračky, podobně jako u myčky dochází k rozlišování, zda se jedná o všední den, kdy může být spuštěna po 16 h anebo, zda se jedná o víkend, kdy může dojít ke spuštění už po 10 h. Předpokládáme, že daný den dochází ke spuštění pračky v 50 % případů u čtyřčlenné domácnosti a ve 30 % u dvoučlenné domácnosti. Předpokládáme, že dochází maximálně k jednomu spuštění pračky za den.



Obrázek 38 Pračka a sušička – blokové schéma, používané proměnné a funkce

Obdobně jako u myčky je třeba pro účely simulace prací cyklus zjednodušit. Stejně jako u myčky se během cyklu objevují špičky, kdy spotřebič dosahuje maximálního příkonu. Tato špička se objevuje zpravidla na začátku cyklu a pak se ještě může opakovat v závislosti na typu pracího cyklu. Pro účely simulace cyklus zjednodušujeme tak, že uvažujeme jen jednu špičku maximálního příkonu, a to na začátku cyklu. Její délka může být ale různá, a tak může obsáhnout i maxima, která přijdou až např. v druhé polovině pracího cyklu.

Stejně jako u myčky obsahuje blokové schéma zpoždovací člen, jehož délka je stanovena proměnnou *randomIntPracka*, která je generována při funkci *GenerateRandomIntervalPracka* v intervalu 10–120 minut ve všední den a 30–360 minut o víkendu. Jedná se o zpoždění zapnutí pračky po 16 h ve všední den, respektive po 10 h o víkendu. Dále je také při spuštění spotřebiče generována hodnota maximálního příkonu spotřebiče v intervalu 2,2–2,4 kW funkcí



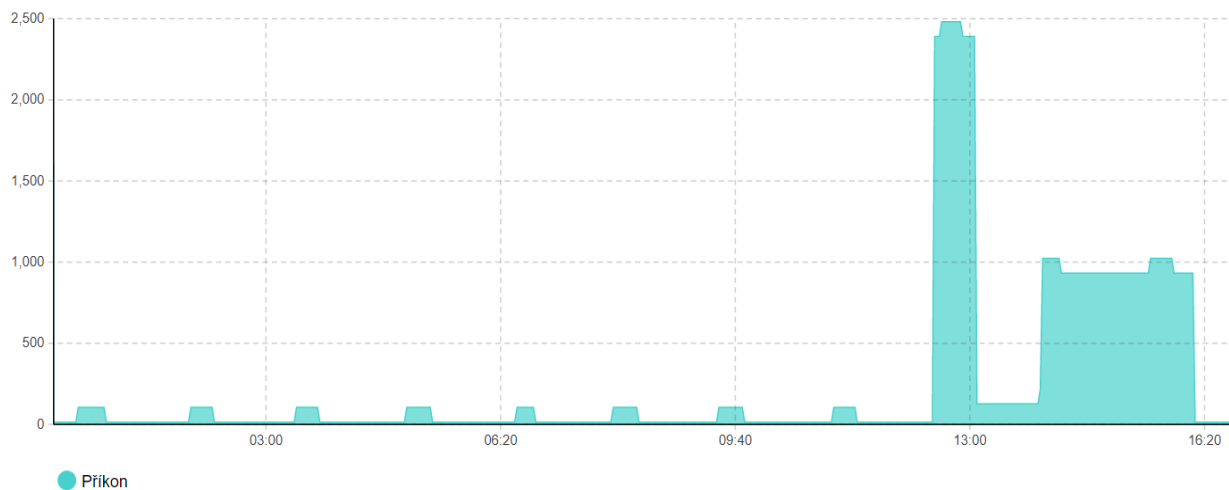
● Příkon

Obrázek 39 Typický průběh pracího cyklu (v průběhu je rovněž zaznamenáno spínání lednice) - na ose x je vyznačen čas v daný den a na ose y je aktuální příkon ve

*randomPrikonPrackaMAX* a ukládána je do proměnné *prikonPRACKAMAX*. Délka intervalu, kdy dochází k maximálnímu příkonu spotřebiče je generována v intervalu 15–40 minut funkcí *randomIntervalPrackaMAX* a ukládána je do proměnné *intervalPrackaMAX*. Hodnota příkonu pračky po zbylý prací cyklus je generována v intervalu 50–150 W funkcí *randomPrikonPracka* a ukládána do proměnné *prikonPRACKA*.

Pokud je tedy pračka během simulace zapnuta, proběhne nejprve 15-40 minut nahřívání, kdy se *spotrebaPRACKA* a *spotreba* celého simulačního projektu zvýší o hodnotu *prikonPRACKAMAX*. Následně je tato hodnota *spotrebaPRACKA* snížena po zbytek pracího cyklu na hodnotu proměnné *prikonPRACKA*.

Podle českých statistických dat víme, že 20 % domácností vlastní sušičku [21]. Pro jednoduchost počítáme tedy s tím, že po doprání pračky ve 20 % případů je zapnuta sušička. Vzhledem k tomu, že sušička udržuje trvale vysokou teplotu, dochází během průběhu spotřeby sušícího cyklu k neustále oscilaci mezi minimální a maximální hodnotou příkonu. Pro simulaci tedy uvažujeme průměrnou konstantní hodnotou příkonu po celou dobu sušícího cyklu. Tato hodnota příkonu je generována v intervalu 0,8–1,5 kW funkcí *randomPrikonSusicka* a je ukládána do proměnné *prikonSUSICKA*. Náhodně generována je délka jednoho cyklu, a to funkcí *randomIntervalSusicka* v intervalu 120–180 minut a vygenerovaná hodnota je ukládána do proměnné *intervalSusicka*. Při spuštění sušičky dochází ke přičtení hodnoty proměnné *prikonSUSICKA* k proměnné *spotrebaSUSICKA* a zároveň k celkové hodnotě *spotreba*. Po skončení běhu sušičky jsou hodnoty odečteny.



Obrázek 40 Průběh pracího cyklu, po kterém byla zapnutá sušička (v průběhu je rovněž zaznamenáno spínání lednice) - na ose x je vyznačen čas v daný den a na ose y je aktuální příkon ve W.



## 5 VÝSLEDKY SIMULAČNÍCH BĚHŮ

Program Anylogic dovoluje zapisování dat ze simulačního běhu do své databáze. Této funkcionality bylo využito pro ukládání hodnoty proměnné *spotřeba* a to s krokem dvou minut. Bohužel není možné v jednom simulačním běhu zaznamenat víc než 1000 hodnot. Bylo tedy nutné, aby každá simulace pro každý jeden den byla spuštěna a uložena ručně. Takto bylo provedeno celkem 1200 simulačních běhů – v každém projektu došlo ke 100 simulačních běhů, až na projekt *Domácnost* – tam bylo simulačních běhů provedeno 400 pro různé konfigurace (100 simulačních běhů pro konfiguraci 2 dospělí víkend, 100 simulačních běhů pro konfiguraci dva dospělí všední den, 100 simulačních běhů pro konfiguraci dva dospělí a dvě děti víkend, 100 simulačních běhů pro konfiguraci dva dospělí a dvě děti víkend).

Jednotlivé zápisy do databáze byly exportovány do tabulek v excelu a následně byly přkopírovány do jednotné tabulky, která je dostupná v příloze této práce pod názvem *zpracovani\_simulace\_final*.

### 5.1 DOMÁCNOST SE DVĚMA PRACUJÍCÍMI DOSPĚLÝMI A DVĚMA DĚTMI

Z dat z proběhlých simulačních běhů byla spočítána průměrná spotřeba každé dvě minuty všedního dne a následně byla data přepočtena na celkovou denní spotřebu. Pro domácnost, jejíž obyvateli jsou dva pracující dospělí a dvě děti ve věku 10-17 let vyšla průměrná hodnota denní spotřeby ve všední den na 5,57 kWh a o víkendu na 7,89 kWh.

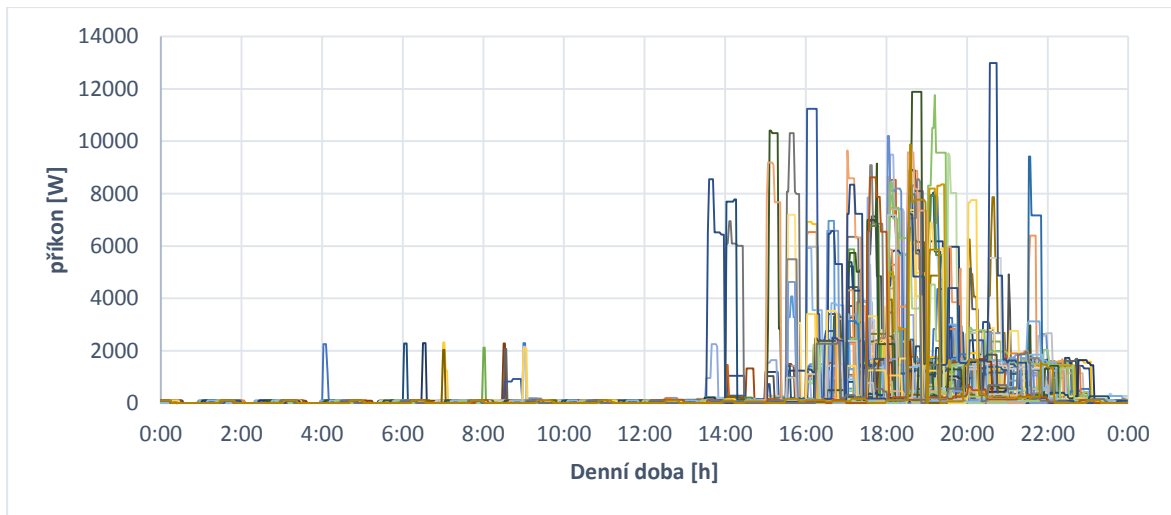
	Průměrná spotřeba za den
Všední den	5,57 kWh
Víkend	7,89 kWh

*Tabulka 14 Výsledky simulace – průměrná denní spotřeba pro typickou domácnost se dvěma dospělými a dvěma dětmi. (zdroj: autor)*

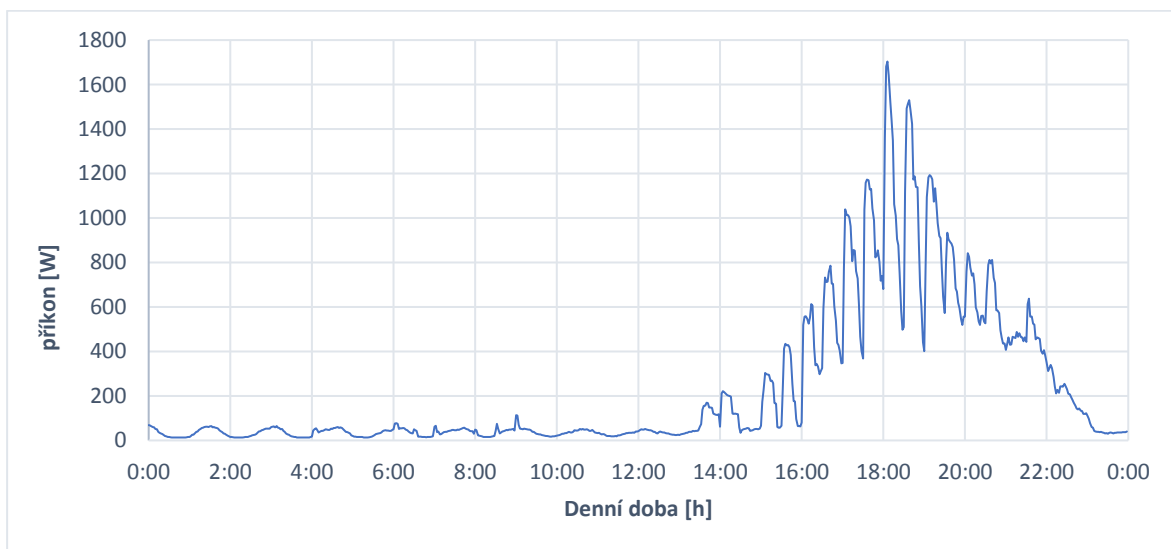
### 5.1.1 Všední den

Abychom dostali celková ucelená data o spotřebě energie čtyřčlenné domácnosti ve všední den, bylo potřeba sečíst data ze simulačních běhů pro všední dny – jak ze simulačních běhů pro dospělé, tak pro děti. Na závěr byla ještě přičtena data z projektu *Domácnost*, který byl nakonfigurován pro čtyřčlennou domácnost.

Získali jsme tak 100 průběhů pro tento typ domácnosti a jsou zaznamenány do grafu na obrázku číslo 41. Dále pak byla z dat simulací spočtena průměrná spotřeba, která je zaznamenána v grafu na obrázku číslo 42.



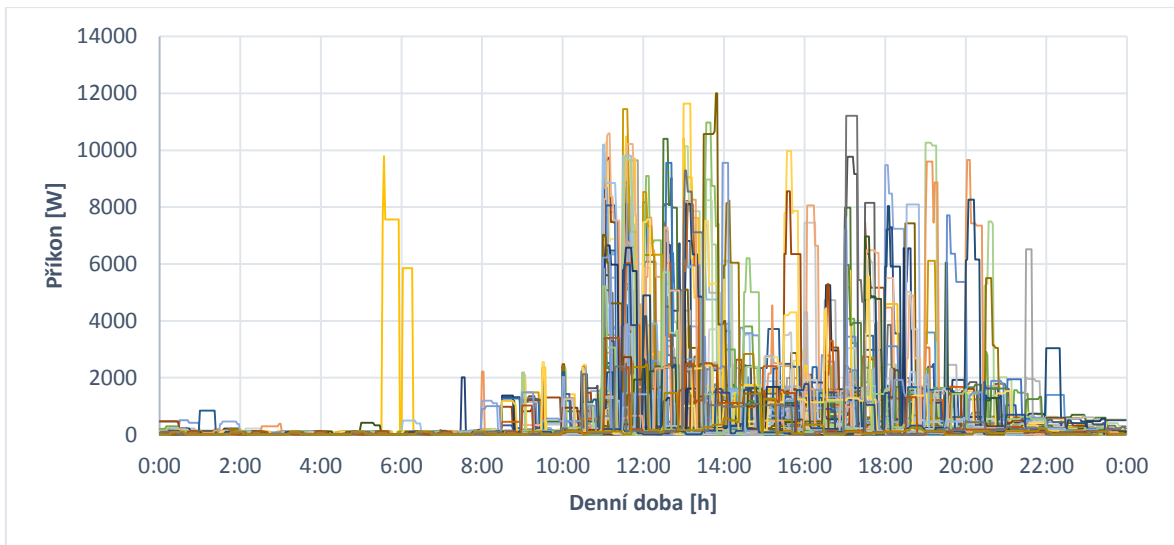
Obrázek 41 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – 100 simulačních běhů pro typický všední den – domácnost se dvěma dospělými a dvěma dětmi. (zdroj: autor)



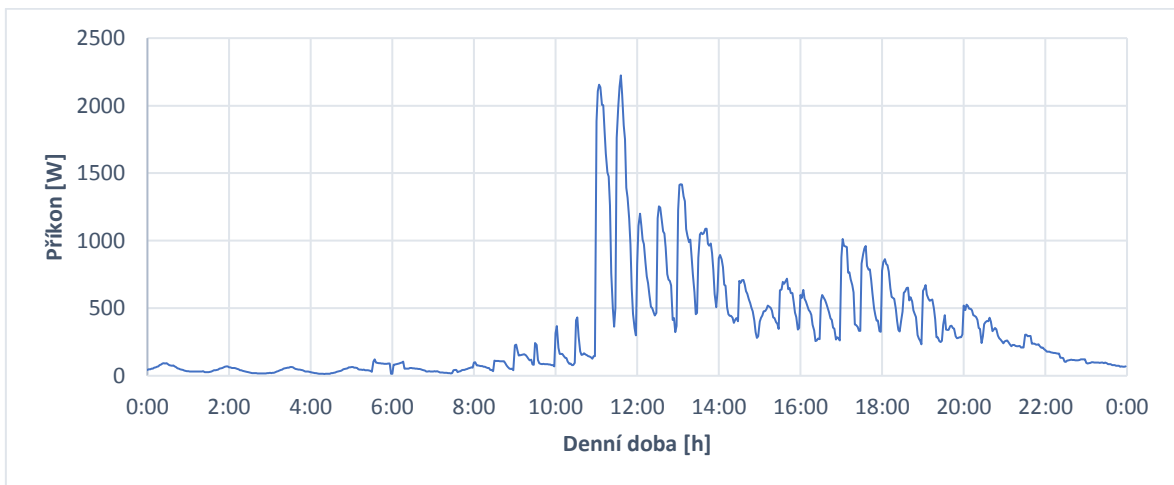
Obrázek 42 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – průměrná spotřeba pro typický všední den – domácnost se dvěma dospělými a dvěma dětmi. (zdroj: autor)

### 5.1.2 Víkend

Obdobně byla přepočtena data pro tuto typovou domácnost pro víkendové dny. Všechny 100 denních průběhů spotřeby energie bylo zaznamenáno do grafu na obrázku č. 43. Průměrná víkendová spotřeba je pak zaznamenána v grafu na obrázku č. 44.



Obrázek 43 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – 100 simulačních běhů pro typický víkendový den – domácnost se dvěma dospělými a dvěma dětmi. (zdroj: autor)



Obrázek 44 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – průměrná spotřeba pro typický víkendový den – domácnost se dvěma dospělými a dvěma dětmi. (zdroj: autor)

## 5.2 DOMÁCNOST SE DVĚMA PRACUJÍCÍMI DOSPĚLÝMI

Obdobně jako pro první typovou domácnost byla data z proběhlých simulačních běhů přepočtena na celkovou denní spotřebu. Pro tuto typovou domácnost, jejíž obyvateli jsou pouze dva pracující dospělí vyšla průměrná hodnota denní spotřeby ve všední den na 4,38 kWh a o víkendu na 6,61 kWh.

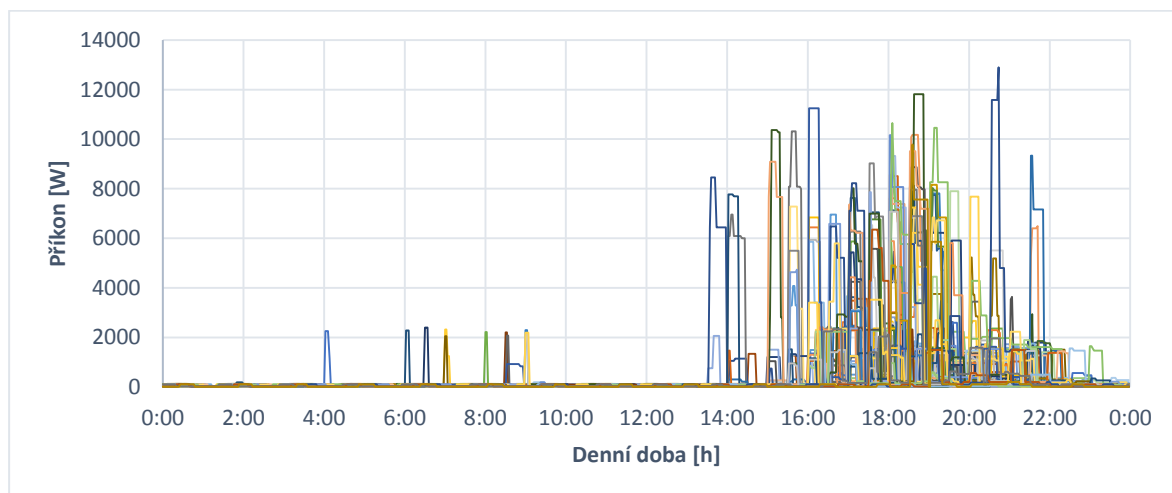
	Průměrná spotřeba za den
Všední den	4,38 kWh
Víkend	6,61 kWh

Tabulka 15 Výsledky simulace – průměrná denní spotřeba pro typickou domácnost se dvěma dospělými.

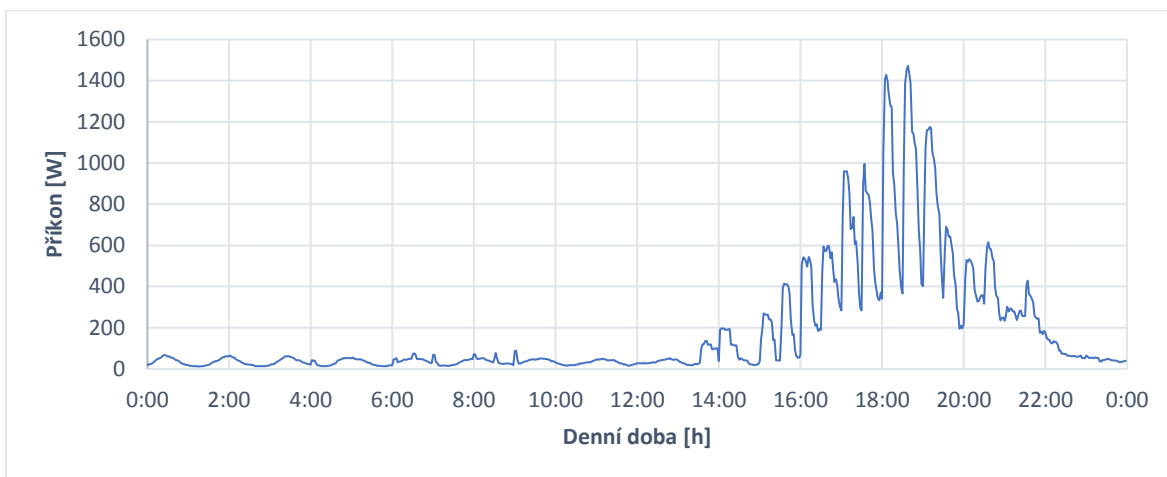
### 5.2.1 Všední den

Abychom dostali celková ucelená data o spotřebě energie dvoučlenné domácnosti ve všední den, bylo potřeba sečíst data ze simulačních běhů pro všední dny – tentokrát pouze ze simulačních běhů pro dospělé. Na závěr byla ještě přičtena data z projektu *Domácnost*, který byl nakonfigurován pro dvoučlennou domácnost.

Získali jsme tak 100 průběhů pro tento typ domácnosti a jsou zaznamenány do grafu na obrázku číslo 45. Dále pak byla z dat simulací spočtena průměrná spotřeba, která je zaznamenána v grafu na obrázku číslo 46.



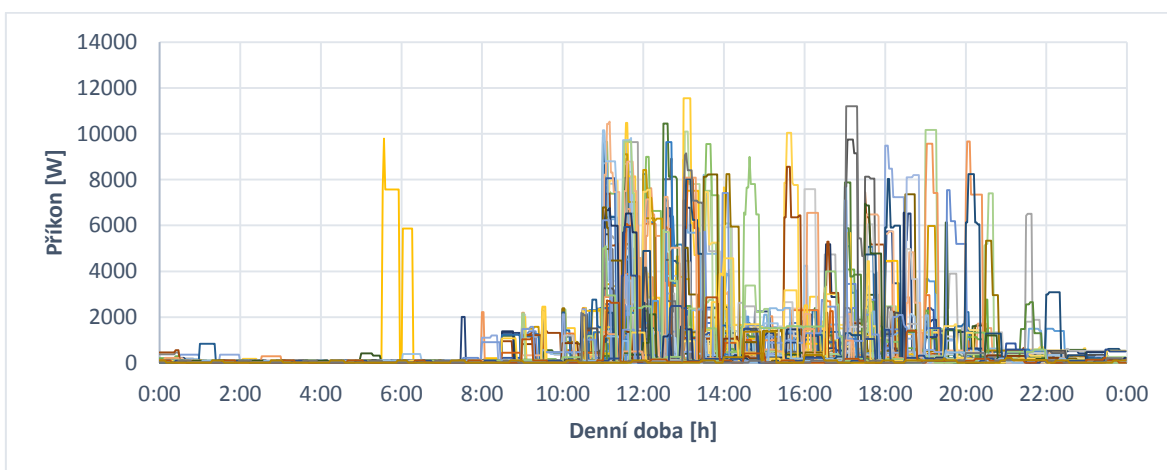
Obrázek 45 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – 100 simulačních běhů pro typický všední den – domácnost se dvěma dospělými.



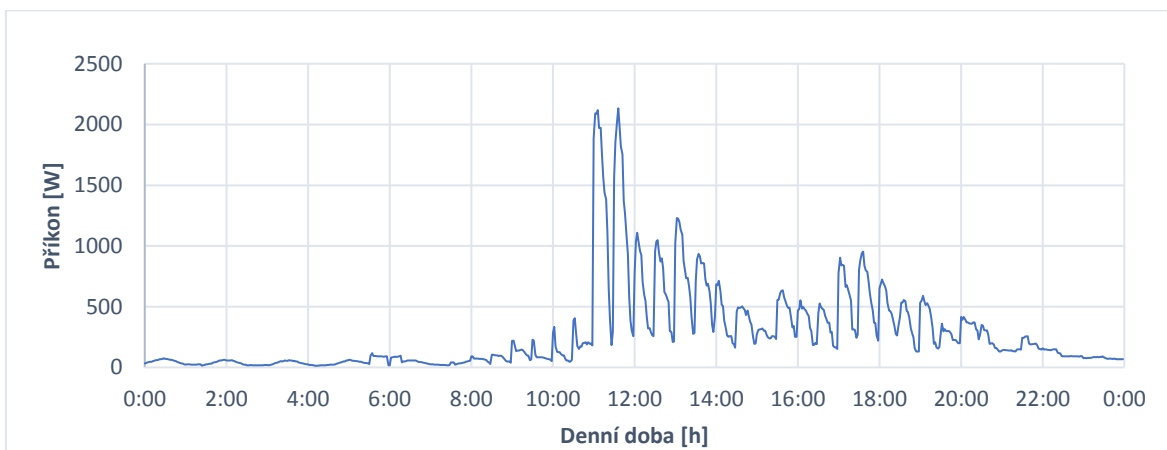
Obrázek 46 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – průměrná spotřeba pro typický všední den – domácnost se dvěma dospělými.

### 5.2.2 Víkend

Obdobně byla přepočtena data pro tuto typovou domácnost pro víkendové dny. Všechny 100 denních průběhů spotřeby energie bylo zaznamenáno do grafu na obrázku č 47. Průměrná víkendová spotřeba je pak zaznamenána v grafu na obrázku č 48.



Obrázek 47 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – 100 simulačních běhů pro typický víkendový den – domácnost se dvěma dospělými.



Obrázek 48 Graf spotřeby energie elektrických spotřebičů v domácnosti – průměrná spotřeba pro typický víkendový den – domácnost se dvěma dospělými.

## 6 DISKUSE

---

Na grafech průměrné spotřeby v předchozí kapitole můžeme sledovat poklesy odběru energie každou půlhodinu – to je způsobeno rozdělením úseků simulace na třicetiminutové intervaly mezi nimiž se uživatel znovu rozhoduje, jakou aktivitu zvolí pro následující interval. Reálně tyto poklesy v odběru pravděpodobně nebudou.

Dále můžeme na průměrných grafech denní spotřeby pozorovat především dopoledne téměř periodicky se opakující vlnu, která je způsobena spínáním lednice. Pokud bychom provedli dostatečné množství simulací, byla by tato periodičita vyhlazena.

U víkendového grafu pozorujeme výrazný nárůst příkonu před polednem, kdy je patrně připravován víkendový oběd. Následně kolem druhé hodiny dochází k mírnému poklesu a večer opět spotřeba naroste. Předpokládáme, že je to způsobené přípravou večeře a sledováním televize.

Pokud porovnáme průměrné grafy denní spotřeby pro obě typové domácnosti všimneme si, že se ve svém tvaru moc neliší. To je způsobeno pravděpodobně tím, že některé výkonné spotřebiče, které způsobují špičky v průběhu spotřeby, jsou pro zjednodušení simulace ovládány jen dospělými – např. kuchyňské spotřebiče.

Je pravděpodobné, že profil denní spotřeby ve všední den se bude lišit podle typu domácnosti – pokud tedy budeme uvažovat např. matku na mateřské dovolené, bude profil pro všední den odlišný než pro domácnost, kde oba dospělí dochází do zaměstnání. Stejně tak se bude lišit profil spotřeby domácnosti, jejíž obyvatelé jsou lidé důchodového věku. U těchto typů domácností lze předpokládat, že odběr energie bude nabývat vyšších hodnot již během dne, nikoliv až v odpoledních hodinách, jako je to u pracujících dospělých, kteří jsou přes den v zaměstnání.

U výsledků simulace je uvedeno, že platí pro dospělé pracující osoby. Avšak lze předpokládat, že profil bude podobný např. pro osoby studující vysoké školy, které místo práce tráví čas přes den ve škole.

Spočtená průměrná denní spotřeba, která byla stanovena na základě výsledků ze simulačních dat, byla srovnávána s reálnou spotřebou několika stejných typových domácností. Jedna z čtyřčlenných rodin uvedla, že jejich průměrná spotřeba je ve všední přibližně 6 kWh. O víkendu pak 9 kWh. Dvoučlenná domácnost zase uvedla svou průměrnou denní spotřebu ve všední den 5,4 kWh. Všechna získaná data se velmi blížila spočtené spotřebě na základě simulací, ve většině případů byla spočtená spotřeba o něco nižší. To je způsobeno tím, že v simulaci uvažujeme odběr pouze několika základními spotřebiči a neuvažujeme elektřinu např. spotřebovanou na osvětlení, přípravu teplé vody atp. V době, kdy byla tato práce psána, byla v naší republice vyhlášena karanténa, a proto data pro všední den v tomto období vykazovala spíše charakter víkendu, protože většina lidí po dobu nouzového stavu zůstávala pracovat z domova.

Pokud sledujeme graf, ve kterém jsou zaznamenány průběhy všech simulačních běhů vidíme, že některé špičky dosahují hodnot příkonu až 12 kW. Je třeba brát v potaz, že se jedná o simulační data, kde je nenulová pravděpodobnost, že dojde ke spuštění několika náročných spotřebičů s vysokým příkonem najednou. V domácnosti jsou tyto náročné spotřebiče (např. vařič) zapojeny na vlastní jistič. V reálném životě je malá pravděpodobnost, že tyto náročné spotřebiče budeme mít zapnuté najednou, avšak stejně jako v simulaci, není tato pravděpodobnost ani v realitě nulová. Je ale vidět, že se jedná o jednotky případů, kdy k tomu během simulace došlo a průměrná spotřeba již dosahuje maxim okolo 1,5 – 2 kW v závislosti na typu dne a domácnosti.

Pokud budeme srovnávat průměrný graf denní spotřeby elektrické energie s grafem na obrázku číslo 7, který zobrazuje šedou čarou průměrné hodnoty spotřeby energie na základě měření jedné domácnosti, vidíme, že kromě dopoledne profil spotřeby přibližně souhlasí – pro všední den po obědě postupně roste odebíraný příkon až do večera. Simulovaný průběh vykazuje vyšší výchylku večerního odběru energie. Dopolední maximum u změřeného profilu může být způsoben jinými ranními zvyklostmi ve státu, kde probíhalo měření, než jaké má běžný český obyvatel. Navíc se jedná o graf, ve kterém není rozlišován typ dne – jedná se o průměrný graf za dva roky každodenního měření.

Dále můžeme graf průměrné denní spotřeby srovnávat s grafem z modelu CREST, který je na obrázku číslo 10. Je ale zřejmé, že zatímco tento graf z modelu CREST pracuje se všemi typovými domácnostmi a z nich stanovuje průměrný denní profil, simulace v této práci se zabývá jen konkrétními typovými domácnostmi. Proto jsou profily zcela odlišné především během dopoledne, kdy u profilu z modelu CREST pozorujeme vyšší odběr energie i během dopoledne, zatímco u výsledků modelu této práce jsou v této době dospělí pracující ve svém zaměstnání, a tedy nedochází ke výrazné spotřebě v domácnosti. Během odpoledne dochází v simulovaném průběhu spotřeby z modelu CREST k maximálnímu odběru přibližně mezi 18-22 h s hodnotou dosahující 0,8 kW. To je při srovnání s výsledky simulací této práce výrazně nižší příkon. Je pravděpodobné, že je to způsobené tím, že v simulaci modelu CREST jsou zahrnuty všechny typové domácnosti, např. i ty, kde je pouze jeden obyvatel. Samozřejmě to ale může být způsobeno i rozdílným chováním uživatelů.

Nabízí se srovnání s denním průběhem znázorněným na obrázku číslo 11, kde je rozlišeno obsazení domácnosti. Můžeme si všimnout, že pro domácnost, která není obsazena v době 9-16 h dochází k prvnímu většímu dennímu nárůstu příkonu kolem 8 hodiny ráno. Je tedy zřejmé, že v tomto se chování obyvatelů Velké Británie oproti českému liší – v profilu denní spotřeby, který je výsledkem této práce vidíme, že k výrazné spotřebě ráno nedochází, a proto je pravděpodobné, že Češi mají odlišné zvyklosti přípravy snídaně než Britové. V odpoledním průběhu spotřeby pak sledujeme, že v zahraniční studii dochází k největšímu příkonu spotřebičů mezi 16-20 h odpoledne, kdy příkon dosahuje až 1,5 kW. To přibližně odpovídá i výsledkům této práce, kdy k maximálnímu odběru energie až 1,7 kW dochází mezi 18-20 h.

Z výsledků simulace je patrné, že se chování českých občanů od jiných národností liší. Na průběhu průměrné víkendové spotřeby můžeme sledovat, že si Češi mnohem víc, než na snídaně potrpí na víkendový oběd.

Je třeba brát v úvahu, že se jedná o data pouze pro typové domácnosti a celkový denní profil spotřeby energie běžnými domácími spotřebiči všech domácností české republiky se bude od těchto průběhů lišit. Zde je příležitost pro další práci.

## 7 ZÁVĚR

---

Práce naplňuje své stanovené cíle předložením průměrných profilů denní spotřeby pro všední den i víkend průměrných typových domácností – domácnost se dvěma pracujícími dospělými a dvěma dětmi a dvoučlenná domácnost se dvěma pracujícími dospělými. Simulace jsou vytvořeny na základě pravděpodobnostního a agentově orientovaného modelování v simulačním programu Anylogic postaveného na datech z českého panelového ošetření českých domácností. Dle mého názoru se tedy jedná o unikátní práci, která předkládá typický profil denní spotřeby typových domácností, ve kterých je zohledněno chování a rozhodování obyvatel České republiky.

Z výsledků práce je patrné, že spotřeba elektrické energie v domácnosti je závislá na chování uživatele a pro typové domácnosti zpracované v této práci se velmi liší pro víkendové dny a všední dny.

Dále je také patrné, že chování uživatele v ohledu na spotřebu elektrické energie běžnými domácími spotřebiči je závislé na jeho národnosti, která utváří některé typické rysy chování – ze studie pro typové české domácnosti vyplývá, že zatímco Češi preferují teplý víkendový oběd, např. Britové si potrpí na teplou snídani.

Spočtená průměrná hodnota odpovídá reálným hodnotám denní spotřeby energie v těchto typových domácnostech. Pro domácnost, jejíž obyvateli jsou dva pracující dospělí a dvě děti ve věku 10-17 let vyšla průměrná hodnota denní spotřeby ve všední den na 5,57 kWh a o víkendu na 7,89 kWh. Pro druhou typovou domácnost, jejíž obyvateli jsou pouze dva pracující dospělí vyšla průměrná hodnota denní spotřeby ve všední den na 4,38 kWh a o víkendu na 6,61 kWh.

Práce dává příležitost pro další využití a vývoj. Nabízí se využít simulační projekty např. k simulování přítomnosti uživatelů v místnostech domácnosti. Vzhledem k rozsahu řešené problematiky v této práci nebylo časově možné tato data ze simulace generovat, avšak simulační projekty to s drobnou úpravou umožní. Tato data by mohla být použita např. pro připočtení energie na osvětlení. Simulační projekty je možné dále upravovat, doplnit je např. o drobné spotřebiče, jako jsou např. nabíječky telefonu, žehlička, fén atp. anebo brát v potaz použití elektřiny k přípravě teplé vody. Je také možné data upravit i pro jiné typy domácností.

Uvedená data a profil denní spotřeby lze považovat jako podklad pro další výzkum v oblasti energetické náročnosti budov.



## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1 VÝSLEDNÁ SIMULACE SPOTŘEBY ENERGIE PRO ADMINISTRATIVNÍ BUDOVU (VŠEDNÍ DNY). [1] .....	15
OBRÁZEK 2 PŘÍSTUP K MODELOVÁNÍ PODLE URS WILKE. [4].....	15
OBRÁZEK 3 PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA JEDNOTLIVÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI (ROZLOŽENÍ V ČASE). [4] .....	16
OBRÁZEK 4 BLOKOVÁ SCHÉMATA ZNÁZORŇUJÍCÍ MODELOVÁNÍ CHOVÁNÍ UŽIVATELŮ. A) OBECNÁ STRUKTURA SKRYTÉHO MARKOVOVA MODELU (B) KONKRETIZACE SKRYTÉHO MARKOVOVA MODELU. [5] .....	16
OBRÁZEK 5 SCHÉMA SIMULACE POHYBU UŽIVATELE NA PRACOVNÍM MÍSTĚ PODLE GERHARDA ZIMMERMANNNA. [7] .....	17
OBRÁZEK 6 MODEL SPOTŘEBY ENERGIE PRO ŠKOLNÍ BUDOVU V PROGRAMU ANYLOGIC. [8] .....	18
OBRÁZEK 7 ZMĚŘENÁ DENNÍ SPOTŘEBA ENERGIE JEDNÉ DOMÁCNOSTI BĚHEM VÝZKUMU OD STEVEN FIFTH. ŠEDÁ ČÁRA UKAZUJE PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZA KAŽDÝCH 5 MINUT. [10] .....	18
OBRÁZEK 8 LOGIKA SPUŠTĚNÍ AKTIVITY PRO MODEL CREST. [11].....	19
OBRÁZEK 9 VÝSTUP JEDNÉ ZE SIMULACÍ MODELU CREST. [11] .....	20
OBRÁZEK 10 SROVNÁNÍ TYPICKÉHO DENNÍHO PROFILU V UK S VÝSLEDKY MĚŘENÍ A SIMULACE Z MODELU CREST. [15] .....	20
OBRÁZEK 11 TYPICKÝ DENNÍ PROFIL ZATÍŽENÍ SPOTŘEBIČŮ PRŮMĚRNÉ DOMÁCNOSTI V UK. [14] .....	21
OBRÁZEK 12 SPOJENÍ ZAŘÍZENÍ V SÍTI Z-WAVE. [18] .....	23
OBRÁZEK 13 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA CHYTRÉ DOMÁCNOSTI OD SPOLEČNOSTI FIBARO. [18] .....	24
OBRÁZEK 14 CHYTRÁ ZÁSUVKA OD SPOLEČNOSTI FIBARO. [18] .....	24
OBRÁZEK 15 CHYTRÁ ZÁSUVKA OD SPOLEČNOSTI PHILIO. [19].....	24
OBRÁZEK 16 ROZLIŠENÍ DOMÁCÍCH SPOTŘEBIČŮ NA ZÁKLADĚ PRŮBĚHU JEJICH PŘÍKONU. [1] .....	25
OBRÁZEK 17 TYPICKÝ PRŮBĚH SPOTŘEBY ENERGIE MODEMU – NEPŘETRŽITĚ BĚŽÍCÍ SPOTŘEBIČ. (ZDROJ: AUTOR) .....	25
OBRÁZEK 18 TYPICKÝ PRŮBĚH SPOTŘEBY ENERGIE LEDNICE – CHLADÍCÍ SPOTŘEBIČ. (ZDROJ: AUTOR) .....	26
OBRÁZEK 19 TYPICKÝ PRŮBĚH SPOTŘEBY ENERGIE SET-TOP-BOXU – SPOTŘEBIČ V POHOTOVOSTNÍM REŽIMU. (ZDROJ: AUTOR)...	26
OBRÁZEK 20 TYPICKÝ PRŮBĚH SPOTŘEBY ENERGIE TELEVIZNÍ OBRAZOVKY – AKTIVNÍ SPOTŘEBIČ. (ZDROJ: AUTOR) .....	26
OBRÁZEK 21 SCHÉMA – AGENTOVĚ ZALOŽENÉ MODELOVÁNÍ. [20] .....	32
OBRÁZEK 22 SCHÉMA – DISKRÉTNÍ MODELOVÁNÍ. [20] .....	32
OBRÁZEK 23 SCHÉMA – SYSTÉMOVĚ DYNAMICKÉ MODELOVÁNÍ. [20] .....	32
OBRÁZEK 24 PŘÍKLAD ZAČÁTKU BLOKOVÉHO SCHÉMATU A JEHO NÁSLEDNÝ PRŮBĚH PO PŮLHODINOVÝCH INTERVALECH, MEZI KTERÝMI DOCHÁZÍ K ROZHODOVÁNÍ AGENTA. ....	35
OBRÁZEK 25 GRAF ZAZNAMENÁVÁJÍCÍ PŘÍKON SPOTŘEBIČŮ BĚHEM SIMULACE (NA OSE X JE VYZNAČEN ČAS V DANÝ DEN A NA OSE Y JE AKTUÁLNÍ PŘÍKON VE W). ....	35
OBRÁZEK 26 TELEVIZE – POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE. ....	37
OBRÁZEK 27 POČÍTAČ – POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE. ....	38
OBRÁZEK 28 NOTEBOOK – POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE. ....	39
OBRÁZEK 29 BLOKOVÉ SCHÉMA PRO ÚKLID .....	39
OBRÁZEK 30 VYSAVAČ – POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE.....	39
OBRÁZEK 31 VAŘENÍ – POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE. ....	40
OBRÁZEK 32 BLOKOVÉ SCHÉMA PRO DOPOLEDNÍ PŘÍPRAVU JÍDLA. ....	41
OBRÁZEK 33 BLOKOVÉ SCHÉMA PRO POLEDNÍ A ODPOLEDNÍ PŘÍPRAVU JÍDLA. ....	41
OBRÁZEK 34 LEDNICE – POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE .....	44
OBRÁZEK 35 MODEM – POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE .....	44
OBRÁZEK 36 MYČKA – BLOKOVÉ SCHÉMA, POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE .....	45
OBRÁZEK 37 TYPICKÝ PRŮBĚH MYČÍHO CYKLU (V PRŮBĚHU JE ROVNĚŽ ZAZNAMENÁNO OPAKOVANÉ SPÍNÁNÍ LEDNICE) - NA OSE X JE VYZNAČEN ČAS V DANÝ DEN A NA OSE Y JE AKTUÁLNÍ PŘÍKON VE W. ....	46
OBRÁZEK 38 PRAČKA A SUŠIČKA – BLOKOVÉ SCHÉMA, POUŽÍVANÉ PROMĚNNÉ A FUNKCE .....	46
OBRÁZEK 39 TYPICKÝ PRŮBĚH PRACÍHO CYKLU (V PRŮBĚHU JE ROVNĚŽ ZAZNAMENÁNO SPÍNÁNÍ LEDNICE) - NA OSE X JE VYZNAČEN ČAS V DANÝ DEN A NA OSE Y JE AKTUÁLNÍ PŘÍKON VE W.....	47
OBRÁZEK 40 PRŮBĚH PRACÍHO CYKLU, PO KTERÉM BYLA ZAPNUTÁ SUŠIČKA (V PRŮBĚHU JE ROVNĚŽ ZAZNAMENÁNO SPÍNÁNÍ LEDNICE) - NA OSE X JE VYZNAČEN ČAS V DANÝ DEN A NA OSE Y JE AKTUÁLNÍ PŘÍKON VE W. ....	48
OBRÁZEK 41 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – 100 SIMULAČNÍCH BĚHŮ PRO TYPICKÝ VŠEDNÍ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI A DVĚMA DĚTMI. (ZDROJ: AUTOR).....	50

OBRÁZEK 42 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA PRO TYPICKÝ VŠEDNÍ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI A DVĚMA DĚTMI. (ZDROJ: AUTOR) ..... 50

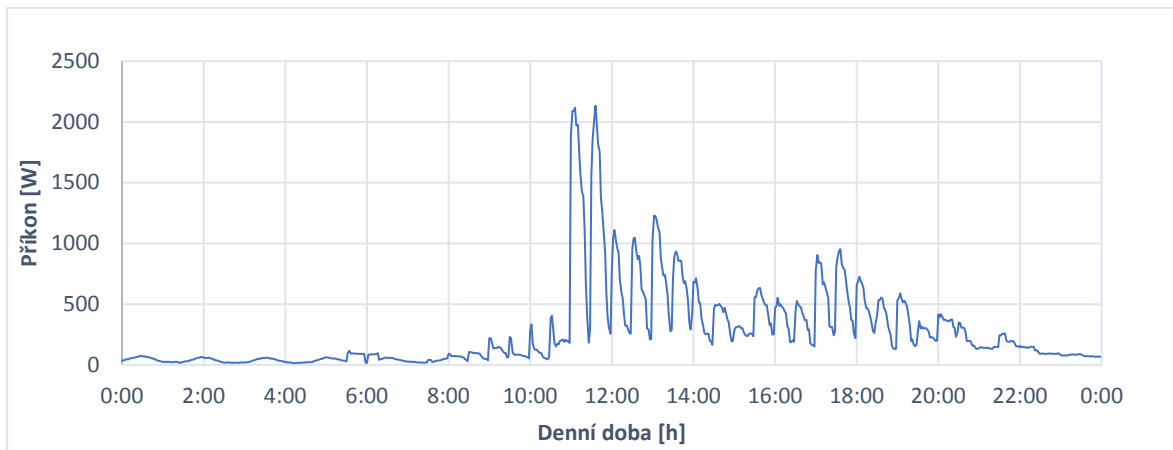
OBRÁZEK 43 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – 100 SIMULAČNÍCH BĚHŮ PRO TYPICKÝ VÍKENDOVÝ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI A DVĚMA DĚTMI. (ZDROJ: AUTOR) ..... 51

OBRÁZEK 44 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA PRO TYPICKÝ VÍKENDOVÝ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI A DVĚMA DĚTMI. (ZDROJ: AUTOR) ..... 51

OBRÁZEK 45 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – 100 SIMULAČNÍCH BĚHŮ PRO TYPICKÝ VŠEDNÍ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI. .... 52

OBRÁZEK 46 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA PRO TYPICKÝ VŠEDNÍ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI. .... 53

OBRÁZEK 47 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – 100 SIMULAČNÍCH BĚHŮ PRO TYPICKÝ VÍKENDOVÝ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI. .... 53



OBRÁZEK 48 GRAF SPOTŘEBY ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ V DOMÁCNOSTI – PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA PRO TYPICKÝ VÍKENDOVÝ DEN – DOMÁCNOST SE DVĚMA DOSPĚLÝMI. .... 53

## 9 SEZNAM TABULEK

---

TABULKA 1 SPOTŘEBA ZÁKLADNÍCH SPOTŘEBIČŮ V ČESKÝCH DOMÁCNOSTECH. [2] .....	12
TABULKA 2 DATA Z VÝZKUMU – OBYČEJNÝ NEBO VÝJIMEČNÝ DEN. [17] .....	27
TABULKA 3 DATA Z VÝZKUMU – TYP DNE. [17].....	27
TABULKA 4 DATA Z VÝZKUMU – TYP AKTIVITY Dospělí. Žlutě – AKTIVITY BĚHEM NICHŽ BĚŽÍ ELEKTRICKÝ SPOTŘEBIČ, ZELENĚ – AKTIVITY DOMA, BEZ BĚHU BĚŽNÝCH ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ, MODŘE – AKTIVITY MIMO DOMOV. ....	28
TABULKA 5 DATA Z VÝZKUMU – TYP AKTIVITY DĚTI 10–17 LET. Žlutě – AKTIVITY BĚHEM NICHŽ BĚŽÍ ELEKTRICKÝ SPOTŘEBIČ, ZELENĚ – AKTIVITY DOMA, BEZ BĚHU BĚŽNÝCH ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ, MODŘE – AKTIVITY MIMO DOMOV. ....	29
TABULKA 6 ROZDĚLENÍ DO SIMULAČNÍCH PROJEKTŮ S ODKAZY NA SIMULAČNÍ PROJEKTY NA CLOUDU (PŘÍPADNĚ JE MOŽNÉ ODKAZY NA SIMULACE DOHLEDAT V PŘÍLOZE V TABULCE CLOUD_SIMULACE). ....	33
TABULKA 7 MODELOVANÉ SPOTŘEBIČE SPOJENÉ S URČITOU AKTIVITOU UŽIVATELE. ....	33
TABULKA 8 MODELOVANÉ SPOTŘEBIČE, KTERÉ JSOU MODELOVÁNY ZVLÁŠŤ V PROJEKTU DOMÁCNOST.....	34
TABULKA 9 TABULKA NASTAVENÍ SPOTŘEBIČŮ – TELEVIZE, POČÍTAČ, VYSAVAČ. ....	38
TABULKA 10 DOPOLEDNÍ VAŘENÍ – NASTAVENÍ SPOTŘEBIČŮ. ....	41
TABULKA 11 POLEDNÍ A ODPOLEDNÍ VAŘENÍ – NASTAVENÍ SPOTŘEBIČŮ.....	42
TABULKA 12 DOMÁCNOST – NASTAVENÍ SPOTŘEBIČŮ PRO SIMULACI DOMÁCNOSTI SE 2 Dospělými a 2 DĚTI. ....	43
TABULKA 13 DOMÁCNOST – NASTAVENÍ SPOTŘEBIČŮ PRO SIMULACI DOMÁCNOSTI SE 2 Dospělými. ....	43
TABULKA 14 VÝSLEDKY SIMULACE – PRŮMĚRNÁ DENNÍ SPOTŘEBA PRO TYPICKOU DOMÁCNOST SE DVĚMA Dospělými a DVĚMA DĚTI. (ZDROJ: AUTOR) .....	49
TABULKA 15 VÝSLEDKY SIMULACE – PRŮMĚRNÁ DENNÍ SPOTŘEBA PRO TYPICKOU DOMÁCNOST SE DVĚMA Dospělými. ....	52

## 10 ZDROJE / POUŽITÁ LITERATURA

---

- [1] GAETANI, Isabella, Pieter-Jan HOES a Jan L. M. HENSEN. *Estimating the influence of occupant behavior on building heating and cooling energy in one simulation run*. Elsevier Ltd, 2018. 159-171 s. ISBN 0306-2619.
- [2] Český statistický úřad – spotřeba paliv a energií v domácnostech [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energii-v-domacnostech>
- [3] PARYS, Wout, Bernard SOUYRI a Monika WOLOSZYN. *Agent-based behavioural models for residential buildings in dynamic building simulation: state-of-the-art and integrated model assembly*. IBPSA-FR. 2014. 1-8 s.
- [4] WILKE, Urs, Frédéric HALDI, Jean-Louis SCARTEZZINI, Darren ROBINSON. *A bottom-up stochastic model to predict building occupants' time-dependent activities*. Building and Environment, Volume 60, 2013. 254-264 s. ISSN 0360-1323,
- [5] VIROTE, João a Rui NEVES-SILVA. *Stochastic models for building energy prediction based on occupant behavior assessment*. Elsevier B.V, 2012. 183-193 s. ISBN 0378-7788.
- [6] LEE, Yoon S. a Ali M. MALKAWI. *Simulating multiple occupant behaviors in buildings: An agent-based modeling approach*. Elsevier B.V, 2014. 407-416 s. ISBN 0378-7788.
- [7] ZIMMERMANN, Gerhard. *Modeling and simulation of individual user behavior for building performance predictions*. Summer Computer Simulation Conference 2007, SCSC'07, Part of the 2007 Summer Simulation Multiconference, SummerSim'07. 2. 913-920 s. 10.1145/1357910.1358052.
- [8] ZHANG, Tao, Peer-Olaf SIEBERS a Uwe AICKELIN. *Modelling electricity consumption in office buildings: An agent based approach*. Elsevier B.V, 2011. 2882-2892 s. ISBN 0378-7788.
- [9] *Demand Profile Generators* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/06-07/Carbon\\_neutral/tools%20folder/Demand%20Profile%20Generators.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Carbon_neutral/tools%20folder/Demand%20Profile%20Generators.htm)
- [10] FIRTH, S. et al. *Identifying trends in the use of domestic appliances from household electricity consumption measurements*. Elsevier B.V, 2008. 926-936 s. ISBN 0378-7788.
- [11] RICHARDSON, Ian et al. *Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model*. Elsevier B.V, 2010. 1878-1887 s. ISBN 0378-7788.
- [12] PAGE, J. et al. *A generalised stochastic model for the simulation of occupant presence*. Elsevier B.V, 2008. 83-98 s. ISBN 0378-7788.

- [13] RICHARDSON, Ian, Murray THOMSON a David INFIELD. *A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations*. Elsevier B.V, 2008. 1560-1566 s. ISBN 0378-7788.
- [14] YAO, Runming a Koen STEEMERS. *A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK*. Elsevier B.V, 2005. 663-671 s. ISBN 0378-7788.
- [15] RAMÍREZ-MENDIOLA, José Luis, Philipp GRÜNEWALD a Nick EYRE. *The diversity of residential electricity demand – A comparative analysis of metered and simulated data*. Energy and Buildings, Volume 151, 2017. 121-131 s. ISSN 0378-7788.
- [16] ČEZ – *Typické příkony běžných spotřebičů* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/dip/cs/zadost-pripojeni/prikony-spotrebicu.html>
- [17] ČSDA [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://nesstar.soc.cas.cz/webview/>
- [18] *Fibaro* [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.fibaro.com>
- [19] *Philio* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.zwavetaiwan.com.tw/>
- [20] *Anylogic* [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.anylogic.com>
- [21] Český statistický úřad – *příjmy a životní podmínky domácností* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/prijmy-a-zivotni-podminky-domacnosti-kf03f95ff5>