

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**



**TEZE K DISERTAČNÍ PRÁCI**



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

**Ing. Richard Najman**

## **ENERGETICKÝ MANAGEMENT CHYTRÉHO DOMU**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: elektroenergetika

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha, únor 2015

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na katedře elektroenergetiky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

Uchazeč: Ing. Richard Najman  
ELEKTRO-PROJEKCE, s.r.o.  
Fr. Šrámka 1209/5  
Ostrava – M. Hory  
709 00

Školitel: Doc. Dr. Ing. Jan Kyncl  
Katedra elektroenergetiky  
Fakulta elektrotechnická ČVUT  
Technická 2  
Praha 6 – Dejvice  
166 27

Školitel-specialista:

Ing. Ladislav Musil, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky  
Fakulta elektrotechnická ČVUT  
Technická 2  
Praha 6 – Dejvice  
166 27

Oponenti:

.....

.....

.....

Teze byly rozeslány dne: .....

Obhajoba disertace se koná dne ..... v .....  
hod. před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru  
elektroenergetika v zasedací místnosti č ..... Fakulty  
elektrotechnické ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátu Fakulty  
elektrotechnické ČVUT v Praze, na oddělení pro vědu, výzkum a  
zahraniční styky, Technická 2, Praha 6.

.....

předseda komise pro obhajobu disertační práce  
ve studijním oboru  
elektroenergetika

Fakulta elektrotechnická ČVUT, Technická 2, Praha 6

### ***Poznámka k obsahu téze:***

*Dávám časově neomezený souhlas k publikaci elektronické verze disertační práce, proto pokud Vám vzhledem k nunému zestručnění téze chybí k nějakému bodu podrobnější informace, podívejte se prosím na odpovídající celek v samotné disertační práci. Děkuji za pochopení.*

## **1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY**

Tato disertační práce se zabývá oblastí která je ve své podstatě velice široká, zevrubnější popis současného stavu řešené problematiky je uveden v samotné disertační práci, přičemž rozsah přesahuje požadovanou velikost téze jako celku.

Obecně lze říci, že mnou zpracovávané téma má široce zpracovanou teoretickou bázi, samotná disertační práce se tak zaměřuje na aspekty aplikační, přičemž hlavním výstupem jsou modely využitelné pro další výzkum.

Dále je třeba vzít v úvahu existenci řady odborných programů zabývajících se danou problematikou, ve srovnání s nimi zajišťují moje modely velmi zajímavý poměr času potřebného k vyhodnocení a komplexnosti řešení.

### **1.1. Rozbor literatury**

Z hlediska využití literatury bylo toto relativně okrajové, v případě citací je daný odkaz uveden v textu, většinou je využití publikací omezeno na přebírání údajů technických a materiálových, v případě teorie je jsou převzaty základní vzorce (tabulky).

Danou problematikou se samozřejmě zabírá různá literatura, každý autor (kolektiv) přistupuje k řešení segmentu, který považuje za zajímavý. V této disertační práci jsem vycházel většinou z vlastních publikací a z vlastních modelů, protože jsem na publikaci se srovnatelným rozsahem a obsahem nenarazil. Využití externích zdrojů je následující:

### Využití literatury:

- [1] Definice tepelně technických vlastností
- [2] Hodnoty technických a fyzikálních veličin, základní definice vztahů
- [3] Hodnoty technických a fyzikálních veličin, základní definice vztahů
- [4] Podklady pro vyplnění dat tepelných čerpadel
- [5] Konstrukce Matematických modelů
- [6] Vliv znečištění, polohy a rozptylu na sluneční záření
- [7] Základní funkce a charakteristiky solárně-termických panelů
- [8] Hodnoty technických a fyzikálních veličin, základní definice vztahů
- [9] Podklady pro vyplnění dat solárně-termických systémů
- [10] Základní aspekty pro srovnání fotovoltaicko-termických panelů
- [11] Základní aspekty pro využití difúzních reflektorů pro fotovoltaicko-termické aplikace
- [12] Základní definice a popis hybridních kolektorů
- [13] Vztahy a definice využití pro tepelně-technický popis objektu
- [14] Vztahy a definice využití pro konstrukci modelu optické části kolektoru a pro účinnosti slunečních zisků

## 1.2. Přehled aplikací

Z hlediska energetického managementu budov je aplikace této disertace (potažmo vytvořených modelů) racionalizace investičních a provozních nákladů stávajících i projektovaných budov. Vytvořený model umožňuje vypočítat přínosy různých opatření a po jejich ocenění spočítat ekonomickou návratnost i se zohledněním výhledu inflace a ceny energií.

Aplikace modelu kombinovaného fotovoltaicko-termického solárního kolektoru je určena pro další rozvoj této technologie, která umožňuje zajímavé využití sluneční energie v malých instalacích.

# 2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

## 2.1. Motivace

Náklady na bydlení a energie tvoří ve většině domácností majoritní výdaj (ve státech střední Evropy se průměr pohybuje v rozmezí 20-30%), přitom návrhy nových budov či opatření na budovách stávajících se jen málokdy drží zásad ekonomické výhodnosti. Jistě, existují normy (například ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Požadavky), které stanoví, co musí budovy dnes splňovat a existují certifikace „zelených budov“ typu BREEAM či LEEDS, ale stále se setkáváme s tím, že projekty a následná realizace jsou řešeny na zcela jiných základech než je objektivní analýza. Jinak by se nemohlo stát, že budova s excelent BREEAM ratingem má řešenu kondenzaci vody na fasádních tepelných mostech otopnými kabely, či že do domku za 2,5 miliónu je z důvodu „provozních úspor“ instalován systém vzduchotechniky a měření a regulace za další milión.

Zároveň žijeme v době, kdy dochází k rychlému vývoji na poli užívaných technologií jak na poli konstrukčních materiálů, tak technologií osaditelných do budov. V neposlední řadě jsme pak byli svědky rapidního pokroku v oblasti obnovitelných zdrojů, kdy za



posledních deset let zlevnila instalace fotovoltaických systémů o 90%.

Mou motivací je tedy analyzovat reálné chování budov a běžně užívaných systémů, nalézt možné cesty k optimálnímu využití existující technologie a analyzovat některé možné budoucí trendy v souvislosti se závěry plynoucími z analýzy chování budov.

## **2.2. Vymezení a formulace cíle práce**

Cílem práce je vytvořit funkční Mathematické modely a zobecněný soubor přístupů k optimalizaci energetického managementu budov, s konkrétním zaměřením na individuální bydlení. Cílem je vyhodnotit chování těchto budov a formulovat strategie k ekonomicky výhodným řešením. Dále je cílem této práce ověřit koncept fixního kombinovaného fotovoltaicko-termického solárního kolektoru s koncentrátorem jako perspektivního zdroje energie pro malé instalace typu rodinných domů.

## **2.3. Rozsah a obsah práce**

Obsah disertační práce je členěn následujícím způsobem. Na začátku jsou uvedeny ty nejobecnější kapitoly teoretických informací vztahujících se k tématu.

Následují kapitoly shrnující poznatky pro konkrétní aplikaci v navrhovaných modelech.

Následně jsou uvedeny vzorové studie na kterých je popsáno, které specifika se uplatní a je provedeno srovnání modelových výstupů s reálně známými daty o objektech.

Kapitoly týkající se kombinovaných fotovoltaicko-termických kolektorů jsou pak uspořádány tak, že je uvedena kapitola popisující využívané vztahy a následně kapitola s výsledky modelu.

Obecně pak pro doplnění všech kapitol slouží přílohou kapitoly, kde jsou jednak uvedeny zdrojové kódy využitých modelů a některé doplňkové výstupy neuváděné v hlavním těle disertační práce. S ohledem na limitovanou velikost samotné práce jsou

zdrojové kódy vedeny jako příloha samostatná, nejlépe využitelná v elektronické podobě.

## 2.4. Předpoklady a omezení

V jednotlivých případech jsou přijímána dílčí zjednodušení, zejména pak tam, kde by komplexní model překračoval požadavek na vyhodnocení v přiměřeném časovém rámci. Všude, kde je to možné, bylo provedeno porovnání zjednodušeného modelu s modelem komplexním či s reálným měřením a byl popsán efekt zjednodušení modelu na obdržené výsledky. Vždy, když to bylo možné byly využity reálné parametry z databází (například zamračení, teploty) pro konkrétní lokalitu a zvolený časový úsek.

Aby tato práce naplnila svůj účel, mají být výsledky pochopitelné i pro poučené laiky, pro většinu problémů byl proto zvolen přístup analýzy vzorových případů, kdy lze výsledky jednoznačně interpretovat a jednoduše ověřit jejich soulad s praxí.

## 3. METODY ZPRACOVÁNÍ

Obecně platí, že lze pro analýzu využívat nejrůznější optimalizační funkce. V praxi ovšem není účelné vytvářet celkový n-rozměrný popis problému. Zpracovávaná problematika má totiž řadu specifik a i když základním srovnávacím kritériem jsou vždy peníze a bylo by teoreticky možné definovat cílovou funkci, která by obsahovala všechny možné proměnné, vyhodnocení by bylo jednak extrémně pomalé a málo vypovídající. Je totiž pravdou, že v oblasti rodinných domů vstupují do hry faktory, které znamenají, že není podstatné najít globální minimum, ale řešení, které optimálně vyhovuje danému klientovi.

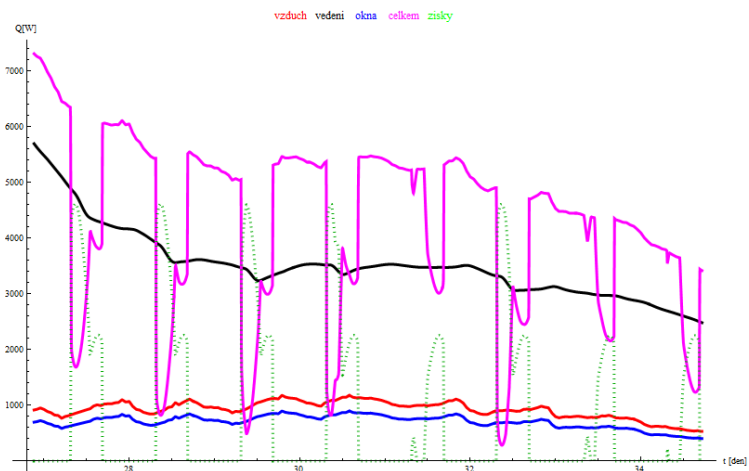
Jestliže by z modelu vyšla jako nutná rekuperace, ale přínos by byl srovnatelný jako o něco tlustší izolace, je to důležitá informace pro jednání s klientem, protože v tomto směru vstupují do zhodnocení osobní preference, které nejsou jednoduše parametrizovat. Jednoduše na příkladu oné rekuperace – stejný

klient ji zavrhne při roční úspoře 2 000,- Kč a přijme jako nutné zlo při roční úspoře 4 000,- Kč. Proto mnou navržené modely umožňují během krátké doby zpracovat dostatek variant, aby šly jednoduše vyčíslit dopady jednotlivých směrů optimalizace.

Obdobně v části zpracovávající solární panely s difusním koncentrátorem je s ohledem na cíl práce (ověření koncepce) zpracování provedeno formou simulace řady konfigurací. V tomto případě zejména proto, protože na definování cílové funkce, kterou by byl ekonomický přínos panelu versus jeho cena, není v této fázi k dispozici dostatek dat. Proto se ověření zaměřuje na to, zda je vůbec reálné najít dostatečně zajímavé konfigurace, aby měl smysl další výzkum v tomto směru.

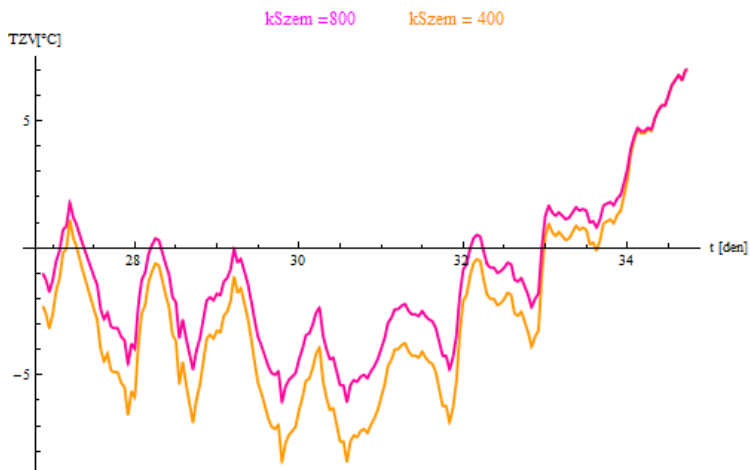
## 4. VÝSLEDKY

V rámci disertační práce jsou provedeny tři příkladové studie za využití navržených modelů. Tyto studie slouží jak jako ilustrace využití modelů, tak jako jejich ověření. Z hlediska odborného náhledu jsou důležitým výsledkem například grafy ztrát objektu:

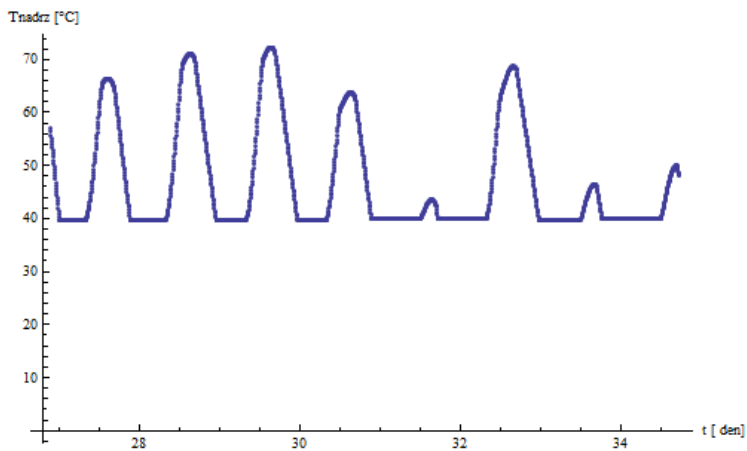


Tyto grafy umožňují analyzovat chování objektu a zaměřit snahy o optimalizaci správným směrem.

Pro vyhodnocení chování zemního výměníku lze například využít grafy teploty nasávaného vzduchu:



Pro analýzu chování systému jako celku lze využít grafy teplot v centrální nádrži:



Tabulku denní spotřeby objektu:

Den	Model bez kapacit		Model s kapacitami	
	Spotřeba [kWh]	Denní spotř. [kWh]	Spotřeba [kWh]	Denní spotř. [kWh]
1	31,3	31,3		
2	73,1	41,8		
3	117,9	44,8	41,7	41,7
4	179,8	61,9	104,4	62,7
5	241,2	61,4	166,0	61,7
6	295,9	54,7	221,1	55,0
7	355,5	59,6	280,2	59,1
8	416,7	61,2	339,9	59,7
9	477,7	61,1	401,3	61,4
10	532,8	55,0	457,5	56,2
11	585,1	52,3	510,8	53,3
12	633,6	48,5	562,9	52,1
13	690,5	56,9	618,6	55,7
14	754,6	64,1	679,1	60,5
15	823,4	68,8	747,2	68,1
16	895,3	71,9	818,0	70,8
17	962,7	67,3	886,2	68,2
18	1019,3	56,6	948,6	62,4
19	1076,8	57,5	1004,6	56,0
20	1137,7	60,9	1066,2	61,6

Ale obecně jsou všechny grafické výstupy pouze vodítkem, případně nástrojem pro průběžnou kontrolu. Pro aplikaci jako takovou jsou zásadní údaje o celkové spotřebě objektu za dobu

ročního provozu. Na základě tohoto údaje lze následně v modulu ekonomického vyhodnocení provést ocenění jednotlivých variant.

#### 4.1. Ekonomické vyhodnocení komplexního modelu

Pro vyhodnocení ekonomické využívám jednoduchou základní úvahu:

$$\text{Celkový náklad} = \text{investice počáteční} + \text{investice na obnovu (dle délky vyhodnocení)} + \text{celková cena za energii}$$

Přičemž postupuji tak, že investice počítám v současných cenách a ceny energií dopočítávám dle vztahu

$$\sum_{i=0}^{T-1} \left( \frac{\text{cena}E * E_{TOP}}{COP_{celk}} + Pa + red \right) * \frac{E_{inf}^i}{inf^i}$$

Kde  $\text{cena}E$  je cena dané energie,  $E_{TOP}$  jsou ztráty objektu za rok (J),  $Pa$  značí paušální výdaj spojený s odběrem dané energie (Kč),  $E_{inf}$  (-) je koeficient zdražení dané energie (exponent  $i$  zajišťuje každoroční aplikaci), koeficient  $inf$  (-) je obecná inflace, přičemž exponent  $i$  zajišťuje opět každoroční aplikaci,  $COP_{celk}$  (-) zajišťuje přepočet ztrát objektu na energii odebranou (zaplacenou) z distribuce a koeficient  $red$  (-) zajišťuje započtení dalších vlivů, které nesouvisí přímo s energetickou spotřebou. Zde využívám koeficient  $red$  jako koeficient zohledňující zlevnění odebrané elektrické energie při způsobech vytápění využívající tarif s levnější elektřinou.

Z ekonomického srovnání vybraných variant vyjde tabulka typu:

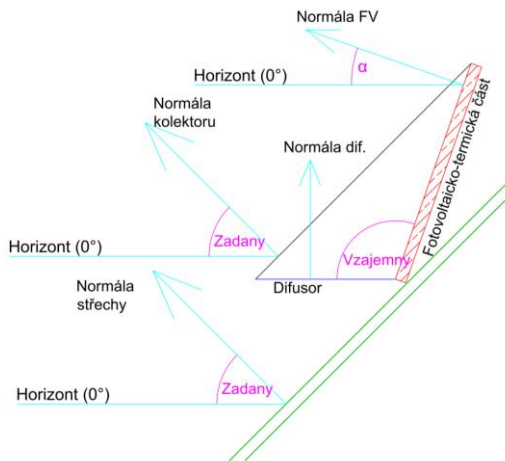
Varianta	Plocha kolektorů	Objem nádrže	Izolace (mm)	Investice	Spotřeba	Rozdíl ceny	Celková cena 15 let	Cena kWh
Srovnávací	7,65	300	-	0	10200	0,00	342000	1,8
Stávající vytápění - plynový kotel:								
2	12,75	800	-	39000	8528	-52000,00	290000	
4	7,65	300	100(stř.)	56000	7944	-14000,00	328000	
Tepelné čerpadlo								2,5
6	7,65	300	-	150000	3780	-36000,00	306000	
7	7,65	300	-	190000	2944	-32000,00	310000	
Další paliva								
Dřevo	7,65	300	-	60000	12750	2000,00	344000	1,3

Která může posloužit jako vodítko k vybrání správné cesty pro přesné projekční řešení.

Samozřejmě situace je taková, že málokterý investor je ochoten dát za projekt takovou částku, aby byla plnohodnotně zpracována studie zahrnující detailní projekt všech alternativ. Díky těmto modelům a vyhodnocení v tabulce lze vyhodnotit v řádu několika desítek minut až jednotek hodin nejslibnější varianty a ty potom probrat s investorem, na základě čeho lze pak zpracovat jen jednu variantu a být vysoko nad průměrem běžných projektů v této sféře z hlediska optimálnosti vynaložených prostředků.

## 4.2. Výsledky modelu solárního kolektoru

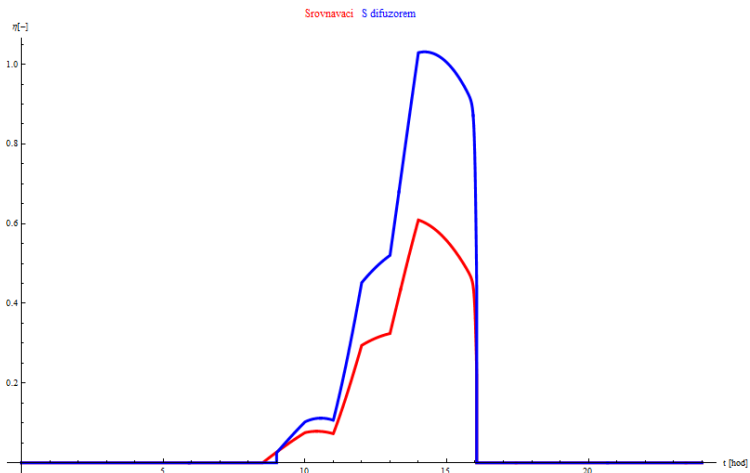
V této části zachycuji výsledky pro konfiguraci:



Obecně velikost této buňky by měla být malá a v rámci jednoho kolektorového opanelu by se měla mnohokrát zopakovat. To proto, aby výsedný panel měl rozumnou hloubku. Kolektor je tedy tvořen fotovoltaickým článkem s odvodem tepla a difusním reflektorem, přičemž jako srovnávací variantu uvažuji vždy kolektor se stejnou plochou FV článků a sleduji integrál měrné účinnosti, jakož i nárůst plochy kombinovaného kolektoru („c“).



Principiálně opět model poskytuje dva typy výstupů. Jednak numerické údaje o roční účinnosti a o nárůstu plochy kolektoru, jednak grafy srovnávající průběhy pro konkrétní dny. V tomto případě jsou zajímavější grafy:



To z toho důvodu, že v případě grafů lze ověřit nejen účinnost využití fotovoltaické části, ale charakter průběhu hovoří rovněž i o zvýšené využitelnosti termické části při takto konstruovaném panelu.

Numerický výstup zachycený do tabulky pak vypadá takto:

Sklon kolektoru 50°, orientace  
jihozápad (45°), difusor v hor. Rovně

Sklon FV	účinnost	"c"
40	1,05	1,19
30	1,10	1,35
20	1,13	1,46
15	1,14	1,50
10	1,15	1,53
0	1,14	1,56

Sklon FV je úhel normály FV části od horizontální roviny, účinnost je roční integrál měrné účinnosti vztahený k účinnosti prostého kolektoru, „c“ je nárůst plochy kolektoru.

Obecně samozřejmě je celá konstrukce založena na faktu, že fotovoltaický článek je tou nejdražší částí kolektoru a nárůst plochy „c“ vzhledem k zachování stejné plochy FV části není totožný s nárůstem nákladů na kolektor.

## 5. ZÁVĚR

Zvolené téma je poměrně široké, proto tato disertační práce nemá poskytovat jeho stoprocentní pokrytí, cílem je pomocí matematických modelů vytvořit nástroje umožňující část problematiky vyhodnotit pro konkrétní objekty (projekty).

### 5.1. Přehled výsledků disertace včetně původního přínosu doktoranda

V úvodní části jsou popsány teoretické základy a obecně metodiky k řešení daného typu problematiky. Výstupem této práce nejsou konkrétní výsledky, ale programy umožňující flexibilní vyhodnocení:

#### *Zjednodušený model objektu*

Základní zjednodušený model (Kapitola 5) slouží k základnímu vyhodnocení chování objektu. Lze ho využít pro rámcové určení ztrát, dimenzování tepelných čerpadel a základní srovnání různých zdrojů tepla v rámci navazujícího modelu pro ekonomické vyhodnocení (kapitola 6).

Model využívá data o průměrné teplotě, nad kterými je aplikována fiktivní oscilace, která simuluje reálné výkyvy teplot. Tento přístup vede k nejrychlejšímu vyhodnocení, kdy pro přesnější data je určen komplexní model.

#### *Komplexní model objektu*

Komplexní model (kapitola 7) byl zpracován ve dvou variantách. První varianta počítá dynamické chování objektu s ohledem na tepelné kapacity, je však pomalá a hodí se pouze k jednorázovému ověření výsledků, nikoli pro vyhodnocování různých variant optimalizace. Druhá varianta počítá obvodové stěny zjednodušeně se zanedbáním kapacit pomocí vztahů pro ustálený stav, vznikající nepřesnost je v případech objektů s vysokou kapacitou eliminována úpravou funkce teploty. Ekonomické vyhodnocení optimalizace a zhodnocení je provedeno v rámci navazujících kapitol s příkladovými studiemi (Kapitoly 8-10). Výstupy modelu pro jednotlivé veličiny a

jednotlivé dny umožňují analyzovat chování objektu a porozumět složení tepelných ztrát. Model umožňuje pracovat centrální akumulací, solárními panely, konfigurací oken, různými zdroji energie, zemním výměníkem, zateplováním objektu a rekuperací, což pokrývá širokou škálu objektů.

Model pracuje se vstupními daty (teplota, zamračenost) z databáze Wolfram Mathematica. Model vyžaduje předzpracování oslunění jednotlivých ploch ve zvláštním modelu.

### ***Model solárních panelů s difuzním koncentrátorem***

Pro zhodnocení potenciálu využití fixních panelů s difuzním koncentrátorem byl zpracován model v rámci kapitoly 12.1. Model slouží k vyhodnocení nárůstu výstupu fotovoltaické části ve srovnání s nárůstem plochy kolektoru jako celku. Zároveň výstupy modelu umožňují grafické srovnání průběhů oslunění pro konkrétní dny.

Model pracuje se vstupními daty zamračenosti z databáze Wolfram Mathematica.

## **5.2. Hodnocení dosažených výsledků**

Modely díky reálným vstupům vykazují velmi dobrou shodu s reálnými daty srovnávaných objektů. Díky vysoké flexibilitě použitého prostředí Wolfram Mathematica je snadné modely upravit tak, aby respektovaly specifika daných objektů.

Zjednodušený model se osvědčil jako nástroj primárního zpracování ve smyslu dimenzování tepelných čerpadel či náhledu na výhodnost použití alternativních zdrojů energie.

Komplexní model se osvědčil jako nástroj na modelování chování systému v reálném celoročním provozu. Výsledná data o spotřebě energie velmi dobře odpovídají datům z objektů a díky využití zjednodušené varianty objektu bez kapacit je dosaženo rychlého vyhodnocení při minimální ztrátě přesnosti. Model zejména velmi korektně zachycuje vliv teploty vody v otopné soustavě a venkovní teploty na funkci tepelného čerpadla (včetně

typů vzduch/voda) a lze díky tomu velmi přesně dimenzovat konkrétní typ, což (viz kapitola 10) může vést ke snížení investičních nákladů a zatraktivnění osazení tepelného čerpadla i při souběžném zateplení objektu. Díky tomuto modelu lze jednoduše identifikovat nejvýhodnější směry pro optimalizaci energetického managementu objektu.

V rámci této práce jsem využil model pro fixní solární panel s difusním koncentrátorem v sérii typových vyhodnocení, abych dokázal využitelnost tohoto konceptu a vyhodnotil základní charakteristiky a přínosy této koncepce solárního panelu. Z výsledků vyplývá, že navržená koncepce poskytuje dostatečný přínos ve formě zvýšení účinnosti fotovoltaické části a dosažení zajímavějších průběhů pro využití termické části, že stojí za to pokračovat ve výzkumu v tomto směru.

### **5.3. Závěry pro další rozvoj vědy nebo pro realizaci v praxi**

Práce přispívá k rozšíření teoretických poznatků v oboru:

- Analyzuje chování objektů, popisuje vliv kapacit na jejich chování a navrhuje možnosti vyhodnocení při jejich zanedbání.
- Popisuje způsob vyhodnocení objektů za užití reálných vstupů pro danou lokaci (poloha slunce, teplota, zamračenost).
- Navrhuje metodický přístup pro vyhodnocení objektů, popisuje způsob ošetření nejčastějších variant.
- Popisuje teoretickou bázi řešené problematiky a způsob jejího začlenění do vyhodnocení.
- Pro kombinované kolektory s difusním reflektorem poskytuje výchozí bod pro další výzkum.

Přínos práce pro praxi:

- Pro praxi je přínosná část vyhodnocení budov, kde jsou popsány působící mechanismy.

- Modely umožňují vyhodnocení přesně uzpůsobené pro daný objekt s minimální časovou náročností.
- Optimální řešení pro daný objekt vykazuje znatelnou úsporu v provozních nákladech, lze přitom zpracovat řešení optimálně využívající investiční potenciál investora.

### ***Výhledy do budoucna***

V části věnující se vyhodnocení budov lze dále rozšiřovat pokrytí na různé konfigurace systému. Rovněž lze výhledově zakomponovat modely různých solárně-termických panelů, teplotně stratifikovaných nádrží, klimatizačních jednotek či zahrnout přímo do modelu širší škálu funkcí vycházejících z externích databází (vlastnosti materiálů, ceny energií), aby nemusely být doplňovány ručně.

Problematika optimalizace energetického managementu je široká a stále vyvstávají nové technologické možnosti a standardy, proto je vývoj nástrojů k jejímu vyhodnocení kontinuální proces.

Po určité optimalizaci kódů pro možnosti nových verzí Matematiky by dalším logickým krokem bylo tyto modely přepracovat pro využití webového rozhraní, aby mohly sloužit pro co nejširší využití.

Z hlediska fixních kombinovaných fotovoltaicko-termických solárních panelů bylo provedeno ověření koncepce z hlediska dosažení takových parametrů výnosů fotovoltaické části, aby byla reálná ekonomická rozvaha k výrobě těchto panelů. Předmětem další práce v této oblasti je rozšíření modelu na plné fotovoltaicko-termické vyhodnocení a provedení výrobních kalkulací, instalace prototypů a podobně.

## 6. Literatura

- [1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov
- [2] Encyklopedia efunda (<http://www.efunda.com>)
- [3] WolframAlpha - computational knowledge engine (<http://www.wolframalpha.com>)
- [4] Stiebel Eltron katalogy, ceníky a produktové listy (<http://www.stiebel-eltron.cz/>)
- [5] Wolfram, S.: The Mathematica Book. 4th. Ed., Wolfram Media/Cambridge University Press, online verze
- [6] Michal Popovič: Návrh solárního systému pro zásobování rodinného domu TUV, diplomová práce, ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, 2013
- [7] CIHELKA, Jaromír. Solární tepelná technika. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900-7595-9.
- [8] TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov (<http://tzb-info.cz/>)
- [9] Společnost Dražice (<http://dzd.cz/>)
- [10] M. J. M. Pathak, P. G. Sanders, J. M. Pearce: Optimizing Limited Solar Roof Access by Exergy Analysis of Solar Thermal, Photovoltaic, and Hybrid Photovoltaic Thermal Systems
- [11] Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis, R. Battisti and A. Corrado: APPLICATION ASPECTS OF HYBRID PV/T SOLAR SYSTEMS
- [12]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic\\_thermal\\_hybrid\\_solar\\_collector](http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_thermal_hybrid_solar_collector)
- [13] Doc. Dr. Ing. Jan Kyncl - přednášky předmětů Elektroenergetika 3, Elektrické teplo 1 a 2.
- [14] Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc. - přednášky předmětů Světelná technika, Fotometrie a kolorimetrie

## 7. Seznam publikací autora vztahujících se k disertaci

Podíl autorství je ve všech případech rovným dílem. Na uvedené publikace nebyly registrovány ohlasy či citace.

### *Publikace v impaktovaných časopisech*

### *Publikace v recenzovaných časopisech*

[L1] Ing. Richard Najman, Nonlinear aspects of heat pump utilization, Acta Polytechnica vol. 50, August 2010, ČVUT Praha, ISSN 1210-2709, p. 60-64

### *Patenty*

### *publikace excerptované ISI*

### *Ostatní*

[L2] MATYSKA, Pavel; MUSÁLEK, Lubomír; KYNCL, Jan; NAJMAN, Richard; ZAMAZALOVÁ, Marcela; NOVÁK, Zdeněk; HARIRAM, Adithya; Vývoj matematického modelu pro optimalizaci provozu budov. SBTP 2012 SIMULACE BUDOV A TECHNIKY PROSTŘEDÍ, Brno: IBPSA-CZ, ISBN 978-80-260-3392-9.

[L3] Najman, R. - Nonlinear Aspects of Heat Pump Utilization, *POSTER 2010* [CD-ROM], ČVUT Praha, 2010, ISBN 978-80-01-04544-2

[L4] Najman, R. - Kašpar, J. - Vyhlídko, T.: Vliv zateplení objektu na ekonomiku provozu tepelného čerpadla. In *Sborník konference ELEN 2008* [CD-ROM]. Praha: ČVUT FEL, Katedra elektroenergetiky, 2008, s. 1-16. ISBN 978-80-254-2293-9.

[L5] Najman, R. - Kašpar, J. - Vyhlídko, T.: Economy and mathematic aspects of heat pumps utilization. In *Poster 2009* [CD-ROM]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009, p. 1-4.

[L6] Kyncl J., Najman R., Šafránek D.: Ekonomičnost elektrického a plynového vytápění porovnávána s možností použití tepelného čerpadla, Prezentace na Eltherm 2007



### ***Prototyp/funkční vzorek***

[L7] Musil, L. - Bálský, M. - Bayer, R. - Najman, R.: Koncentrátorový fotovoltaický panel (Photovoltaic panel with concentrator optics), [Program/Prototype]. 2010.

[L8] Musil, L. - Najman, R. - Kyncl, J. Fotovoltaický panel s vodou chlazeným článkem (Photovoltaic panel with water cooling), [Program/Prototype]. 2010.

## 8. Seznam ostatních publikací autora

Podíl autorství je ve všech případech rovným dílem. Na uvedené publikace nebyly registrovány ohlasy či citace.

***Publikace v impaktovaných časopisech***

***Publikace v recenzovaných časopisech***

***Patenty***

***publikace excerptované ISI***

***Ostatní***

[LA1] KYNCL, Jan; HARIRAM, Adithya; MATYSKA, Pavel; NAJMAN, Richard. Simulating the Power System Dynamics and Energy Consumption in a Hydrogen Bus. International Conference on Environment and Electrical Engineering IEEEIC 2013, ISBN 978-83-932625-9-5.

[LA2] Najman, R. - Kyncl, J. - Kašpar, J. - Vyhličko, T. - Nalezení závislosti magnetického toku na proudu v časové oblasti z naměřené závislosti (Finding magnetic flux dependency on current from measured data) In: Sborník konference ELEN 2008 [CD-ROM]. Praha: ČVUT FEL, Katedra elektroenergetiky, 2008, s. 1-6. ISBN 978-80-254-2293-9.

[LA3] Najman, R. - Kyncl, J. - Kašpar, J. - Vyhličko, T. Návrh rychlého zmrazení knih pomocí kapalného dusíku (Design of quick book freezing by liquid nitrogen) In: Sborník konference ELEN 2008 [CD-ROM]. Praha: ČVUT FEL, Katedra elektroenergetiky, 2008, s. 1-8. ISBN 978-80-254-2293-9.

## SUMMARY

This dissertation thesis is focused on models of the economy aspects of energy management of the houses and of the behavior of the entire system. The key aspect is the convenience of the entire solution.

There are a lot of partial models used for this thesis. Some of them are simplified versions for a quick solution; some on the other hand are quite complex and therefore used for verification of the results of the simplified ones. Since one of the key assets of this work should be doing precise calculations based on the location and specifics of the object, main models always use weather data for the exact location (temperature, cloud coverage) and sun gains are outcome of the model with precise sun movement and cloud coverage, not numbers from some year (or month) table. Thanks to it, the behavior of the objects in models corresponds well with the experience from the real life.

Generally models allow working with heat pumps and covers their nonlinear function very well (especially air to water ones). Models also calculate every possible heat source. In models there are included installations of solar panels, central accumulation tank, earth heat exchanger, insulation of the object, orientation and surfaces of windows and other aspects.

Functionalities of each model are illustrated on case studies, while the objects for case studies were chosen so there is possibility of comparison of the model outcome with real data from that year. Each object is unique in a way, so each case study can point out some different aspects, based on the models outcome.

Final part of the dissertation thesis is focused on the fixed combined photovoltaic and thermal solar collectors with diffusive concentrator. This part is not directly incorporated to energy management, because so far this work is aimed to prove feasibility of the future research and potential installations. Still it is connected in a way, because those panels could be best used for small installations (like on houses), where is best chance to use thermal part of the collector output. Of course, the model of these collectors can be easily integrated to models mentioned before and make it a part of the calculation of the energy management, once these collectors are in production.

Keywords:

Energy management, heat pump, solar panel, combined solar panel, solar panel with concentrator, model, earth heat exchanger, central accumulation tank

## RESUMÉ

Tato disertační práce se soustřeďuje na problematiku modelování objektů z hlediska ztrát a rovněž na chování systému jako celku a z toho vycházející ekonomickou výhodnost konkrétního řešení.

V práci je využita řada dílčích modelů. Některé jako zjednodušené varianty pro rychlé vyhodnocení, některé naopak jako komplexní nástroje sloužící k ověření výsledků jednodušších modelů. Jelikož nezanedbatelným přínosem práce má být umožnění cílených návrhů pro konkrétní umístění objektu, jsou pro všechny komplexnější modely načítány reálné údaje o počasí (teplota, zamračenost) a osluněnost je modelována z pohybu slunce po obloze a konkrétní zamračenosti, nikoli z tabulkových údajů ročních (či měsíčních) sum. Takto je v modelech dosaženo dynamiky chování, která velice dobře koresponduje se zkušenostmi z reálného provozu.

Modely umožňují pracovat s tepelnými čerpadly, přičemž velice dobře zohledňují nelinearitu tohoto zdroje (zejména pak typu vzduch/voda). Modely zároveň zpracovávají vytápění libovolným zdrojem energie. V modelech je také zahrnut solární panel, centrální akumulační nádrž, zemní výměník, izolace objektu, orientace a plochy oken a další aspekty.

Funkce jednotlivých modelů jsou ilustrovány na příkladových studiích, přičemž byly zvoleny objekty, u kterých bylo možno srovnat výsledky modelů s reálnými hodnotami a zároveň se jednotlivé objekty navzájem poměrně výrazně liší a hodí se tedy pro ilustraci různých aspektů z analýzy modelů vyplývajících.

Závěrečná část práce je věnována fixním kombinovaným fotovoltaicko-termickým solárním kolektorům s difusním koncentrátorem. Tato část byla věnována ověření koncepce, přičemž právě tyto panely jsou potenciálně velmi zajímavé pro malé instalace, kde lze rozumně využít termickou složku energie. Zároveň v souvislosti s modely objektu využitými v předchozí části lze tyto kolektory poměrně jednoduše začlenit do celkového modelu

objektu a využít tak v budoucnu model i pro optimalizaci návrhů těchto kolektorů v rámci celkové koncepce zásobování objektu energiemi.

Klíčová slova:

Energetický management, tepelné čerpadlo, solární panel, kombinovaný solární panel, solární panel s koncentrátorem, model, zemní výměník, centrální akumulační nádrž