

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Synergie energetické struktury v Industry 4.0

Autor: Bc. Jiří Šizling

Vedoucí práce: Doc. Ing. Petr Hořejší Ph.D.

Akademický rok: 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jiří ŠIZLING
Osobní číslo:	S17N0085P
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	Průmyslové inženýrství a management
Téma práce:	Synergie energetické struktury v Industry 4.0
Zadávající katedra:	Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Zásady pro vypracování

1. Industry 4.0 a energie
2. Synergie inteligentních technologií
3. Automatizace podnikových procesů v rámci inteligentní regulace
4. Praktická ukázka použití

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **0 výkresů**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

BENEŠ Pavel a kolektiv. *Automatizace a automatizační technika 1*. Brno: Computer Press, 2012.
ISBN 978-80-251-36287.

HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaické systémy*. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017.
ISBN 978-80-906281-5-1.

TOMEK, Gustav, VÁVROVÁ, Věra. *Průmysl 4.0 aneb Nikdo sám nevyhraje*. Průhonice: Professional Publishing, 2017. ISBN: 978-80-906594-4-5.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Šizling**
TENAUR s.r.o., Ohučov

Datum zadání diplomové práce: **23. září 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šizling	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hořejší Ph.D.	Jméno Petr	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Synergie energetické struktury v Industry 4.0		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	65	TEXTOVÁ ČÁST	65	GRAFICKÁ ČÁST	
---------------	----	---------------------	----	----------------------	--

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje představení technických zařízení budov ve spojení s internetem věcí a Industry 4.0. Hlavním cílem je nalezení a aplikování synergie zařízení pro energetickou úsporu. Výsledkem práce je návrh synergického systému pro komplexní regulaci nevýrobních zařízení.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Aplikace, regulace, tepelné čerpadlo, vzduchotechnika, rekuperace, fotovoltaika, obnovitelné zdroje, řídicí systém, úspora, energie, Industry 4.0, IoT, Internet věcí

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Šizling		Name Jiří	
FIELD OF STUDY	N0715A270012 "Industrial Engineering and Management"			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hořejší Ph.D.		Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Energetic Structure Synergy in Industry 4.0			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	65	TEXT PART	65	GRAPHICAL PART	
----------------	----	------------------	----	-----------------------	--

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis contains an introduction to the technical equipment of buildings in connection with the Internet of Things and Industry 4.0. The main goal is to find and apply the synergy of energy saving devices. The result of the work is the design of a synergistic system for complex regulation of non-production equipment.
KEY WORDS	Applications, regulatory, heating pump, air conditioning, recuperation, photovoltaic, operating system, saving, energy, Industry 4.0, IoT, Internet of Things

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Obsah

1. Úvod.....	3
2. Cíl práce.....	5
3. Potřeba synergického systému.....	7
4. Vybrané technologie, které lze využít v podniku.....	10
4.1. Vytápění/Chlazení.....	10
4.2. Vzduchotechnika.....	12
4.3. Obnovitelné zdroje.....	14
4.4. Měření a regulace.....	18
5. Internet věcí.....	19
5.1. Ukázka Práce s IoT.....	19
5.2. Integrace pomocí internetu věcí.....	20
6. Synergie.....	22
7. Praktický návrh synergického systému.....	24
7.1. Nejvýznamnější zařízení a faktory.....	25
7.2. Obecné závislosti.....	26
7.3. Vazby mezi zařízeními.....	29
7.4. Popis statického modelu.....	31
7.5. Zhodnocení a aplikace vazeb synergického systému.....	37
8. Praktické ověření.....	55
8.1. Stav technologie před instalací.....	55
8.2. Popis instalace.....	55
8.3. Reálné měření.....	57
8.4. Porovnání úspor.....	57
9. Podnik podle synergického systému.....	60
10. Závěr.....	62
11. Seznam zdrojů.....	65
11.1. Internetové zdroje.....	65
11.2. Knižní zdroje.....	66
12. Seznam obrázků.....	67
13. Seznam grafů.....	68
14. Seznam tabulek.....	69
15. Seznam zkratk.....	70
16. Přílohy.....	70

1. Úvod

Industry 4.0 je ve většině případů spojované s technicky vyspělou změnou řízení výroby a plánování. Málo kdo si ale uvědomí, že do budoucna čelíme i jiným problémům, které dnes nejsou tak závažné. Budeme se pravděpodobně potýkat s problémy spojené s energiemi. Tak, jak jsme nakládali s energiemi v dřívější době, kdy spotřeby byly nevýznamné, je dnes ještě částečně možné, ale ve velmi blízké budoucnosti zcela nereálné.

Svět si toto riziko uvědomuje. Energie jsou přepočítávané na CO₂/ MWh. Obnovitelné zdroje toto číslo razantně snižují, ale zvyšují ceny elektřiny. Nejméně ekologický, ale zároveň nejlevnější zdroj energie, je spalování tuhých paliv. Ta jsou postupně nahrazována novější technologií, která s sebou nese zvýšení ceny energie. Nejen domácnosti, ale i výrobci budou muset na tuto změnu reagovat. Jak je dnes obecně známo, zisk z výrobku určuje trh a vyhrává ten, kdo jej dokáže nejlevněji vyrobit. S razantním zvýšením ceny elektřiny to však bude problém a výrobci s ní začnou zcela jinak nakládat.

Odborníci začínají řešit koncept Energie 4.0, který sleduje podobný vývoj jako průmyslový sektor. Cílem je výrazné snížení spotřeby energií a umožnění využívat novou generaci obnovitelných zdroj. Cílem konceptu je maximalizovat energetickou účinnost stávajících zařízení a procesů. [1]

Industry 4.0 představuje čtvrtou průmyslovou revoluci, která se aktuálně nachází v počátcích. Pro úplnost je důležité představit i předchozí revoluce, aby byla patrná velikost změny, která lidstvo v dalším období čeká:

První průmyslová revoluce přinesla parní stroj, který měl zásadní vliv na pomoc pracovníkům a usnadnění fyzické síly.

Druhá průmyslová revoluce přinesla elektřinu a zavedla pojem montážní linka.

Třetí průmyslová revoluce ukázala, že lze zautomatizovat rutinní procesy. Což dokázalo ušetřit pracovníky i minimalizovat chyby ve výrobě.

Čtvrtá průmyslová revoluce jde samozřejmě dál a snaží se integrovat veškerá zařízení, informační systémy do jednoho celku, a sice pomocí internetu. Tím by se měla velmi zásadně snížit rutinní práce, zrychlit procesy a rapidně snížit chyby ve výrobě. Jelikož je vše pouze na začátku, jsou funkční celky spíše ojedinělé. Problémem není vytvořit koncepčně propracovaný systém, ale aplikovat jej na již funkční procesy.

Tato práce poukazuje na výhody spojení plánování a výroby v Industry 4.0 s energií. Ta musí být začleněna do celkové synergie podniku pro ekologický a efektivní procesy.

„Synergie (z řec. syn-ergazomai, spolu-pracovat) znamená spolupráci, společné působení. Označuje situace, kdy výsledný účinek současně působících složek je větší než souhrn účinků jednotlivých složek. Někdy se symbolicky vyjadřuje jako „ $1+1>2$ “.“ [2]

Industry 4.0 je spojeno se čtvrtou průmyslovou revolucí, která je aktuálně ve svém úplném počátku. Průmyslové revoluce vždy přinesou pro lidstvo něco nového, nevyzkoušeného. U většiny lidí vyvolávají strach o práci nebo z používání nových technologií. Jak to tedy je? Máme se opravdu lépe? Autorův úsudek je takový, že pouze vyrovnávají neustále se zrychlující svět a spoří lidstvu energii. Proto je v rozvinutých zemích více času na osobní život s lepším ekonomickým zázemím jedince.

Do průmyslové revoluce zajisté patří i správa budov a technologií, tedy **technická zařízení budov** (Dále jen „TZB“). Ta by měla zajistit spojení a autonomní řízení všech systémů TZB s ohledem na jednoduchost ovládání a úspory energií.

Postupnými kroky v diplomové práci dojde k poukázání na fakt, že energie bude v budoucnu velmi důležitou součástí hospodaření každého podniku. Přenosové soustavy se postupně decentralizují a bude kladen obrovský důraz na efektivní řízení spotřeb nejen podniků, ale i v soukromém sektoru.

2. Cíl práce

Cílem diplomové práce s názvem „Synergie energetické struktury v Industry 4.0“ je návrh synergií systémů v oblasti energetické problematiky. Největší část automatizace se používá pro zlepšení výrobních procesů a úsporu pracovníků. Energie jsou z pravidla na druhém místě. Znamená to však, že by měly být opomíjené? V aktuální energetické situaci lze automatizací generovat větší úspory na procesech, avšak z globálního a dlouhodobého hlediska je důležité řešit energie se stejnou vahou. Z autorova zkušeností je patrné, že synergický systém pro maximalizaci ekologičnosti dokáže snižovat náklady a lze jej uplatnit i na stávající řešení pomocí IoT a obecných prvků Industry 4.0.

Téma vzniklo na základě autorových zkušeností z praxe, kde působí jako vedoucí vývojového centra TENAUR. Vývoj probíhá na produktech značky TENGEO. Produkt je orientovaný na obnovitelné zdroje. Především tepelná čerpadla a fotovoltaické elektrárny. Firma TENAUR, s.r.o. působí na trhu s instalacemi technických zařízení pro domácnosti i průmyslové objekty. Konkurenční výhodou je bezesporu vývoj vlastních produktů, které jsou využívány na většině instalacích. Firma TENAUR, s.r.o. je od konce roku 2018 členem Skupiny ČEZ. Společnost ČEZ Prodej, a.s. využívá produkty TENGEO pro residenční bydlení a lze je nalézt i v nově vzniklém zákaznickém centru v Plzni (rok 2021). Vývoj produktů přesahuje rámec residenčního bydlení a cílí na nové technologie, které budou využívány v následujících letech. Tyto technologie jsou používány v osobní a firemní sféře jako ucelené řešení pro řízení technických zařízení v budovách. Hlavním produktem jsou vnitřní jednotky tepelných čerpadel a fotovoltaických elektráren, které lze rozšířit o konceptuálně provázanou regulaci veškerých periférií jako jsou žaluzie, osvětlení, vytápění, větrání, zabezpečení a další. Aktuální vývoj je směřován pro maximalizaci využití energie z fotovoltaických elektráren s ohledem na pohodlí a úspory instalací.

Vzhledem k obrovským možnostem nakládání s energií **jsou v této práci navrženy možnosti získávání a využití energie v základních technologických zřízení budov a výrobních strojů**. Pro budoucí ekologické využití jsou technologie budov vybírány s ohledem na ekologii, udržitelnost a návratnosti investičních nákladů. Všechny použité technologie musí být dlouhodobě udržitelné, spolehlivé a vyzkoušené. V práci následuje popsání možností řízení energií s využitím moderních technologií spolupracujících s internetem věcí aktuální průmyslovou revolucí Industry 4.0 a vysvětlení výhod IoT.

V praktické části diplomové práce dojde k propojení teoretické části s praktickými znalostmi autora. Nejprve se **určí závislosti jednotlivých zařízení na různých vybraných veličinách**. Například odpadní teplo, počasí, vytápění, ... Tyto závislosti budou detailněji rozepsané pro konkrétní případy. Následně pak vznikne sumarizovaný přehled. Vybrané složitější synergické vazby budou ověřeny pomocí statického modelu.

Ač je problematika synergií energetické struktury zmiňována v rámci strategií Energie 4.0, konkrétní literární zdroje k této problematice stále chybějí. V případě vědeckých článků se podařilo vyhledat jen takové, které se tématu věnují okrajově. Autor věří, že obdobná práce nejspíše existuje, avšak jako předmět podnikového tajemství. Hlavním přínosem této práce tedy bude otevřené prozkoumání dílčích synergických vazeb včetně výpočtového modelu.

Výpočtový model v závěru práce bude ověřen v rámci konkrétního případu na konkrétní realizované instalaci.

3. Potřeba synergického systému

Spotřeba energie je neustále na vzestupu, jak ukazuje graf 3.1. Je zřejmé, že trend křivky spotřeby neustále stoupá. V grafu si lze povšimnout strmého nárůstu výroby elektřiny v období, kdy byla spuštěna výroba v jaderné elektrárně Temelín, a Česká republika se tak stala vývozní zemí z pohledu výroby elektřiny. V současné době se v České republice spekuluje o budoucnosti výroby energie. Existují dvě možná řešení. Rozšíření výroby v jaderné elektrárně Temelín či prodloužení výroby energie v jaderné elektrárně Dukovany. I přesto, že má Česká republika aktuálně nadbytek výroby elektřiny, je tento stav pouze dočasný za předpokladu, že trend spotřeby bude neustále stejný.[3]

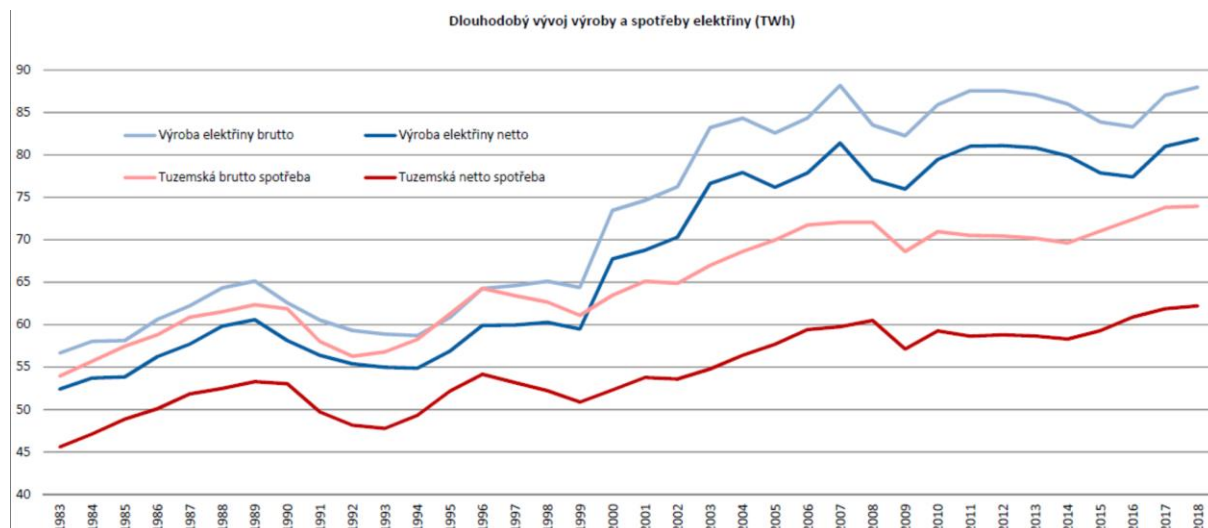
Uvedme příklady faktorů, které mohou v budoucnosti ovlivnit uvedený trend:

Zvýšení:

- Nástup elektromobility
- Likvidace zdrojů na tuhá paliva
- Zvyšování výroby
- Zvyšování potřeb a spotřebičů v soukromém sektoru

Snížení

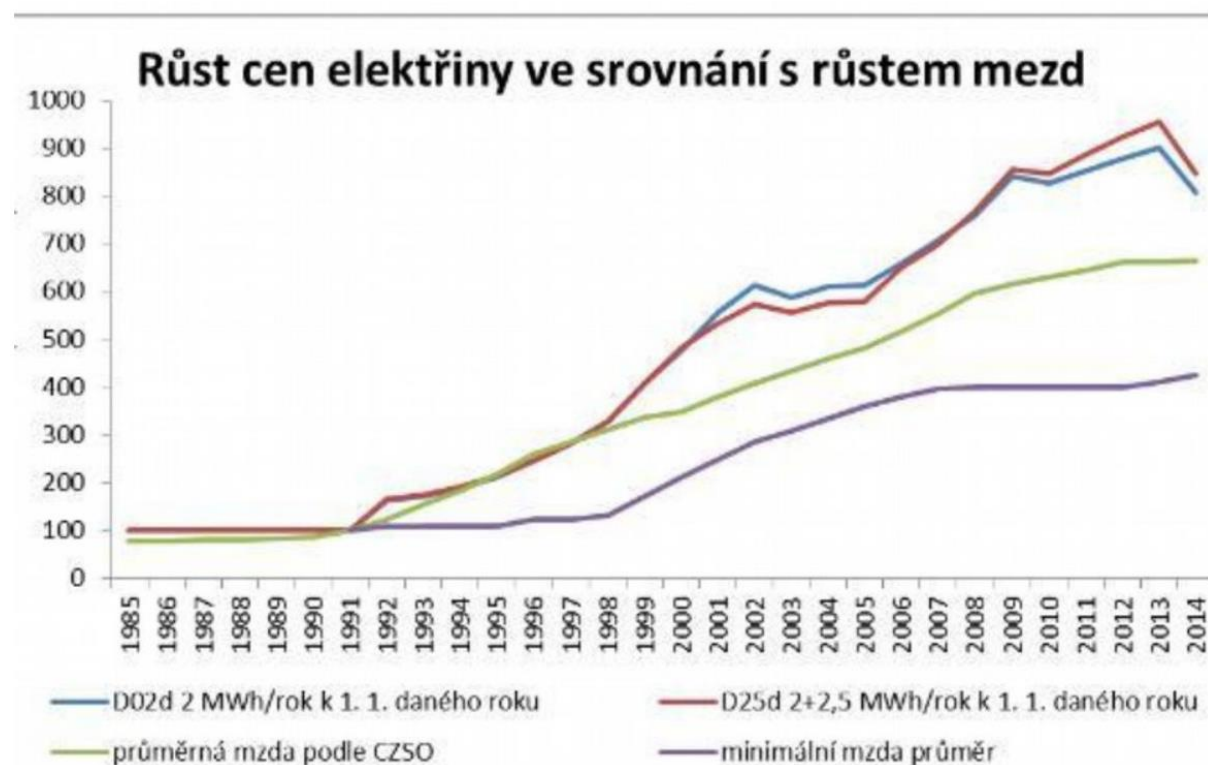
- Výstavba pasivních domů
- Dotování obnovitelných zdrojů do doby, kdy bude reálná návratnost pro investora
- Řízení spotřeb
- **Intenzivnější užívání prvků Industry 4.0** – v rámci této práce autor obhájí významné postavení v bodech ke snížení celkové spotřeby energie



Graf. 3.1 Výroba vs spotřeba energie
(<https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/19020-spotreba-elektřiny-byla-v-roce-2018-nejvyšší-za-cele-sledované-období>)

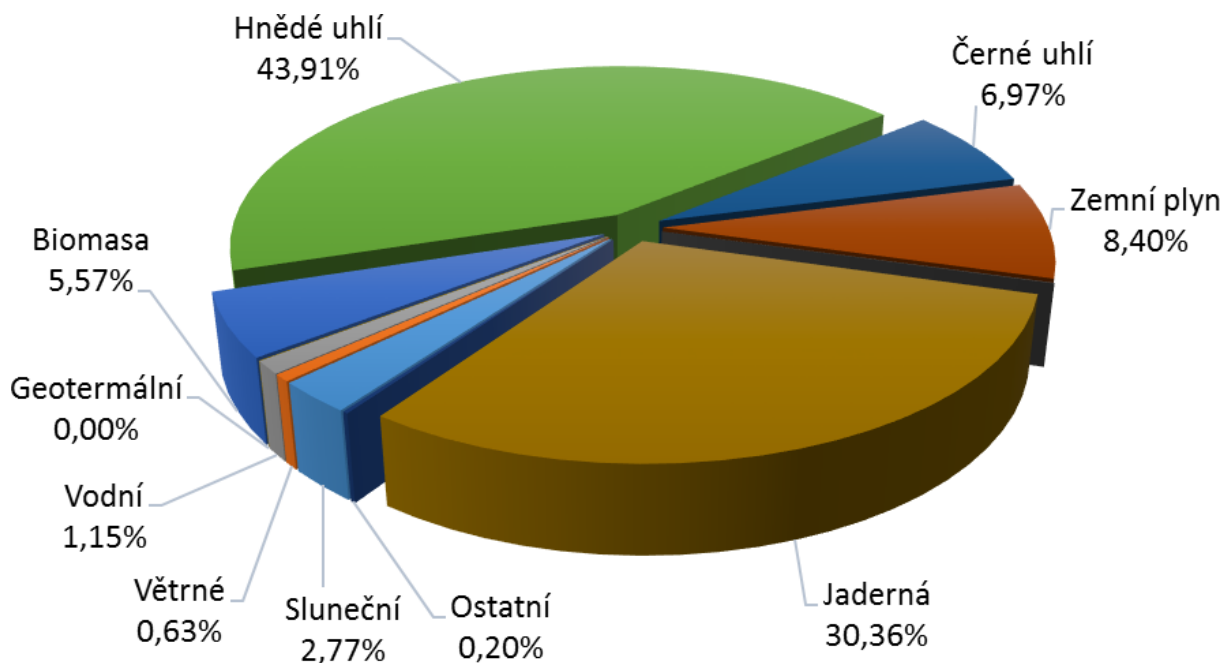
Ceny energií

Graf 3.2 zobrazuje cenu elektřiny vzhledem k průměru minimální mzdy. Je jasně patrné, že cena elektřiny roste rychleji než mzda. [4]



Graf. 3.2 Růst ceny elektřiny
(<https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cena-elektřiny-od-90-let-stoupala-na-osminásobek-1128801>)

Vzhledem k závazkům na snižování CO₂ je Česká republika nucena přistupovat ke snižování neekologické výroby. Na grafu 3.3 je zobrazen podíl jednotlivých zdrojů na výrobu elektřiny u nás v ČR. Je jasně patrné, že největší část je zároveň nejméně ekologická a na výrobu 1 kWh nejlevnější. Celých 43,91 % je získávána z hnědého uhlí.



Graf. 3.3 Podíl zdrojů elektřiny v ČR
(<https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>)

Faktory ovlivňující trend spotřeby jasně naznačují budoucí nárůst spotřeby i ceny energií. Je tedy na místě hledat nové cesty k úspoře energie.

Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že zejména poslední dobou narůstá potřeba efektivních úspor v oblasti spotřeby energie domácností a společností. Jedním ze zřejmých opatření je optimalizace řízení energetických struktur, což je téma, který se tato práce zabývá.

4. Vybrané technologie, které lze využít v podniku

Technologie v průmyslu běžně fungují samostatně bez synergických vazeb. Tato kapitola popisuje energeticky náročné technologie, které lze v podniku samostatně použít a jsou zásadní pro pochopení problematiky energií v podniku.

4.1. Vytápění/Chlazení

Z energetického hlediska je podstatným prvkem teplota vnitřních prostorů, kterou nelze opomíjet. Teplota má poté v mnoha případech větší význam než spotřeba níže vyjmenovaných výrobních strojů, např:

- Kotel na tuhá paliva
- Plynový kotel
- Elektrokotel
- Tepelné čerpadlo
- Kogenerační jednotka

Ve vyspělém průmyslu je nutné dbát na možnosti regulace a ekonomičnost provozu. Z tohoto důvodu je nejlepším řešením tepelné čerpadlo, které lze efektivně řídit a využít pro celoroční topení i chlazení. Oproti elektrokotli je sice potřeba uvažovat s vyšší pořizovací cenou, avšak náklady na provoz mohou být zhruba třetinové. Návratnost takového systému může být i sedm let, přičemž životnost zařízení je odhadována na 20 let. [6]

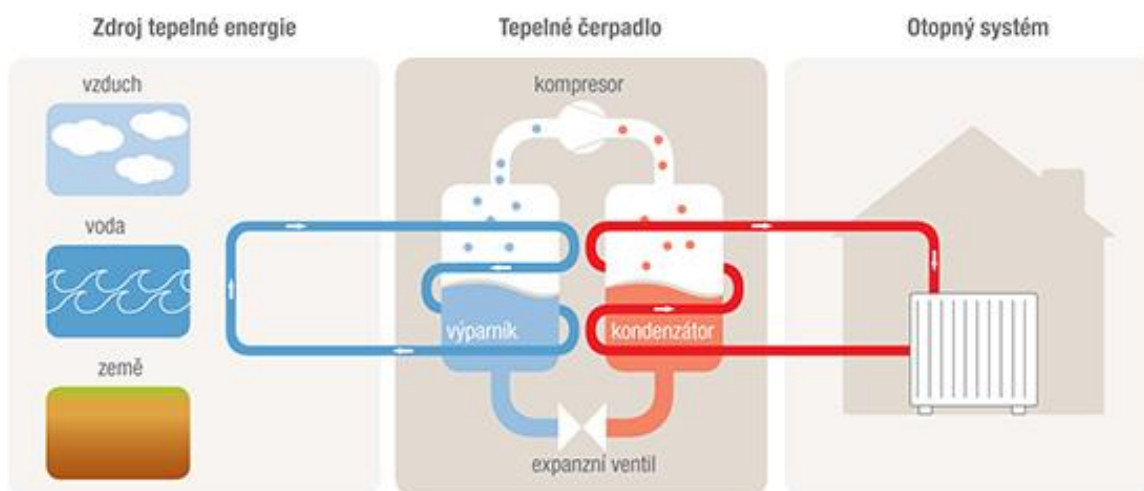
Tepelné Čerpadlo/ Klimatizace

Tepelná čerpadla získávají teplo ochlazením venkovního vzduchu, půdy nebo vody. Jak je vidět na obrázku 4.2, nestává se tak samovolně, ale jde o velmi známý princip. V případě tepelného čerpadla se teplo z relativně chladného místa převádí na vyšší teplotní hladinu pomocí kompresoru. Zde je spotřebovaná 1/3 výstupní energie ve formě elektřiny. Teplo je odebráno chladičem. To má nízkou teplotu varu. Kapalná pracovní látka se po odebrání tepla z tepelného



Obr. 4.1 Tepelné čerpadlo

zdroje vypaří, opustí výparník v plynném stavu a vstupuje do kompresoru, kde se zvyšováním tlaku ohřeje. Zahřátý plyn skrze kondenzátor (tepelný výměník) odevzdá své teplo pracovní látce (voda nebo vzduch). Během tohoto procesu chladivo kondenzuje a stává se znovu kapalinou. Následně je skrze expanzní ventil snížen tlak a chladivo znovu vstupuje do výparníku. [6] Venkovní jednotka vzduchového tepelného čerpadla je vidět na obrázku 4.1. V průmyslu se často používají takzvané kondenzační jednotky s přímým výparem do vzduchotechniky. Tento způsob je velmi oblíbený především pro snadný ohřev nebo chlazení velkých prostorů, kde není možné jiné použití než vzduchotechnické. Výhodou je možnost všestranného použití vzduchotechniky (viz následující kapitola).



Obr. 4.2 Cyklus tepelného čerpadla
(<http://www.envienergyczech.cz/tepelna-čerpadla.php>)

4.2. Vzduchotechnika

Požadavky na vytvoření stanoveného tepelného komfortu a stupně čistoty vnitřního prostředí řeší obor větrání a klimatizace. Tepelné i vlhkostní mikroklima a čistota ovzduší jsou pro jednotlivé prostory dle způsobu využití definovány tak, aby vnitřní podmínky vyhovovaly provozu. Důraz je kladen na technologické a procesní požadavky, v neposlední řadě na požadavky osob (klimatizace pro komfort). V některých případech se tato dvě hlediska kryjí. Existují však i případy, kdy jsou více či méně rozdílná, což vyžaduje zvýšené nároky na návrh větracího a klimatizačního systému.



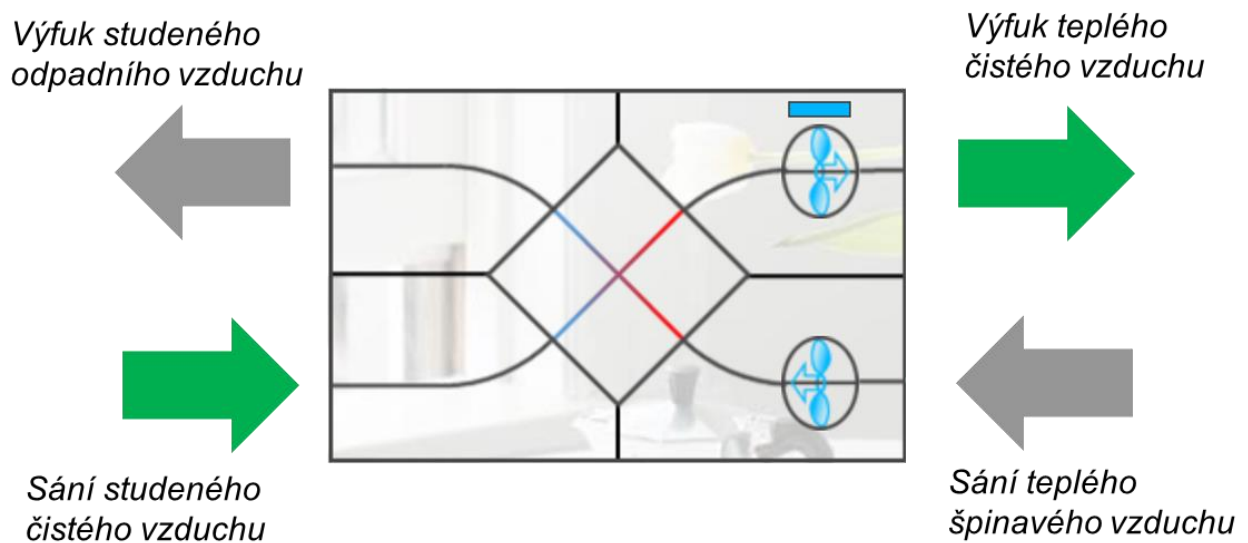
Obr. 4.3 Vzduchotechnika (Zdroj vlastní)

Hlavními parametry komfortního tepelného a vlhkostního stavu prostředí jsou: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu, intenzita turbulence a střední radiční teplota. Čistota vnitřního ovzduší je definována limitním obsahem škodlivin v ovzduší. Tyto veličiny jsou ve výrobních halách často přísně hlídány. Navíc, výrobní stroje mají značné emise různých druhů a vzduchotechnické celky jsou tak velmi robustně navrženy pro značnou obměnu vzduchu.

Oblast průmyslové vzduchotechniky je zaměřena především na hledisko technologické a procesní. Klimatizace pro technologické účely často představuje velice složitá zařízení. Musí se vypořádat s požadavkem na zajištění konstantních parametrů prostředí. Může se jednat o teplotu, relativní vlhkost nebo čistotu vzduchu. K tomu, aby vzduchotechnické zařízení spolehlivě plnilo svoji funkci, slouží řada komponent, ze kterých je systém složen. Patří mezi ně: ohřívače, chladiče, zvlhčovače, odvlhčovače, ventilátory, filtry, vyústky, mřížky,

anemostaty, zařízení pro zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu nebo vzduchotechnické rozvody. Pro řízení celého systému a ověřování shody požadovaných a skutečných parametrů je zapotřebí řídicího regulačního systému pracujícího s informacemi z čidel umístěných v klimatizovaných prostorách a uvnitř vzduchotechnického systému. Příklad zapojení vzduchotechnického systému na obrázku 4.3. [6]

Důležitou součástí těchto zařízení jsou rekuperační výměníky. Ty zajistí obměnu vzduchu s minimální ztrátou tepla. Zjednodušený princip je vidět na obrázku 4.9.



Obr. 4.9 Rekuperace tepla VZT (Zdroj vlastní)

Výsledkem je možnost neustálého větrání s proměnnými otáčkami ventilátorů závislé na potřebě obměny vzduchu ve výrobní hale nebo kancelářských prostorů. Účinnost těchto zařízení je přibližně 90 %. Únik tepla z objektu poté zaujímá 10 %.

4.3. Obnovitelné zdroje

Jak již bylo naznačeno moderní společnost hledá a musí hledat nové možnosti zdrojů energie. Praktická část této práce bude pracovat s obnovitelnými zdroji energie. Obnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, které v lidském časovém měřítku téměř neubývají a jsou téměř (teoreticky) nevyčerpatelné. Jde o část energetických toků vyskytujících se často v blízkosti zemského povrchu, a o část zásob, které se obnovují alespoň tak rychle, jak jsou spotřebovávány. Jedná se o zdroje, které nejsou vyčerpávány činností člověka. Například sluneční záření a z něj odvozené větrnou a vodní energii, dále o energii přílivu, geotermální energii, biomasu a další. [7]

Vzhledem k tomu, že pro průmyslové použití je nejsnazší a nejobvyklejší použití energie získané ze slunečního záření (tedy fotovoltaickou elektrárnou nebo solární kolektory), budeme se dále zaměřovat téměř výhradně na ni.

Fotovoltaika

Fotovoltaika představuje technologii pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu bez pohyblivých částí. Na obrázku 4.4 lze vidět fotovoltaický panel. Jedná se o nejdostupnější obnovitelný zdroj energie na Zemi – sluneční záření. Sluneční záření, které ročně dopadne na zemský povrch, je 4000krát větší než veškerá spotřeba energie celého lidstva. [6]



Obr. 4.4 Fotovoltaika (Zdroj vlastní)

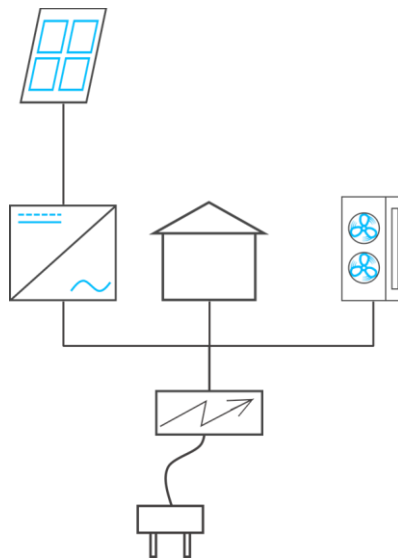
Mezi hlavní nevýhody fotovoltaické elektrárny patří nestabilní dodávka energie závislá na denní hodině, počasí a ročním období. Druhým problémem je legislativa, která dnes neumožňuje plnohodnotný výkup energie a majitel elektrárny získá pouze to, co si sám spotřebuje. Situace se mění podle připojovacích podmínek.

Existují tři možnosti:

- Výkup energie za minimální cenu
- Zákaz prodeje – nesmí být přetok energie => přetok je zpoplatněn formou pokut
- Možnost přetoku bez nároku na výkup

Druhy fotovoltaických systémů:

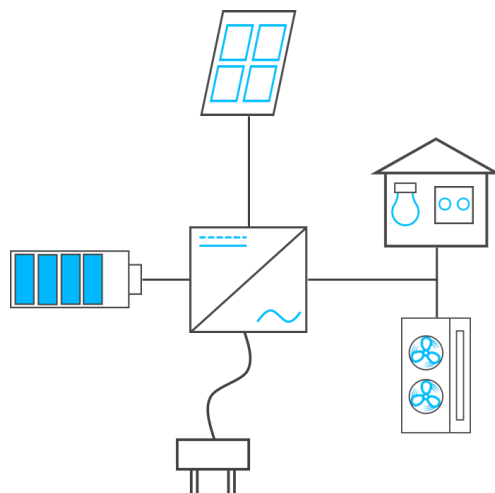
a) Síťová fotovoltaika (On grid)



Obr. 4.5 Síťová fotovoltaika (Zdroj vlastní)

Síťová fotovoltaika je zcela základní použití. Sestava se skládá z fotovoltaických panelů a střídače, viz obrázek 4.5. Ten dokáže vyrábět energii pouze v případě, že je dostupná distribuční síť. Z důvodu různorodosti výroby musí být spotřebiče regulovány uvnitř výroby.

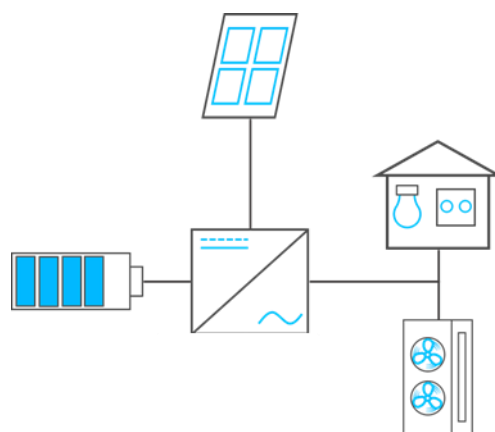
b) Hybridní fotovoltaika (Hybrid)



Obr. 4.6 Hybridní fotovoltaika (Zdroj vlastní)

Sestava je doplněna o baterie a robustnější střídač, který dokáže regulovat baterie a chytře využívat energii. Není nutné přesně regulovat spotřebu. Tento způsob je znatelně dražší a nedosahuje takových výkonů jako síťové elektrárny. Oproti síťové elektrárně má ale možnost i ostrovního systému při výpadku distribuční sítě. Schéma hybridní elektrárny je vidět na obrázku 4.6.

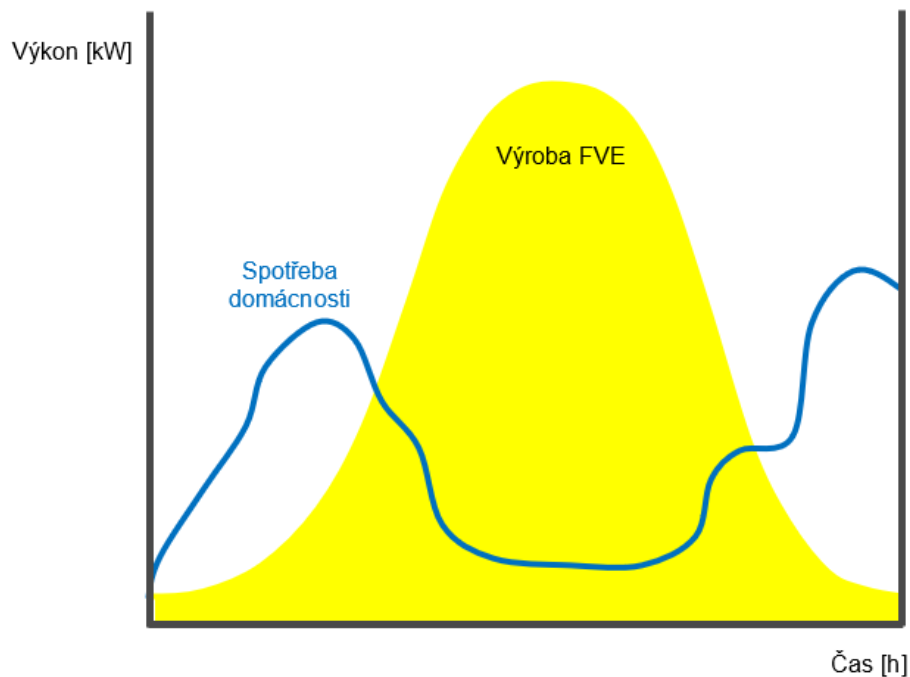
c) Ostrovní elektrárna



Obr. 4.7 Ostrovní fotovoltaika (Zdroj vlastní)

Málo využívané řešení vhodné spíše pro pasivní domácnosti nebo chaty s horší dostupností energie lze vidět na obrázku 4.7. Je to velmi podobné řešení jako hybridní elektrárna, ale bez možnosti napojení na distribuční síť.

Tyto tři druhy solární elektrárny se liší z pohledu pořizovací ceny, náročnosti na regulaci a možností zálohy, např. do baterií. Pro průmyslový sektor je nejvhodnější síťová elektrárna. Má ze všech typů nejnižší pořizovací cenu a neobsahuje komponenty náročné na možné výměny jako jsou třeba baterie. Fotovoltaická elektrárna skrývá v soukromém sektoru značnou nevýhodu. Graf 4.1 zobrazuje výrobu elektrárny a typickou spotřebu v soukromém objektu. Ve chvíli, kdy je výroba nejvyšší, jsou majitelé v práci, tudíž energii nepotřebují. Proto jsou v soukromém sektoru oblíbené hybridní elektrárny umožňující akumulaci do baterie.



Graf. 4.1 Výroba FVE vs spotřeba (Zdroj vlastní)

V průmyslovém sektoru to však funguje naopak. V době nejvyššího svitu je největší požadavek na energii. Nemá tedy význam používat baterie. Efektivita se dostává pouze v případě, že je dobře vyřešena regulace, která dokáže na aktuální výrobu energie přesně reagovat.

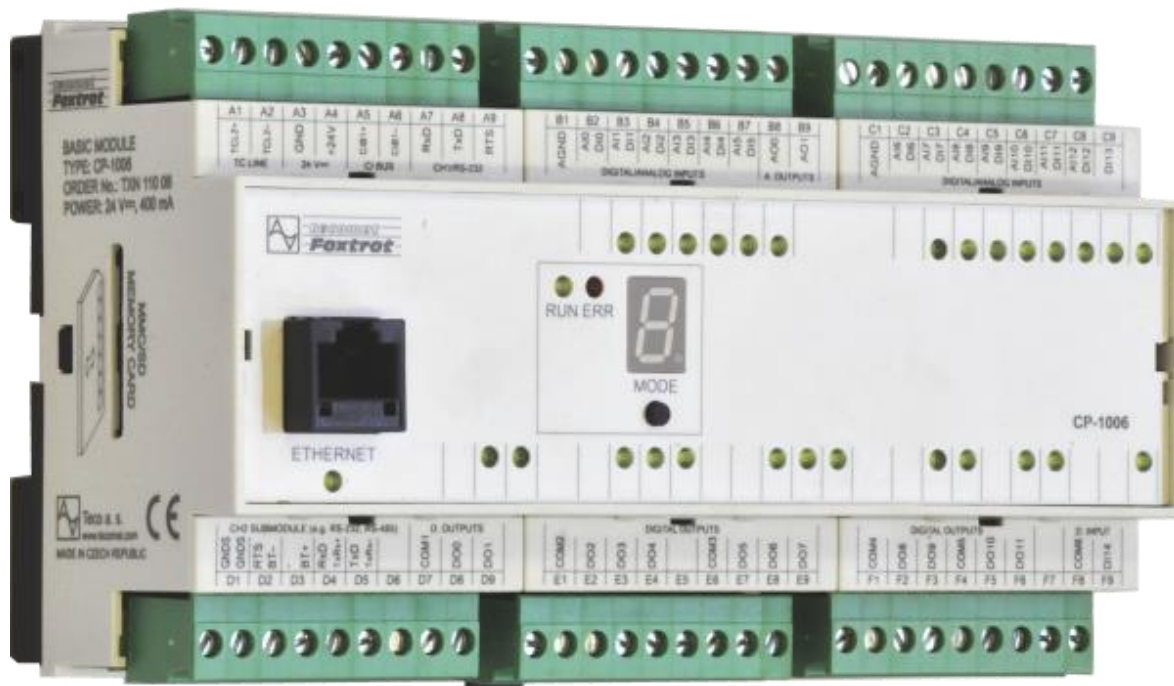
4.4. Měření a regulace

Měření je ve smyslu energetické regule proces využívání sensoriky pro vyhodnocování fyzikálních veličin jako je hmotnost, teplota nebo logické stavy polohy. Je nezbytná pro rozhodování řídicího systému.

Regulace představuje výsledný proces zpracovávající vstupní data a na základě předdefinovaného algoritmu vytváří reakce na akčních členech – zařízení, které vykonávají fyzickou činnost.

Měření a regulace (Dále jen „MaR“) si lze zjednodušeně představit jako regulační spojení všech zařízení do jednoho celku. Cílem je vytvořit efektivní regulaci, která dokáže řídit a měřit komponenty podle předdefinovaných algoritmů pro co největší samostatnost celého systému. Algoritmus cyklicky zpracovává vstupy z měření, zaznamenává statistiky a vytváří úkony pro řízení budoucích stavů.

Základem MaR je programovatelný logický automat, běžně označovaný jako PLC (Programmable Logic Controller) nebo PAC (Programmable Automation Controller). Na obrázku 4.8 lze vidět PLC od českého výrobce Teco a.s.. [6]



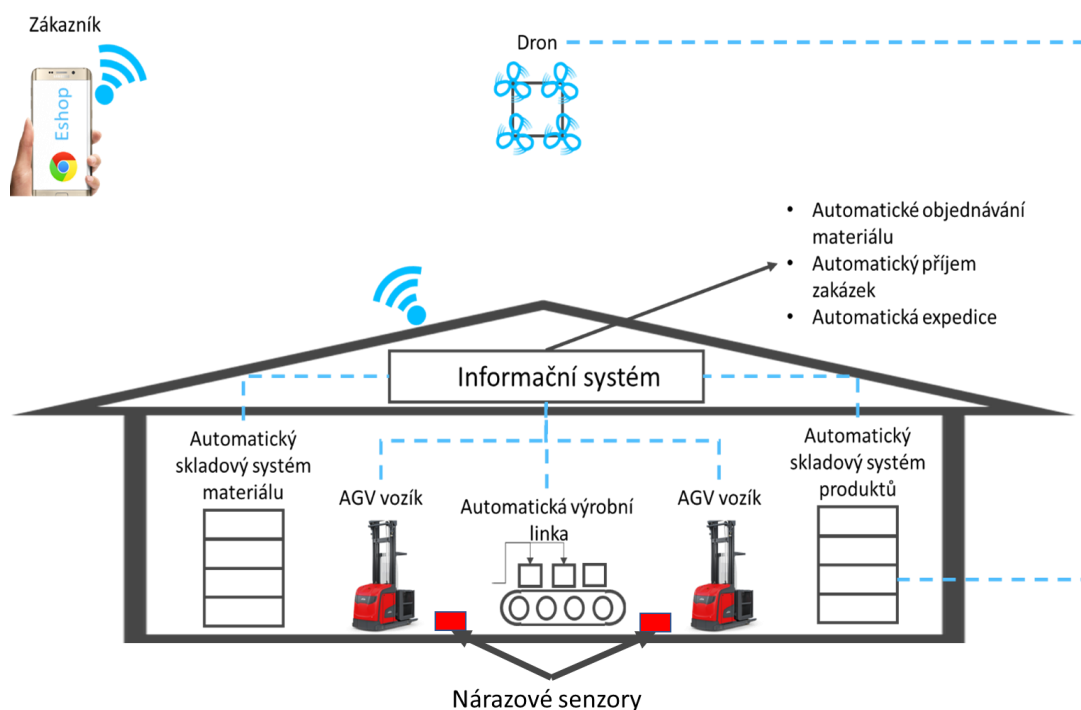
Obr. 4.8 PLC Fox Trot
(<http://www.tecomat.com/clanek-886-cp-1006.html>)

5. Internet věcí

Internet věcí (Internet of Things - IoT) lze obecně popsat jako síť pro fyzická zařízení s možností komunikace s vnějším světem. Náročnost na výpočetní výkon mnohdy převyšuje možnosti a cenu daného zařízení, proto je výhodné přeměřovat výpočetní výkon na server a lokálně provádět pouze příkazy a měření. Datová komunikace může být zcela odlišná, a tudíž je velmi složité propojovat zařízení do ucelených řešení. Přínos je zejména v propojení do konceptuální logiky. Tento způsob zařízení je především určený pro průmyslové využití, kde je provázanost nezbytná. IoT dokáže všechna zařízení, čidla a akční členy provázat bez nutnosti lokálních výpočtů a připojit je tak do lokálního výpočtového serveru

5.1. Ukázka Práce s IoT

Zákazník si objedná produkt s vlastní specifikací, která je následně odeslána do databáze informačního systému podniku. Ten naplánuje výrobu a informuje o možné době dodání. Podle plánu se zašlou data do uceleného zařízení, jakožto automatického skladového systému, který připraví materiál pro AGV vozíky. Ty jsou přesně naváděny ze serveru a fungují jako ucelené zařízení. Příkladem jednoduchých zařízení mohou být nárazové senzory, které dokážou upozornit řídicí systém v případě možné kolize. Finálním výstupem je automatické vyskladnění a následné dodání dronem naváděného pomocí GPS skrze telefon zákazníka, viz obrázek 5.1.



Obr. 5.1 Industry 4.0 (Zdroj vlastní)

Každá průmyslová revoluce sebou nese obavy pracovníků o svá pracovní místa. Historie ukázala, že tyto revoluce posunuly lidstvo k lepší ekonomické situaci jedince i celku. Společně s tím se postupně snižuje pracovní doba, a lidé tak mají více času na své osobní zájmy. Do budoucna tomu pravděpodobně nebude jinak. Automatizace tráví čas na výrobních i nevýrobních procesech za lidi.

5.2. Integrace pomocí internetu věcí

Existuje více možností, jak nahlížet na architekturu Internetu věcí. Pro potřeby této práce si jednotlivé komponenty rozdělíme takto:

a) Jednoduché zařízení

Takové zařízení může sloužit pro měření veličin jako je tlak, vlhkost, vodní hladina, ... Tyto jednoduché komponenty jsou rozmístěny v různých částech instalací a jejich úkolem je pouze zprostředkovat informaci. Tento prvek si představme jako senzor doplněný o baterii nebo napájení. Není zapotřebí vysoký výpočetní výkon, ale dostatečně dlouhá výdrž baterie, a to zejména v případě, kdy je člen umístěn v nepřístupných místech. Tato zařízení lze vybavit časovačem, který probouzí senzor pouze po nezbytně krátkou dobu s určitou periodou.

Obdobně mohou fungovat aktivní členy. Ty dostanou pouze informaci o změně stavu, který musí vykonat. Například otevření ventilu odčerpávání, klapka vzduchotechnického potrubí, ...

b) Ucelené zařízení

Ucelené zařízení jsou složitější systémy, které obsahují i vlastní výpočetní výkon. Mohou být vybaveny například PLC nebo řídicí elektronikou. Tato zařízení jsou z velké části soběstačná a internet věcí je pouze doplňuje o rozsáhlejší a pokročilé možnosti. Například tepelné čerpadlo, výrobní stroj, lednice, ... Využití principů internetu věcí je vhodné zejména za účelem vzdálené zprávy, predikce budoucího řízení podle předpovědi počasí, odstavení stroje na základně havarijních stavů, plán výroby, změna výroby, ... Tento druh začíná být velmi populární ve spotřební elektronice. Výrobci nabízejí pokročilé funkce například v lednicích. Je třeba dát pozor, zda jsou daná

rozšíření opravdu užitečná nebo se jedná o technologickou fascinaci. Mnohdy může být internet věcí pouze marketing s mizivým dopadem na praktičnost.

c) **Servery**

Server je v tomto případě brán jako datové centrum obsahující výpočetní výkon a databáze. Jednoduchá zařízení odesílají informace o svých stavech. Ty jsou v serveru vyhodnoceny a následně zasílány nové stavy pro akční členy. Pokud se jedná spíše o databázový server, zastrešuje přístup do ucelených zařízení a zprostředkovává vzdálenou správu, upozornění na krizové stavy, obecné informace, počasí, ... Není možné využít pro jednoduchá zařízení.

Naopak server s výpočetním výkonem může komunikovat s jednoduchým i uceleným zařízením a zprostředkovávat tak výpočetní výkon i tok informací. Představme si server virtuální nebo fyzický, ke kterému jsou připojeny veškeré komponenty. Ten pak sbírá data a vhodným algoritmem vyhodnocuje následné akce. Jednotlivé komponenty jsou zařízení vybavené pouze komunikací a jednoduchou logikou pro vyhodnocení stisku tlačítka, teploty, intenzity osvětlení, pohybu nebo vybavené aktivním členem pro spínání osvětlení, pohyb žaluzií, sirény, ...

6. Synergie

Synergie v průmyslu nachází zásadní umístění. Vzhledem k aktuálním situacím v průmyslu, kdy většina firem využívá alespoň minimální automatizaci na úrovni výrobních linek a informačních systémů, je synergie logickým krokem vpřed. Zde se ale nachází velký problém a otevírá se prostor novým profesím. Potenciální pracovníky lze nazvat systémovými integrátory. Pracovník na této pozici by měl řešit jednotlivé vazby v podniku, tj. synergii všech technologií použitých při výrobě a správě budovy. Jedná se o optimalizaci výrobních nákladů, času, pracovníků a v neposlední řadě energií.

Veškeré již využívané komponenty lze využívat samostatně aniž by byla nutná jejich integrace bez narušení funkcionality. Použití v synergii však zajistí optimalizaci a většinou i výrazné úspory.

Tento druh spolupráce dvou a více komponent nechápejme pouze z fyzikálního nebo matematického hlediska. Jedná se o koncept řešení, který vhodnou kombinací dílčích řešení zajistí lepší výsledky než samostatná řešení. Obecná metodika pro implementaci těchto vazeb zatím neexistuje. Ze zkušenosti autora lze říci, že některé vazby se objeví náhodou, jiné zkušeností nebo kvalitním nápadem. Na tomto místě navrhneme jen velmi hrubou metodiku pro implementaci energetické synergie:

1. Najít nejvýznamnější zařízení a faktory
2. Najít obecné závislosti. Například v čase nebo jiné veličiny
3. Navrhnout vazby mezi zařízeními a faktory
4. Zhodnotit vazby
5. Aplikovat vazby. Pokud je aplikování složitější, není vždy nutné dbát na přesné principy.

Je praktické aplikovat Paretův princip: „**20 % vazeb vyřeší 80 % synergie**“

Typickým příkladem synergie je spojení dvou lidí do jednoho projektu. Pokud by každý jedinec řešil vlastní projekt, výsledná hodnota bude nižší než v případě spojení. Lze tedy říct, že u týmových kolegů funguje synergie.

Pojďme si vysvětlit podstatu synergie na produktu obecném. Tržní hospodářství 21. století určuje cenu produktu, nikoli součet jednotlivých komponent. Jinými slovy, vyhrává ten, kdo nejefektivněji vyrábí.

Produkt dvou shodných firem

Vezměme první produkt, který nás napadne a jistě k němu najdeme velké množství výrobců s různou přidanou hodnotou a různou cenou. Řekněme, že dvě velmi vyspělé značky vytvoří sice odlišný produkt v technických detailech, ale jedná se stále o ten samý produkt. Obě firmy dospěly do bodu, kdy výroba nelze v aktuálním světě a poznání zefektivnit. Přesně k tomuto bodu nedojde, protože obě firmy vyhledávají synergii s jiným produktem nebo službou, která zvedne cenu produktu za minimální náklady a ten následně funguje mnohem efektivněji a zajistí vlastní UVP. (UVP = Unique Value Proposition, česky konkurenční výhoda).

Lidské poznání je z našeho pohledu technologicky velmi vyspělé. Pokud aktuální technologickou vyspělost aplikujeme na příklad dvou shodných firem, lze s velkou nadsázkou říct, že aktuální lidské poznání dospělo určité hranice. Přirozenou reakcí na tento jev je vývoj technologií pro spojení výrobků napříč výrobci. **A to je také jedním ze základním pilířů čtvrté průmyslové revoluce, která využívá IoT jako konektor synergie.**

7. Praktický návrh synergického systému

Nežli podrobněji rozpracujeme dílčí synergické vazby, bude vhodné odpovědět na dvě otázky:

Proč je aktuální využívání technologických zařízení v podniku nevyhovující?

Odpověď je třeba hledat hned na začátku návrhu a následně stavby výrobních i nevýrobních prostor. Problém je ve velkém množství dodavatelů různých technologií. Většina těchto firem se profiluje úzkým směrem a dodává technologie podle zadání. Tím vzniknou jednotlivé celky, které lze jen velmi obtížně integrovat do jednoho systému.

Existují výrobní a nevýrobní prostory, kde je tento problém částečně vyřešen a je doplněn o měření a regulaci nad těmito zařízeními. Systém se zpravidla prodražuje, neboť musí být tvořen na míru právě danému podniku. Krom zvýšené ceny za integraci nastává problém se spolehlivostí. Jelikož systém vznikl na míru podle zadání, neočekává se další vývoj ani rozsáhlá testování neočekávaných situací. Existují však výjimky.

Jak tento problém vyřešit?

Předpokládejme, že zařízení jsou v podniku již nainstalovaná a není možnost dalších úprav. Aktuální vývoj Internetu věci tento problém dokáže velmi zjednodušit. Lze zakoupit různé komponenty, které lze skrze IoT síť integrovat do nadřízeného systému. Pomocí IoT komponent lze měřit i regulovat již stávající zařízení. Pokud bude tvořen zcela nový objekt, lze do zadání specifikovat požadované možnosti konektivity a celý proces tak velmi zjednodušit. Následující kapitoly obsahují popis synergií. Ty jsou specifikovány pro jednoduché uchopení v praxi.

7.1. Nejvýznamnější zařízení a faktory

V podkapitole Integrace pomocí internetu věcí byly popsány možnosti propojení technologií. Dále bude uvedena úvaha nad energeticky nejvýznamnějšími zařízeními a faktory, které mají v součtu vliv alespoň na 80 % energie celého podniku a současně jsou relevantní této práci. Nejprve si nejvýznamnější zařízení a faktory vyjmenujme

Nevýrobní komponenty v podnicích

- a) Topení / chlazení
- a) Vzduchotechnika – zvlhčování, odvlhčování, větrání

Výrobní stroje

- b) Pece
- c) Elektrické přepravní zařízení
- d) Odpadní teplo z energeticky méně významných strojů.

Tato skupina může v celku tvořit obrovský tepelný výkon, který lze vhodně využít.

Elektrická energie

- e) Obnovitelné zdroje
- f) Distribuční soustava

7.2. Obecné závislosti

Pokud jsou vydefinované energeticky nejvýznamnější zařízení a faktory, je možné nadefinovat jejich obecné závislosti na okolí. Ty lze pojmut obecně a nadefinovat jich co nejvíce a následně využít jen ty, které jsou důležité. Mohou pomoci k uvědomění možných závislostí.

a) Topení/Chlazení

- Závislost na počasí

Počasí je možné predikovat na základě předpovědi počasí, kterou lze online získávat z otevřených serverů

- Závislost na denní a roční době

Během roku se náročnost topení a chlazení zásadně mění. Počasí je nevyzpytatelné a v praxi se běžně stává, že přechod mezi topením a chlazením se stává i dvakrát denně.

- Závislost na produkci výrobních strojů (odpadní teplo)

Výrobní stroje mají různou efektivitu provozu a vždy generují teplo. To lze předvídat na základě objemu výroby a technologického postupu. Příkladem může být rozdílná tepelná energie ze soustruhu, chladicího zařízení či pece. S každou komponentou je třeba počítat.

- Závislost na komfortu

Klima uvnitř objektu lze regulovat s velkou přesností, která dokáže udržet téměř konstantní teplotu. Pokud není důraz na dodržování přesné teploty a je známá hodnota tolerance, lze předvídat zlomové okamžiky, a oddálit tak topení nebo chlazení za předpokladu krátkého výkyvu do maximální hodnoty.

b) Vzduchotechnika

- Závislost na počasí

Vzduchotechnika může úzce souviset s vytápěním, pokud je tak řešena distribuce tepla nebo chladu. V obecném případě je vzduchotechnika závislá na přísávání čistého vzduchu z venkovního prostředí, která se může měnit podle venkovní teploty a vlhkosti.

- Závislost na výrobních strojích
Výrobní stroje mohou mít významný vliv na znečištění pracovního prostředí a je třeba počítat s odsáváním znečištěného vzduchu.
- Závislost na počtu osob
Lidé mají významný vliv na znečištění pracovního prostředí. Podle norem je nutné zajistit dostačnou obměnu vzduchu v závislosti na vykonávané práci a velikosti pracovního prostředí.

c) Pece

- Závislost na výrobním procesu
Výrobní proces je možné předvídat a lze podle předchozích zkušeností přesně odhadnout, kdy nastane významné přispívání tepla do okolního prostředí
- Závislost na objemu produkce
Objem práce úzce souvisí s výrobním procesem, z něhož je možné usoudit, v jakou dobu nastane odpadní teplo. Objem produkce však tuto hodnotu může znásobit ekvivalentně vůči počtu strojů.

d) Elektrické přepravní zařízení

- Závislost na výrobním procesu
Výrobní proces dokáže určit, kdy budou tato zařízení ve výrobě zapotřebí. Avšak energetické chování je zcela opačné. Přepravní zařízení obsahují baterie, které jsou dobíjené v době mimo výrobu.
- Závislost na kapacitě baterií
Pokud je kapacita baterie dostatečná, je možné plánovat nabíjení vždy mimo výrobní proces. Za předpokladu náročnější práce těchto strojů mohou být baterie nabíjené i v době pracovního procesu.

e) Odpadní teplo z energeticky méně významných strojů

Stejně jako u pecí je i u těchto strojů závislost na výrobním procesu. Tyto stroje nemají jednotlivě tak významné odpadní teplo, avšak ve výrobním procesu mohou být velké počty. Pak tyto stroje nelze zcela zanedbat a začínají tak být energeticky velmi významné.

f) Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje jsou téměř vždy závislé na počasí. To má za následek obtížnější předvídatelnost. Jejich efektivní využívání je aktuálně závislé na tom, kolik energie se ihned spotřebuje v místě zisku této energie.

g) Distribuční soustava

- Závislost na denní době

Ta je velmi dobře předvídatelná a lze s ní počítat i ve výrobním procesu. Tzv. „Nízký tarif“ slouží k motivaci odběratelů využívat největší část energie v určitou dobu. Důvodem je lepší rozložení spotřeby energie během dne. Energetické společnosti tak dokážou lépe řídit výrobu a nejsou nutné velké kompenzace.

- Jiné vlivy

Způsob získávání energie je aktuálně stejně převratný jako průmysl obecně. Přechází se na ekologické získávání energie, která není stabilní a nelze ji jednoduše řídit. Do budoucna je možné, že bude fungovat model navýšení a snížení energie podle externích vstupů, které budou závislé na aktuálním stavu distribuční sítě – přebytek nebo nedostatek energie. Odběratelé pak budou pravděpodobně odměňováni za reakci na tento stav.

7.3. Vazby mezi zařízeními

Pokud jsou známé energeticky významné zařízení a faktory a následně jejich nejdůležitější závislosti na okolí, je možné **stanovit případné synergie**, tj. logické propojení zcela oddělených komponentů do jednoho celku. Tyto komponenty musí společně generovat úsporu. Synergie bude označována znakem ekvivalence (\Leftrightarrow), který říká, že tvrzení platí právě tehdy, když jsou veličiny ve shodném stavu. Synergii lze chápat tehdy, když jsou veličiny ve shodné synergické vazbě.

Pro určení synergií pomůže tabulka, která umožní porovnání všech zvolených zařízení a faktorů. Porovnání je vytvořeno na základě kvalifikovaného odhadu expertní skupiny energetických specialistů, kteří mají přehled o možnostech řízení energií a znalost výrobních postupů. Suma synergií určuje počet pozitivních porovnání pro dané zařízení a faktory. Porovnání je vidět v tabulce 7.1., která vznikla jako výsledek několika jednání ve skupině expertů.

	Topení/ Chlazení	Vzduchotechnika	Pece	Elektrické přepravní zařízení	Odpadní teplo	Obnovitelné zdroje	Distribuční soustava	Počasí
Topení/Chlazení	x							
Vzduchotechnika	ANO	x						
Pece	ANO	ANO	x					
Elektrické přepravní zařízení	NE	NE	NE	x				
Odpadní teplo	ANO	ANO	NE	NE	x			
Obnovitelné zdroje	ANO	NE	ANO	ANO	NE	x		
Distribuční soustava	ANO	NE	ANO	ANO	NE	NE	x	
Počasí	ANO	ANO	NE	NE	NE	NE	NE	x
Suma synergických shod	6	4	4	2	2	3	3	2

Tabulka 7.1 Vazby

Jelikož jsou porovnávána všechna zařízení navzájem, je součet dvojnásobný, proto je výsledný počet poloviční:

$$\text{Počet shod} = \text{Suma synergických shod} / 2$$

$$\text{Počet shod} = 26 / 2$$

$$\text{Počet shod} = 13$$

Z tohoto jednoduchého výpočtu vyplývá, že je možné dále porovnávat 13 synergických vazeb.

Relevantní jsou tedy následující propojení:

1. Topení/Chlazení	↔	Vzduchotechnika
2. Topení/Chlazení	↔	Pece
3. Topení/Chlazení	↔	Odpadní teplo
4. Topení/Chlazení	↔	Obnovitelné zdroje
5. Topení/Chlazení	↔	Distribuční soustava
6. Topení/Chlazení	↔	Počasí
7. Vzduchotechnika	↔	Pece
8. Vzduchotechnika	↔	Odpadní teplo
9. Vzduchotechnika	↔	Počasí
10. Pece	↔	Obnovitelné zdroje
11. Pece	↔	Distribuční soustava
12. Elektrické přepravní zařízení	↔	Obnovitelné zdroje
13. Elektrické přepravní zařízení	↔	Distribuční soustava

7.4. Popis statického modelu

Tato kapitola obsahuje postup popisu a ověření synergické vazby. Jako příklad je zvolena synergie: **Topení/Chlazení** ⇔ **Odpadní teplo**. Vstupem je požadovaná synergie, která se následně ověří pomocí vzorců. Výstupem je graf s průběhem hodnot, který poukazuje na rozdíly mezi synergickou a běžnou vazbou.

Statický model se provádí na základě vstupních hodnot. Například venkovní teplota a požadovaná vnitřní teplota. Veškeré kroky jsou vytvořené v tabulkovém editoru MS Excel.

Pro modelování synergické vazby různého druhu je zapotřebí určit základní veličinu - čas. Je zvolena vzorkovací perioda 0,5 h. Aby se modelování přiblížilo reálným podmínkám, je nutné zadat statické vstupní hodnoty, tj. požadované hodnoty a odchylky. V příkladu je to požadovaná teplota prostoru, tabulka 7.2:

Statické vstupní hodnoty	
Nastavená teplota prostoru [°C]	18

Tabulka 7.2 Statické vstupní hodnoty

Pro model v čase jsou důležité dynamické vstupní hodnoty, tj. průběhy hodnot závislé na časové ose. Tyto vstupy lze v průběhu modelování měnit a odhadnout tak závislosti. V následující tabulce 7.3 je vidět část hodnot zadaných do modelu. Pro veškeré výpočty byla zvolena jednoduchá implementace do sešitu MS Excel. Jelikož i v zadání mohou být některé hodnoty vypočítávány, bylo pro snadnou orientaci určeno, že šedě podbarvené hodnoty jsou vzorce nebo fixní odkazy (například pro vstupní hodnoty) a nelze je tedy editovat.

Dynamické vstupní hodnoty					
Čas	Průběh venkovní teploty [°C]	Nastavená teplota [°C]	Poměrová tepelná ztráta objektu [%]	Poměrové odpadní teplo strojů [%]	
0:00	14	18	12,12%	0,00%	
0:30	13	18	15,15%	0,00%	
1:00	12	18	18,18%	0,00%	
1:30	11	18	21,21%	0,00%	
2:00	10	18	24,24%	0,00%	
2:30	9	18	27,27%	0,00%	
3:00	8,5	18	28,79%	0,00%	

Tabulka 7.3 Dynamické vstupní hodnoty

- **Čas**
Vzorkovací perioda 30 min., časová závislost všech hodnot.
- **Průběh venkovní teploty**
Naměřená venkovní teplota pro zvolené období.
- **Nastavená teplota**
Automaticky přeepsaná statická vstupní hodnota.
- **Poměrová tepelná ztráta objektu**
Tepelná ztráta objektu je běžná hodnota udávaná v kW při venkovní teplotě -15 °C. Tepelná ztráta budovy je přímo úměrná rozdílu venkovní teploty a nastavené vnitřní teploty. Vzorec je navržen tak, že tepelný zdroj má 100% výkon při -15 °C venkovní teploty a vnitřní teploty 18 °C. To znamená, že maximální tepelný rozdíl činí 33 °C. Jelikož je tepelná ztráta objektu přímo úměrná tomuto rozdílu, je výsledný vzorec:

Poměrová tepelná ztráta $i = (\text{venkovní teplota } i - \text{vnitřní teplota } i)/33$ [%]

Výsledek je procentuální hodnota vztažená k maximální tepelné ztrátě. Pokud je venkovní teplota vyšší než vnitřní, výsledná hodnota nabývá záporné hodnoty. Znamená to, že je požadavek na chlazení.
Jelikož v modelu nejde o absolutní hodnoty, ale porovnání, je výsledná hodnota v procentech dostačující.
- **Poměrové odpadní teplo strojů**
Jedná se o zadaný denní průběh odpadního tepla strojů. Jelikož jsou všechny hodnoty vztažené k maximální tepelné ztrátě objektu, je nutné tento průběh také přepočítat vzhledem k maximální tepelné ztrátě objektu.

Modelování klasického průběhu

Tato část je důležitá ze dvou důvodů, tj. data pro běžný stav a ověření funkčnosti vzorců.

Ověření se projeví v „Vypočtená teplota běžná [°C]“ – teplota je konstantní.

Následující tabulka 7.4 ukazuje výpočtovou tabulku pro běžnou regulaci.

Běžná regulace		
Požadovaný poměrový výkon topení/chlazení běžný [%]	Poměrová dodaná energie [%*Den]	Vypočtená teplota běžná [°C]
12,12%	0,3%	18
15,15%	0,6%	18
18,18%	0,9%	18
21,21%	1,4%	18
24,24%	1,9%	18
27,27%	2,5%	18
28,79%	3,1%	18

Tabulka 7.4 Běžná regulace

- **Požadovaný poměrový výkon topení/chlazení**

Jedná se o teoretický požadavek pro topení a chlazení, který je odvozený od aktuálních tepelných ztrát objektu a odpadního tepla strojů. Aby byl vzorec kompletní, je nutné také zahrnout předchozí hodnotu vnitřní teploty, neboť požadovaný výkon je jiný při udržování teploty a při topení/chlazení z nižší či vyšší teploty.

Požadovaný poměrový výkon $i = (\text{Poměrová tepelná ztráta } i - \text{poměrové odpadní teplo strojů } i) + (\text{Nastavená teplota} - \text{Vypočtená teplota } i-1) / 33 \text{ [%]}$

- **Poměrová dodaná energie**

Kumulativní hodnota spotřebované energie vypočtená z požadovaného výkonu topení/chlazení. Energie je výkon násobený časem. Jelikož je zvolena perioda 30 minut a výsledná hodnota je požadována za celý den, jeden časový úsek činí 1/48 dne. Požadavek pro topení/chlazení může být záporný. Tato hodnota však nereprezentuje zpětný zisk energie, proto musí být v absolutní hodnotě => energie pro chlazení je také spotřebovaná energie.

Poměrová dodaná energie $i = |\text{Požadovaný poměrový výkon topení/chlazení } i / 48| + \text{Dodaná energie } i-1 \text{ [% * den]}$

- **Vypočtená teplota**

Kontrolní hodnota, která je vypočtená z tepelných ztrát, odpadního tepla strojů a dodané energie pro topení/chlazení.

$$\begin{aligned} \text{Teplota prostoru } i &= \text{Teplota prostoru } i_{-1} - (\text{Poměrová tepelná ztráta objektu } i * 33) \\ &+ (\text{Požadovaný Poměrový výkon topení/chlazení } i * 33) \\ &+ (\text{Odpadní teplo strojů } i * 33) \text{ [}^\circ\text{C]} \end{aligned}$$

Pokud jsou výpočty správné, tato teplota bude konstantní přesně podle nastavené teploty prostoru.

Modelování synergického průběhu

V této části je určena výsledný model synergické vazby. Jako základ pro dynamické vstupní hodnoty výkonu topení/chlazení poslouží výpočtový model z běžné regulace. Ten se ručně edituje pro dřívější deaktivaci zdroje pro topení/chlazení přesně podle synergické vazby pro Topení/Chlazení \Leftrightarrow Odpadní teplo. Jelikož je do výpočtů zahrnuta vnitřní teplota, dojde ihned po ruční editaci k přepočtu vnitřní teploty a k prudké korekci ve výpočtu požadovaného výkonu topení/chlazení.

Tabulka 7.5 ukazuje část vypočtených hodnot. Výpočtová metodika je stejná jako v modelování klasického průběhu:

Regulace v synergii		
Výkon topení/chlazení synergie[%]	Dodaná poměrová energie [%*Den]	Vypočtená teplota synergii [°C]
12,12%	0,3%	17,9
15,45%	0,6%	18
18,18%	1,0%	18,0
21,36%	1,4%	18,0
24,17%	1,9%	18,0
27,39%	2,5%	18,0
28,69%	3,1%	18,0

Tabulka 7.5 Synergická regulace

- **Požadovaný poměrový výkon topení/chlazení**

Jedná se o teoretický požadavek pro topení a chlazení, který je odvozený od aktuálních tepelných ztrát objektu a odpadního tepla strojů. Aby byl vzorec kompletní, je nutné také zahrnout předchozí hodnotu vnitřní teploty prostoru, neboť požadovaný výkon je jiný při udržování teploty a při topení/chlazení z nižší či vyšší teploty. Tento průběh je ručně editován pro aplikování synergické vazby. Ruční editace spočívá v dřívějším přerušení topení, či chlazení. To vše s ohledem na maximální pokles vnitřní teploty. Maximální pokles je určen zadavatelem.

Požadovaný poměrový výkon $i = (\text{Poměrová tepelná ztráta } i - \text{poměrový odpadní teplo strojů } i) + (\text{Nastavená teplota} - \text{Vypočtená teplota } i-1) / 33 [\%]$

- **Dodaná poměrová energie**

Stejně jako u modelování klasické průběhu je kumulativní hodnota spotřebované energie vypočtená z požadovaného výkonu topení/chlazení. Energie je výkon násobený časem. Jelikož je zvolena perioda 30 minut a výsledná hodnota je požadována za celý den, jeden časový úsek činí 1/48 dne. Požadavek pro poměrové topení/chlazení může být záporný. Tato hodnota však nereprezentuje zpětný zisk energie, proto musí být v absolutní hodnotě => poměrová energie pro chlazení je také spotřebovaná energie.

Dodaná poměrová energie $i = |\text{Požadovaný poměrový výkon topení/chlazení } i / 48| + \text{Dodaná poměrová energie } i-1 [\% * \text{den}]$

- **Vypočtená teplota**

Kontrolní hodnota, která je vypočtená z poměrových tepelných ztrát, poměrového odpadního tepla strojů a poměrové dodané energie pro topení / chlazení.

Teplota v synergii $i = \text{Teplota prostoru } i-1 - (\text{Poměrová tepelná ztráta objektu } i * 33) + (\text{Požadovaný poměrový výkon topení/chlazení } i * 33) + (\text{Poměrový odpadní teplo strojů } i * 33) [^{\circ}\text{C}]$

Správnost výpočtů byla ověřena v běžné regulaci. Dojde ve výpočtu k změně vnitřní teploty.

Výstupní data, porovnání úspor

Výsledkem synergie je porovnání běžného a synergického stavu. Porovnání pro tento případ je výsledná spotřeba na topení chlazení, tj. Dodaná energie. Tabulka 7.6 ukazuje výslednou úsporu 4,06 %.

Porovnání úspor	
Úspora	4,06%
Spotřeba	95,94%

Tabulka 7.6 Porovnání úspor

Úspora = $1 - (\text{Dodaná poměrová energie synergie}_{\text{imax}} / \text{Dodaná poměrová energie běžná}_{\text{imax}})$
[%]

Spotřeba = $1 - \text{Úspora} [\%]$

7.5. Zhodnocení a aplikace vazeb synergického systému

Synergické vazby z předchozí kapitoly jsou odhadnuty na základě teoretické možnosti. Není však jisté, zda má význam se touto vazbou zabývat, případně kdy. Na tomto místě aplikujme (již zmíněný) Paretův princip: „20 % vazeb vyřeší 80 % úspor“.

Ohodnocení vazeb nelze obecně stanovit, záleží na konkrétním případě. Konkrétně na velikosti výrobní plochy, možnosti využití jednotlivých technologií, objemu výroby atp.

Nejdůležitější vazby lze stanovit na základě odborného názoru experta z oboru energetiky. Složitější vazby jsou podloženy modelem pro lepší pochopení a možností ověření konkrétního případu. Pro zjednodušení nejsou na tomto místě popsány všechny vazby.

Popis jednotlivých vazeb:

Popis je na základě vlastních odhadů autora, který se opírá o vlastní zkušenosti a rozhovory s odborníky.

Topení/Chlazení ⇔ Vzduchotechnika

Vzduchotechnika může mít rozsáhlé možnosti. Od řízeného větrání, zvlhčování, odvlhčování, cirkulace vzduchu, vytápění/chlazení a jiné. Důležitou součástí vzduchotechniky je většinou rekuperační výměník. Ten zajistí přenos tepla z odpadního vzduchu do čistého přívodního vzduchu. V období, kdy se vytápí, je výměník nezbytný a sám o sobě zajistí nezanedbatelné úspory. V mnoha případech je tento výměník fixní a nelze jej z instalace vypustit. Pokud však dochází k chlazení prostorů a venkovní vzduch má nižší teplotu než vzduch vnitřní, rekuperace tepla není žádoucí. Naopak je vhodné aktivovat bypass, kterým lze studený vzduch distribuovat mimo rekuperační výměník a částečně tak dochlazovat prostory.

Synergická vazba:

Pro tuto situaci je synergickou vazbou informace o požadavku chlazení prostorů. Řízení bypassu se následně podle venkovní a vnitřní teploty může rozhodnout tento výměník aktivovat či nikoli. Pro dosažení větších úspor lze předdefinovat i pokles teploty o maximální hodnotu v nočních hodinách a předchladit tak objekt pro následující den.

Topení/Chlazení ⇔ Pece

V halách, kde jsou použity pece, může docházet k situacím, kdy je během části dne nutné topit a následně chladit. Příkladem mohou být noční hodiny, kdy hala vychládá a je nutné objekt vytápět. Naopak ve výrobních hodinách se objekt musí chladit z důvodu významné tepelné ztráty pece.

Synergická vazba:

Pokud regulace teploty bude znát informaci o času vytápění pece, lze na základě předchozích stavů určit čas, kdy se začíná předtápět pec. Tyto stavy mohou být nadefinované pomocí algoritmů nebo zkušeností. Regulace na tento jev však může zareagovat podstatně dříve a utlumit vytápění. Tím se zaručí nižší spotřeba na topení a následně se eliminuje nutnost měnit regulaci na chlazení.

Model je pro tento stav velmi podobná modelu synergie Topení/Chlazení ⇔ Odpadní teplo.

Topení/Chlazení ⇔ Odpadní teplo

V předchozí části je popsána synergická vazba pro topení/chlazení a pece. V tomto případě je synergická vazba velmi podobná, avšak je doplněna o pohyb lidí a tepelný výkon méně významných strojů. Ty nelze tak přesně předvídat. Jednou z možností je vytvoření matematického modelu pro zjištění průběhu hodnot pomocí výrobních postupů, hodiny strojů, podle spotřeby a účinností. Tento postup je však složitý. Vhodnějším postupem může být měření průběhu teploty během dne za pomoci řídicího systému, ze kterého lze odhadnout energetickou křivku – závislost topné/chladicí energie v průběhu dne. Ta může být měřena pro každý den a ve stejném případě aplikovaná pro den následující. V sériové výrobě může být naměřena pouze při změně výrobního procesu a fixně využívaná následující dny.

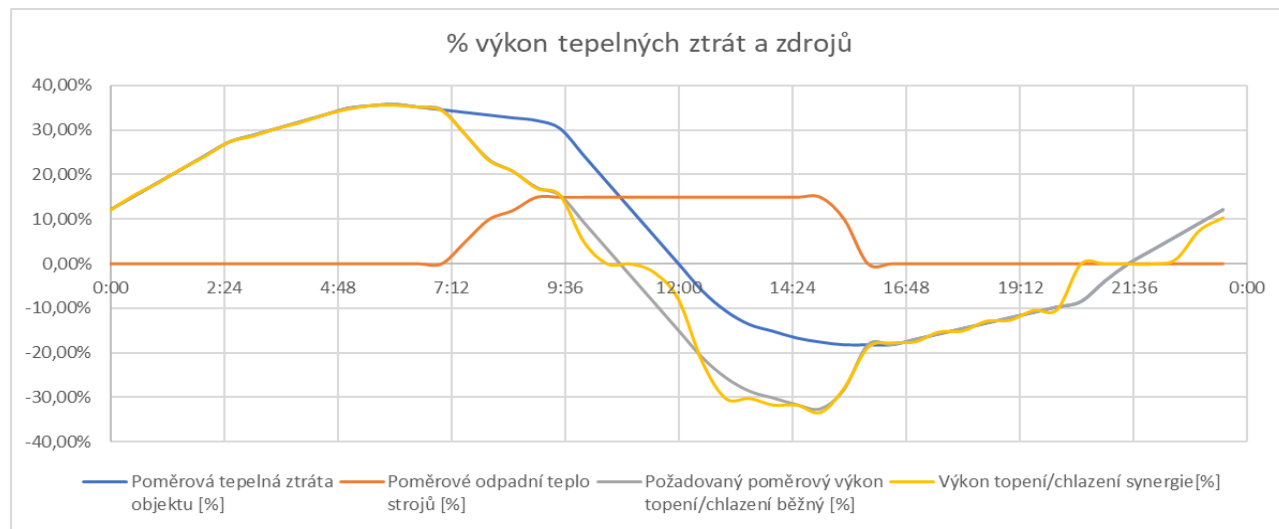
Synergická vazba

Regulace teploty může znát průběh energetické křivky a tu následně aplikovat pro predikci přechodu mezi topením a chlazením. Jinými slovy, nadřazený systém podle křivky určí přibližný čas přechodu mezi dvěma režimy a deaktivuje topení dříve. Je to obdobné jako v předchozím případě, avšak zde je vstup do synergické vazby získáván jiným způsobem.

Model

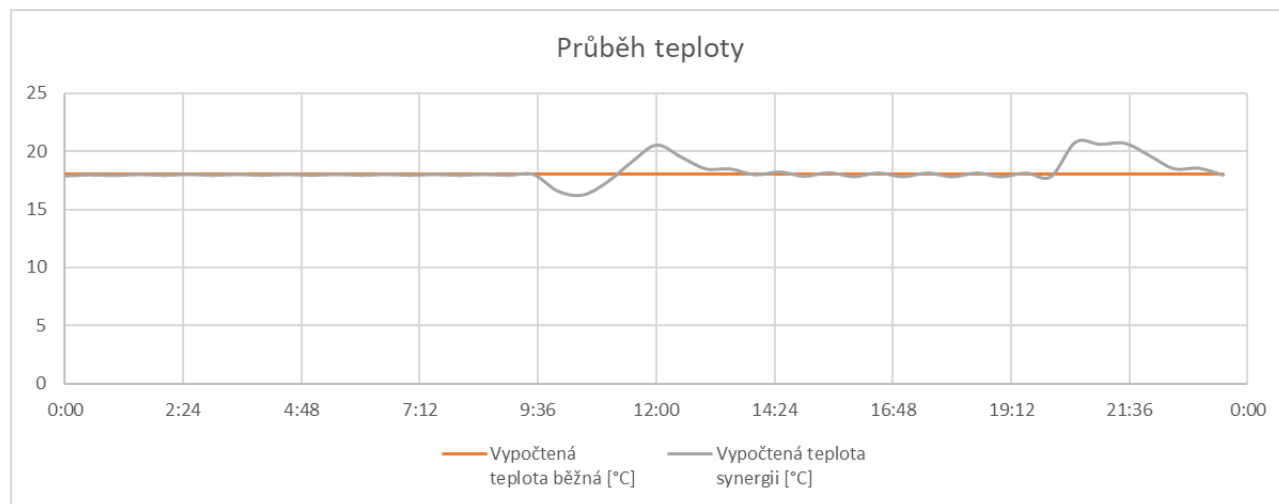
Graf 7.1 znázorňuje průběh požadavku na topení (požadavek je procentuální hodnota vztažená k maximálnímu výkonu). Na žluté křivce jsou viditelné odchylky od běžné regulace - křivka šedivá. Synergická vazba určí moment, kdy dojde k přechodu mezi režimy a zastaví dodávku energie. Na výsledné teplotě se tento jev projeví překmitem.

100 % = Maximální výkon topení při -15 °C



Graf. 7.1 Procentuální výkon tepelných ztrát a zdrojů

Na grafu 6.2 je znázorněn výsledný průběh teploty.



Graf. 7.2 Průběh teploty

Pokud na grafu 7.2 odečteme plochu pod křivkou znázorňující procentuální výkon běžný i synergický a tyto hodnoty poměrově porovnáme, vyjde výsledná úspora 4 %, graf 7.3. Hodnota se mění v závislosti na nastavené teplotě prostoru, venkovní teplotě a odpadnímu teplu.



Graf. 7.3 Úspora synergie Topení/Chlazení - Odpadní teplo

Topení/Chlazení ⇔ Obnovitelné zdroje

Úspór lze dosáhnout snížením spotřeby energie, jako v předchozí synergii, nebo spotřebováváním výhodnější energie. Jinými slovy, spotřeba energie je stejná, ale dochází k úspoře v nákupu energie. Typickým představitelem druhého případu jsou obnovitelné zdroje. Ty je nutné spotřebovat právě v době výroby energie. Jak již bylo zmíněno o obnovitelných zdrojích, aktuální situace motivuje k co nejvyšší vlastní spotřebě, čímž se zvyšuje finanční výnosnost. Na původu obnovitelného zdroje nezáleží, jedná se vždy o přesun spotřeby na vhodnější časový úsek.

Způsob využití vyrobené energie:

- **Neregulovaná spotřeba**

Tato spotřeba ve většině případech nepokryje veškerou vyrobenou energii. Energie je využívána pro spotřebiče, které jsou v ten moment aktivované z jiných důvodů, než je velikost aktuální výroby.

- **Regulovaná spotřeba**

Spotřeba, kterou je regulován aktuální přebytek energie. Přebytek energie je rozdíl mezi aktuální výrobou a neregulovanou spotřebou. Do této spotřeby může mimo jiné patřit například topení/chlazení vnitřních prostor.

Synergická vazba

Teplota prostoru nemusí být zcela přesně dodržována. Stejně jako v předchozím případě lze nastavit maximální rozdíl teploty od nastavené a v případě přebytečné energie topit nebo chladit právě podle aktuálního přebytku energie. Tímto vznikne obrovská akumulace energie v podobě tepla nebo chladu. V přechodném období (jaro nebo podzim) lze tuto synergickou vazbou přesunout veškeré topení do doby, kdy je největší přebytek energie. Pro fotovoltaickou elektrárnu typicky od východu do západu slunce. V případě chlazení je tato synergie výhodnější, neboť v době největšího přebytku energie je i největší požadavek na chlazení.

Model

Model této synergie je modifikací předchozí. Místo odpadního teplota strojů vstupuje do synergie spotřeba energie podniku a průběh výkonu fotovoltaické elektrárny. Po aplikování synergické vazby je na grafu 7.5 vidět nárůst vnitřní teploty.

Maximální hodnota je limitována statickou vstupní hodnotou. Průběh výkonů lze vidět v grafu 7.4. Tabulka 7.7 ukazuje vstupní hodnoty, tabulka 7.8 výslednou úsporu.

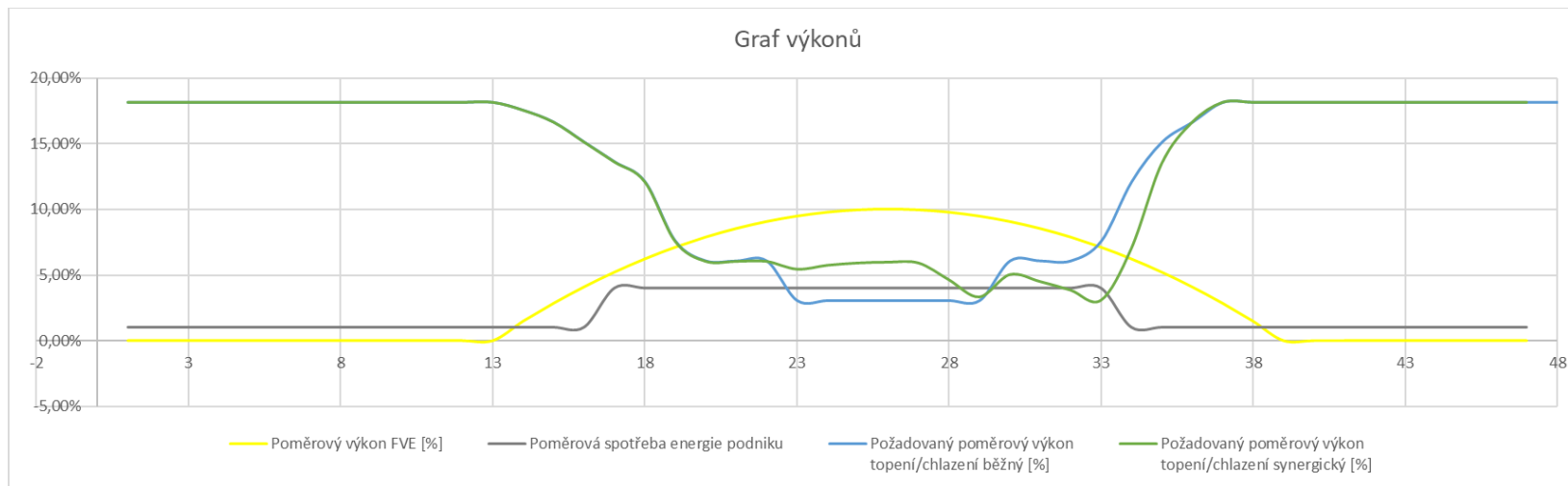
Statické vstupní hodnoty	
Nastavená teplota prostoru [°C]	18
Maximální odchylka z FVE [°C]	3,5
Poměrový výkon FVE [%]	10,00%

Tabulka 7.7 Statické vstupní hodnoty Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje

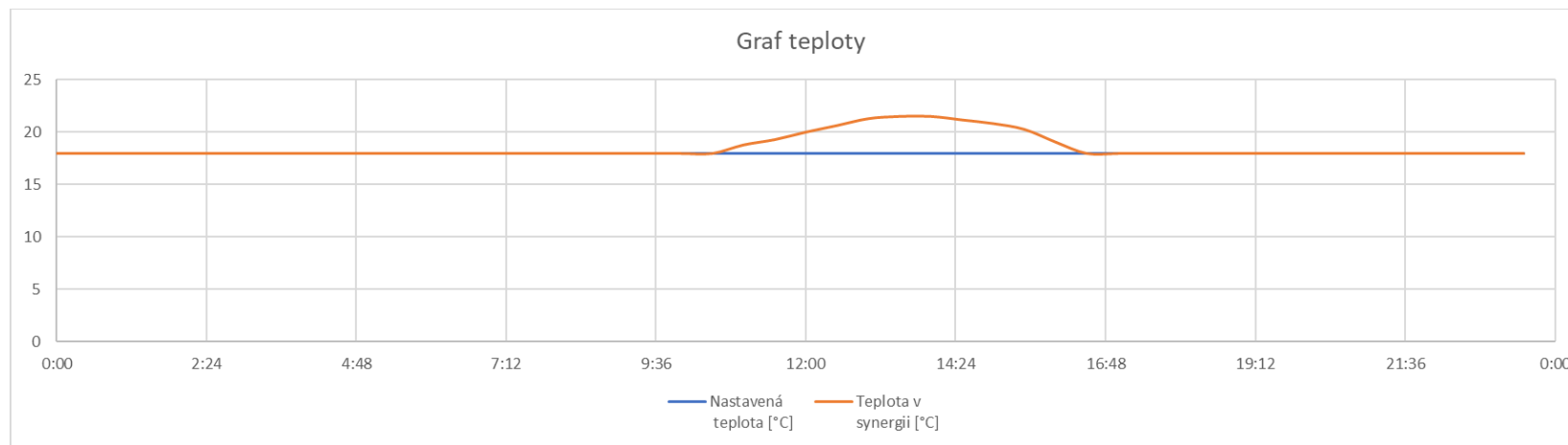
Porovnání úspor	
Běžné využití FVE	88,95%
Synergické využití FVE	98,14%
Navýšení spotřeby z FVE	9,19%

Tabulka 7.8 Úspora synergie Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje

100% = Maximální výkon topení při -15°C



Graf. 7.4 Procentuální výkon Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje



Graf. 7.5 Průběh teploty Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje

Topení/Chlazení ⇔ Distribuční soustava

Topení/Chlazení je největší část spotřeby energie. Kromě hledání energetických úspor je třeba hledat i cestu nižšího nákupu energie. Distributor podle Nízkého a Vysokého tarifu motivuje odběratele k odložené spotřebě. Odběratel tím získává v určitých časových úsecích během dne levnější nákup energie.

Tento způsob je aktuálně platný, avšak uvažuje se o změně, která vychází z omezení pro obnovitelné zdroje, které jsou hůře předvídatelné. Je velmi pravděpodobné, že s přibývajícím podílem obnovitelných zdrojů bude nemožné optimálně řídit distribuční soustavu. Jednou z plánovaných možností je signál, který po vyslání vyzve odběratele pro snížení či zvýšení spotřeby energie podle aktuální situace v distribuční síti. Ten bude následně za tuto změnu odměňován. Rozdíl oproti Nízkému a Vysokému tarifu je ten, že nebude dopředu známý čas aktivace. První způsob je dnes běžný a není tak významně důležité přesné řízení. V druhém případě je to naopak, schopnost reakce řízení se přesně promítne do úspor.

Synergická vazba

Jednou z možných reakcí je blokace zdrojů mimo Nízký tarif. Jedná se o častý způsob, který však může vést k vychládání nebo přehřívání prostorů. Pokud vznikne synergická vazba mezi řídicím systémem a signálem z distribuční sítě (fyzické zapojení nebo fixní zadání časových úseků), lze stanovit maximální odchylku požadované teploty od teploty prostoru, a tím zajistit částečný odklad spotřeby. Závislost mezi přesností regulace (klimatickým pohodlím) a úsporou je pak nastavení maximální odchylky, kterou lze velmi dobře tyto jevy balancovat. Výrobní prostory není třeba řídit příliš přesně, naopak administrativní prostory by měly mít teplotu co možná nejstabilnější.

Topení/Chlazení ⇔ Počasí

Počasí je jev, který přímo ovlivňuje potřebu topení nebo chlazení. Tepelné ztráty objektu jsou v přímé úměře od rozdílů venkovní a vnitřní teploty objektu. Lze tedy podle předpovědi počasí přibližně určit potřebu tepla nebo chladu pro následující den. Zdroje chladu (klimatizace) nebo i v některých případech zdroje tepla (tepelné čerpadlo) mají efektivitu závislou na venkovní teplotě. Meteorologická předpověď je dnes na velmi vyspělé úrovni, avšak v regulaci se příliš nevyužívá. Odloženou spotřebou lze získávat energii efektivněji. Pokud není pro výrobní halu zaveden třisměnný provoz, není nutné v nočních hodinách prostory udržovat na přesné teplotě a odložení spotřeby je tak mnohem snazší. V přechodném období, kdy je zapotřebí chladit i topit a venkovní teplota má velké výkyvy, lze velkou část energie vyřešit pouhou obměnou vzduchu mezi vnitřním a venkovním prostorem.

Synergická vazba

Za předpokladu znalosti předpovědi počasí lze na základě aktuální venkovní teploty určit, o kolik bude následující den příznivější vytápět a na základě této hodnoty odložit topení. Stejně jako v předchozí vazbě lze určit maximální pokles teploty. Předpověď počasí by měla být na následujících 12 hodin. V tomto časovém úseku je velká pravděpodobnost správnosti předpovědi.

Vzduchotechnika ⇔ Odpadní teplo (Vzduchotechnika ⇔ Pece)

Jak již bylo zmíněno, vzduchotechnika má velké využití a je nutné na ní takto nahlížet. Jednou z důležitých činností je výměna znečištěného vzduchu, který je v mnoha případech také odpadním teplem. Většinou se tento vzduch odsává mimo prostory a dochází k tepelným ztrátám. V letních měsících je to v pořádku, objekt je zapotřebí chladit a odpadní teplo je tak nutné větrat mimo budovu. V zimním období může dojít k následujícím případům:

- **Odpadní teplo je nižší nebo rovno tepelným ztrátám dané části budovy**

Pro tento případ je dostačující rekuperovat odpadní teplo a skrze vzduchotechniku jej vracet zpět do objektu. V mnoha případech je možné takto danou část objektu vytápět.

- **Odpadní teplo je vyšší, než jsou tepelné ztráty dané části budovy**

V tomto případě by docházelo k přetápění části objektu pro nadměrný tepelný zdroj. Většina výrobních prostor ale mají také nevýrobní prostory, které odpadním teplem přirozeně vytápěné nejsou. Pokud by skrze rekuperační výměník bylo možné odpadním teplem vytápět i jiné části budovy, docházelo by ke značným úsporám na vytápění. Tyto úspory budou přesně závislé na efektivním zužitkování odpadního tepla.

Tato synergie vyžaduje fyzické propojení důležitých komponent vzduchotechniky, která je ve většině případech oddělená jak regulačně, tak zapojením. Jedná se tedy o značnou investici. Její výhodnost bude závislá na konkrétním řešení již hotové vzduchotechniky a velikosti tepelného zdroje odpadního tepla.

Synergická vazba

Za předpokladu, že budou výše uvedené investice výhodné, vznikne synergická vazba mezi třemi částmi. Odpadní teplo stroje, požadavek na vytápění výrobních prostorů a požadavek na vytápění nevýrobních prostorů. Jelikož výrobní prostor je nutné stále odvětrávat, vzduchotechnika je zde stále aktivní. Synergická vazba by měla aktivovat následující posloupnost:

- **Vytápění výrobního prostoru**

Rekuperace odpadního tepla je aktivní.

- **Vytápění nevýrobního prostoru**

Pokud bude výrobní prostor dosahovat požadované teploty prostoru, synergická vazba aktivuje vytápění nevýrobního prostoru skrze výměník. (Tyto vzduchotechniky musí být propojené pouze skrze tepelný výměník, jinak by mohlo docházet k nevyrovnanému tlaku uvnitř budovy.)

- **Aktivace bypassu vzduchotechniky**

Tato situace nastane v případě, že objekt bude mít v obou částech požadovanou teplotu. Aby nedocházelo k přehřívání objektu, odpadní teplo bude odvedeno do okolního vzduchu. Pro lepší využití je možné počítat s předeřhřátím prostoru pro další denní období, kdy bude následně nutné aktivovat klasické vytápění.

Vzduchotechnika ↔ Počasí

Vzduchotechnika slouží k obměně vzduchu pro výrobní i nevýrobní prostory. Ve většině případech slouží také k vytápění nebo chlazení. Pro tyto případy je do systému vložen výměník voda–vzduch nebo kondenzátor klimatizační jednotky. Následně je řízen zdroj chladu nebo tepla na základě požadavku od rozdílu nastavené a aktuální teploty vnitřních prostor. V mnoha případech není do systému vložena rekuperační jednotka pro zpětný zisk tepla z odpadního vzduchu. Pak je vzduch částečně filtrován (zde nedochází k tepelným ztrátám) a částečně nasáván z venku (zde je 100% tepelná ztráta). Pokud by hodnoty průtoků obou sání byly konstantní, energetické hospodaření by nebylo efektivní. Proto je možné tento vzduch směšovat na základě venkovní teploty a teploty vnitřní. Pro směšování slouží směšovací klapka, kterou lze plynule rozdělovat poměr nasávaného vzduchu vnitřního ku venkovnímu.

Synergická vazba

Zde se nabízí synergická vazba mezi venkovní teplotou, požadavku na topení/chlazení a nastavení směšovací klapky pro vzduchotechniku. Mohou nastat následující stavy:

- **Venkovní teplota je nižší než vnitřní a je požadavek na topení**
Směšovací klapka je nastavená tak, že z venku nasává pouze nutné minimum pro větrání, aby nedocházelo ke zbytečným tepelným ztrátám. Tepelný zdroj je aktivován.
- **Venkovní teplota je nižší než vnitřní a je požadavek na chlazení**
Tento stav nastane v případě, že je významný zdroj odpadního tepla a vnitřní prostor se přehřívá. Pokud je dostatečný rozdíl vnitřní a venkovní teploty, je možné otevřít směšovací klapku pro maximální sání z venku a prostor tak pasivně ochlazovat.
Chladicí zdroj není aktivní.
- **Venkovní teplota je rovna vnitřní a je požadavek na topení nebo chlazení**
Pro tento případ je z energetického pohledu stejné, jestli je vzduch nasáván z venku nebo filtrován z vnitřních prostor. Proto je výhodné směšovací klapku otevřít pro sání z venkovních prostor. Takto dojde k rychlejší obměně znečištěného vzduchu.
Tepelný nebo chladicí zdroj je aktivován.

- **Venkovní teplota je vyšší než vnitřní a je požadavek na chlazení**

Tento stav nastane v případě, že je vysoká venkovní teplota a vnitřní prostor se přehřívá. Směšovací klapka je nastavená tak, že z venku nasává pouze nutné minimum pro větrání, aby nedocházelo ke zbytečným tepelným ztrátám (Ve formě chladu). Chladicí zdroj je aktivován.

Model

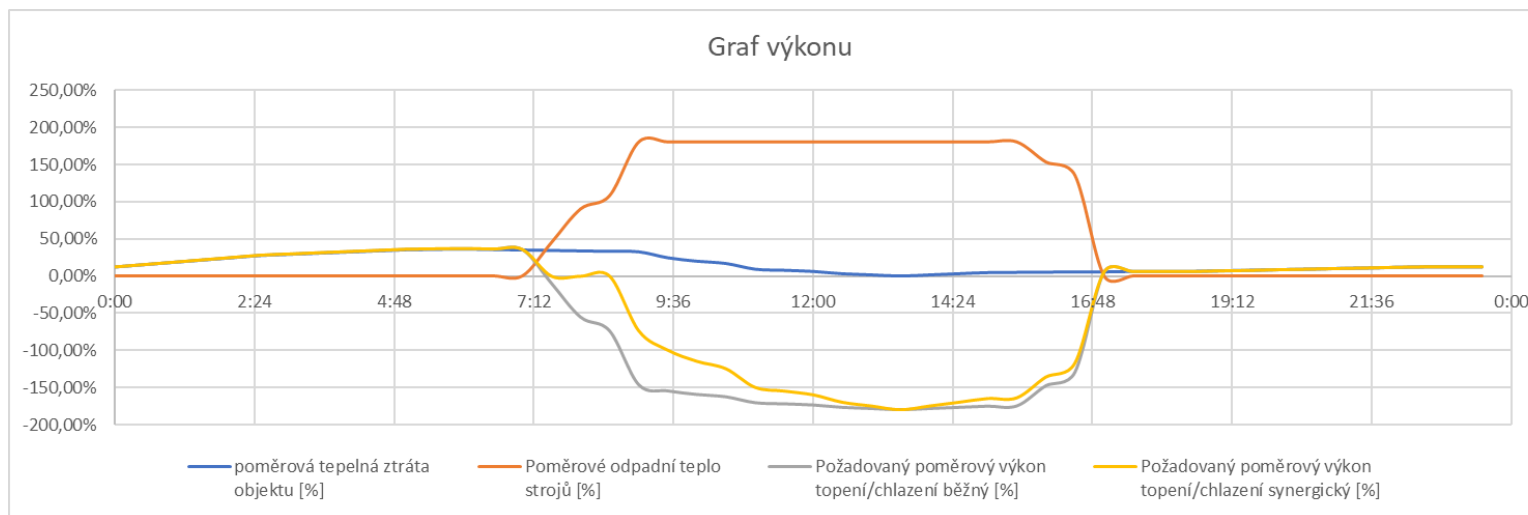
Tuto problematiku lze namodelovat použitím předchozího modelu s odpadním teplem strojů. Do synergické vazby vstoupí otevření vzduchotechnické klapky. Tepelný/chladicí výkon procházející touto klapkou je přímo závislý na rozdílu vnitřní a venkovní teploty. Proto byl zaveden nový parametr „Výkon VZT na DT 1 °C, který říká, jaký je tepelný/chladicí výkon vzduchotechniky vůči maximální tepelné ztrátě objektu při rozdílu vnitřní a venkovní teploty 1 °C. Na grafu 7.6 je vidět průběh výkonů, na grafu 7.7 je vidět stav klapky. Tabulka 7.9 ukazuje vstupní hodnoty, tabulka 7.10 výslednou úsporu.

Statické vstupní hodnoty	
Nastavená teplota prostoru [°C]	18
Poměrový výkon VZT [%]	100%
Výkon VZT na DT 1°C [%/°C]	7%
Klapka VZT větrání [%]	2%

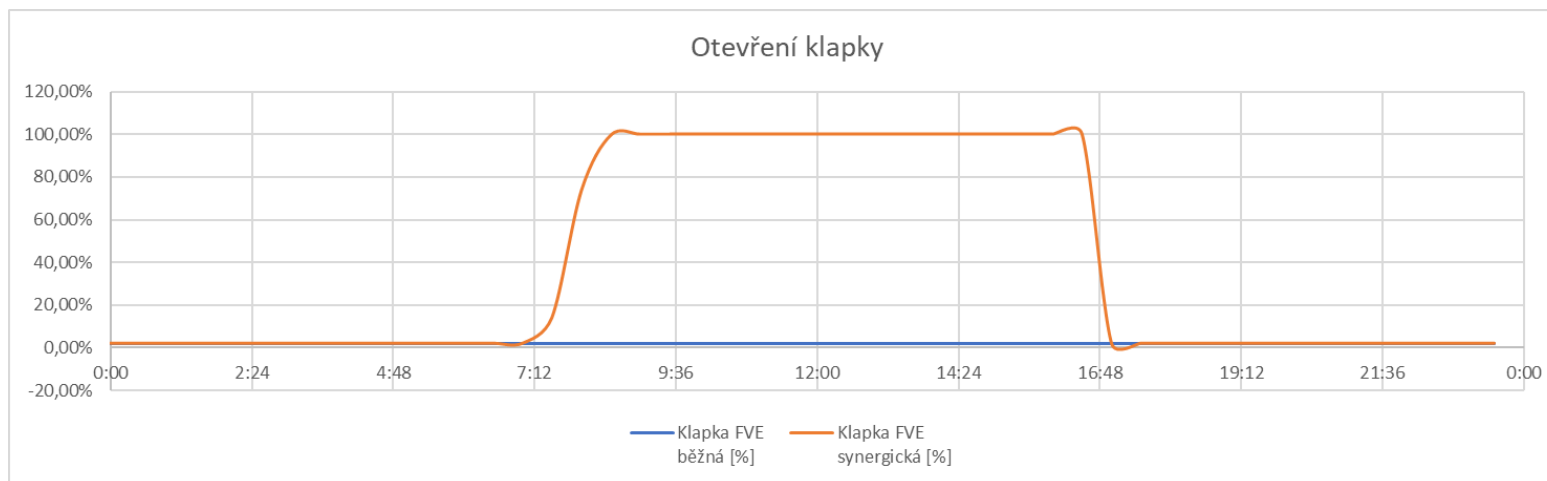
Tabulka 7.9 Statické vstupní hodnoty Vzduchotechnika - Počasí

Porovnání úspor	
Úspora	13,85%
Spotřeba	86,15%

Tabulka 7.10 Úspora synergie Vzduchotechnika - Počasí



Graf. 7.6 Procentuální výkon Vzduchotechnika - Počasí



Graf. 7.7 Stav klapky Vzduchotechnika- Počasí

Pece ⇔ Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje vyžadují specifické řízení, které je téměř vždy na úkor jiného aspektu – pohodlí, funkčnost, dodržení výrobního postupu, efektivita atd. Proto je jejich využívání důležité přenést někam, kde bude mít větší možnost flexibility. Například pro využití přebytečné energie pro dřívější vytápění pece. Pokud je ve výrobním procesu využívaná pec, je nutné ji předehřívát dříve, než bude zapotřebí ve výrobním procesu. Zde se nachází možnost flexibility. Jelikož přebytková energie z obnovitelného zdroje nemá konstantní hodnotu, je důležitá možnost řízení topného výkonu pece.

Synergická vazba

Pokud je známo, že se pec vytápí například hodinu na požadovanou teplotu, je možné ji začít vytápět o hodinu dříve a využívat tak pro předehřev pouze přebytky energie. Pokud nebude přebytková energie z obnovitelného zdroje, předehřev pece začne hodinu předem podle klasické funkcionality. Pokud je však přebytková energie k dispozici, lze ji využít právě na předehřev, který bude řízen podle její velikosti. Pec tak může mít v době začátku vytápění již vyšší teplotu a následně nebude zapotřebí vysoký nákup energie z distribuční sítě.

Časový úsek, ve kterém započne vytápění z přebytkové energie dříve, může být teoreticky neomezený. Zde je zapotřebí počítat také s tepelnou ztrátou pece. Pokud bude aktivní chlazení prostoru, je možné, že aktuální stav zvýší požadavek na chlazení a tato synergická vazba nemusí být zcela efektivní. Pokud je požadavek na topení, lze tento čas výrazně zvýšit.

Model

V modelu je důležité dbát na mezní čas, kdy musí mít pec požadovanou teplotu. Na grafu 7.8 je vidět průběh výkonů uvedených v procentech. 100 % = maximální výkon pece. Synergický výkon v každém kroku ověří, zda při 100 % výkonu dosáhne v mezní termín požadované teploty a podle toho se rozhodne, zda aktivovat 100% výkon pece nebo nadále kopírovat přebytečný výkon elektrárny. Tabulka 7.11 ukazuje vstupní hodnoty.

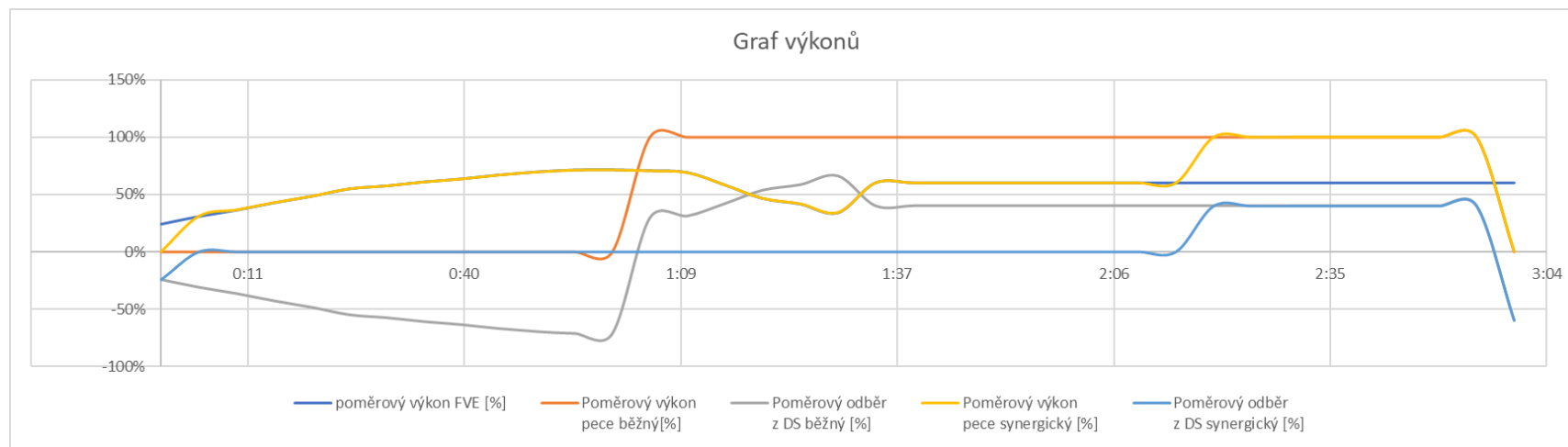
Statické vstupní hodnoty	
Nastavená teplota pece [°C]	300
DT při 100% výkon/hodinu [°C]	150
Požadovaný čas natopení	2:55

Tabulka 7.11 Statické vstupní hodnoty Pece - Obnovitelné zdroje

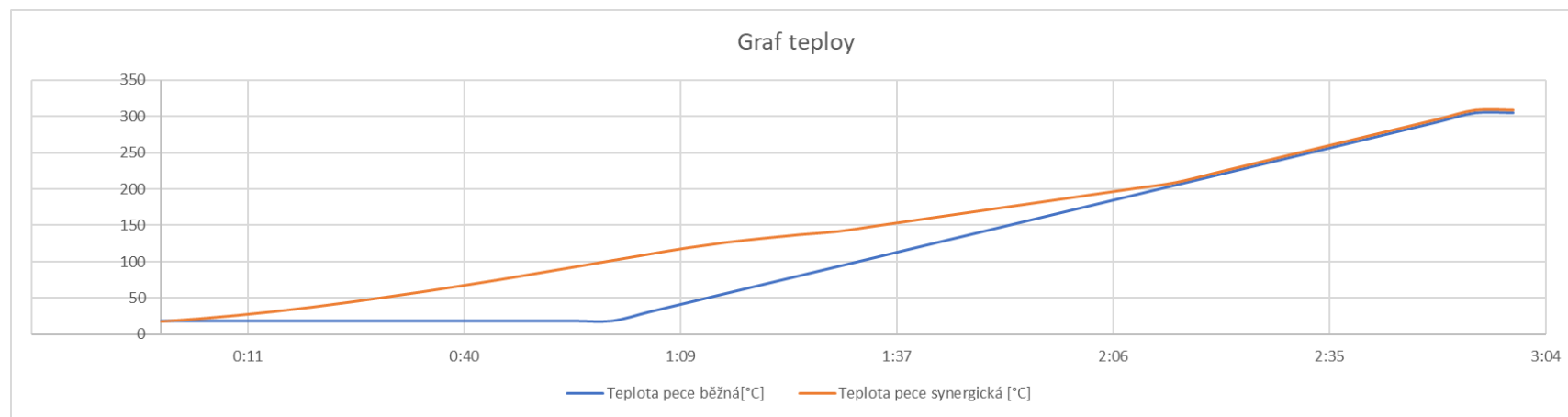
Porovnání úspor	
Běžné využití FVE	63,87%
Synergické využití FVE	95,98%
Navýšení spotřeby z FVE	32,11%

Tabulka 7.12 Úspora synergie Pece - Obnovitelné zdroje

Závěrem tohoto modelu je, že lze zvýšit využití fotovoltaické elektrárny o 32 %, z tabulky 7.12, v období, kdy je pec vytápěna v důsledku průběhů viditelných na grafu 7.8 a 7.9. Tato hodnota se bude lišit podle aktuálního výkonu elektrárny, požadavku vytopení pece, výkonu pece a spotřeby podniku.



Graf. 7.8 Procentuální výkon Pece - Obnovitelné zdroje



Graf. 7.9 Graf teploty pece

Elektrické přepravní zařízení ⇔ Obnovitelné zdroje

Již bylo zmíněno, že baterie pro ukládání přebytečné energie z obnovitelných zdrojů je neefektivní a z pohledu návratnosti se nevyplácí. To platí pro baterie, které jsou dodávány s elektrárnou. Mnoho podniků však baterie má a jejich používání je nezbytně nutné => baterie v přepravním zařízení. Tyto baterie mají obrovskou kapacitu, řádově 30 kWh/zařízení, reálně lze pak využít 24 kWh/zařízení. Pro představu, 10 kW fotovoltaická elektrárna vyrobí ve slunečném a letním dni přibližně 60 kWh energie. To znamená, že až 40 % vyrobené energie lze uložit do baterie (například manipulačního vozíku). V zimních měsících to může být 100 % energie.

Synergická vazba

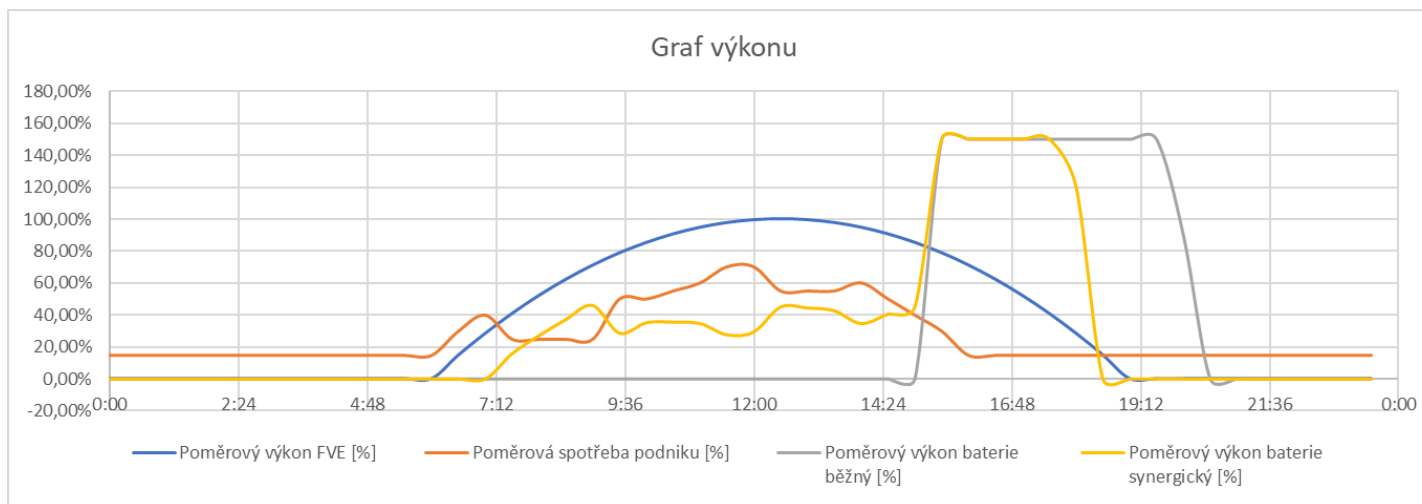
V malé provozovně, kde bude využíváno méně než dvou přepravních zařízení, není možné tyto zařízení odstavit v průběhu pracovního dne. Ve větší výrobní lince, kde může být navíc třísměnný provoz, lze s malými úpravami zaručit, že jedno z přepravních zařízení bude připojeno na nabíječku. Nabíječka může být řízena podle aktuálního přebytku (mezi aktuální výrobou a spotřebou). Rozdílný průběh nabíjení je vidět na grafu 7.10, výsledný stav baterie na grafu 7.11. Tabulka 7.13 ukazuje vstupní hodnoty, tabulka 7.14 výslednou úsporu.

Statické vstupní hodnoty	
Velikost baterie [%*den]	0,3
Start nabíjení [hh:mm]	15:30
Max. výkon nabíjení	150%

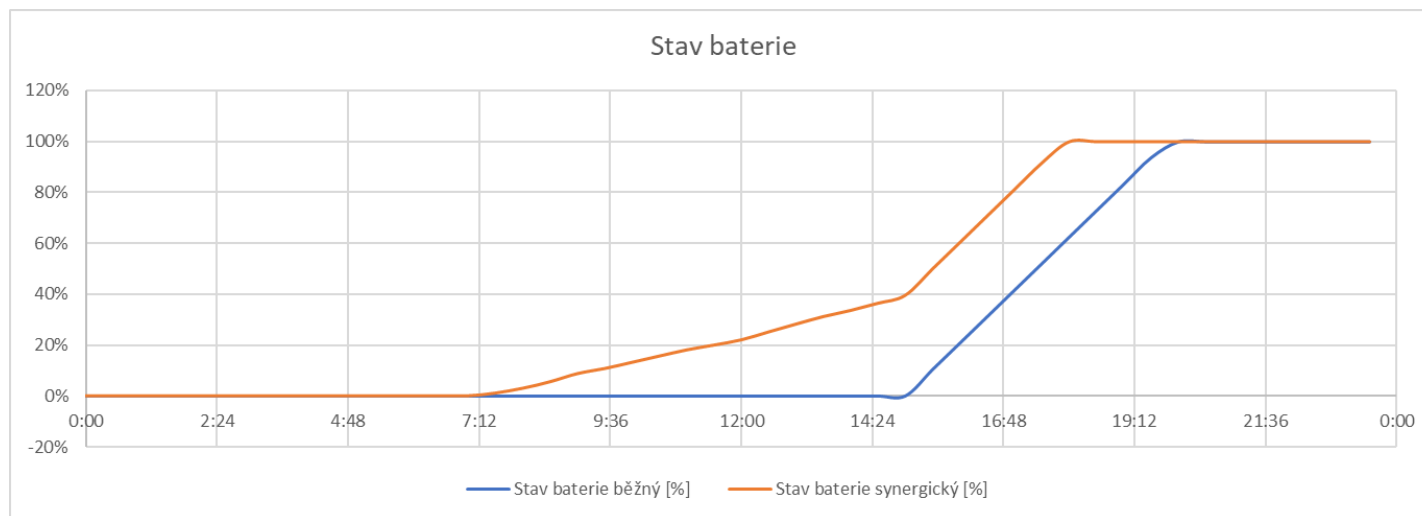
Tabulka 7.13 Statické vstupní hodnoty Elektrické přepravní zařízení - Obnovitelné zdroje

Porovnání úspor	
Běžné využití FVE	67,09%
Synergické využití FVE	100,00%
Navýšení spotřeby z FVE	32,91%

Tabulka 7.14 Úspora synergie Elektrické přepravní zařízení - Obnovitelné zdroje



Graf. 7.10 Procentuální výkon Elektrické přepravní zařízení - Obnovitelné zdroje



Graf. 7.11 Stav baterie přepravního zařízení

8. Praktické ověření

V rámci této kapitoly bude na konkrétní aplikaci (případové studii), kterou realizovala společnost TENAUR s.r.o. ukázáno validita výše uvedeného modelu, a sice pro vybranou synergii. Pro toto praktické ověření byla vybrána vazba **Vzduchotechnika ↔ Počasí**. Jedná se o konkrétní realizovanou implementaci v průmyslovém podniku. Synergie byla vložena do algoritmu systému TENGEO a plnohodnotně propojena s dalšími technologiemi.

V tomto veřejném textu bohužel nemohou být uvedeny skutečnosti, které by identifikovaly společnost, ve které byl projekt realizován.

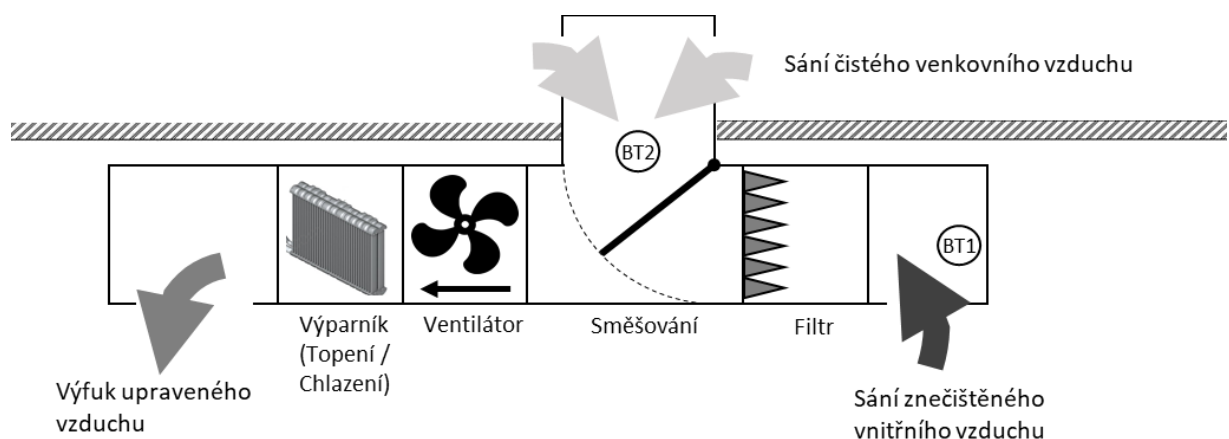
8.1. Stav technologie před instalací

Jednalo se o halu teplotně velice nestálou. Podnik měl problémy s příliš chladným prostředím v zimě a s příliš teplým prostředím v létě. Teplotní rozsah přesahoval i 10 °C. Instalovaný topný a chladicí zdroj byl silně poddimenzovaný na energetickou náročnost budovy.

Bohužel nejsou k dispozici naměřená data spotřeby předchozí technologie.

8.2. Popis instalace

Jelikož se dříve jednalo o teplotně velmi nestálé klima haly, byl investor nucen zajistit technologii, která dokáže udržet teplotu s výkyvy maximálně do 2 °C. Tento požadavek zvýší spotřebu elektrické energie a proto byla navržena synergická vazba, aby došlo k minimalizaci nákladů na energie.

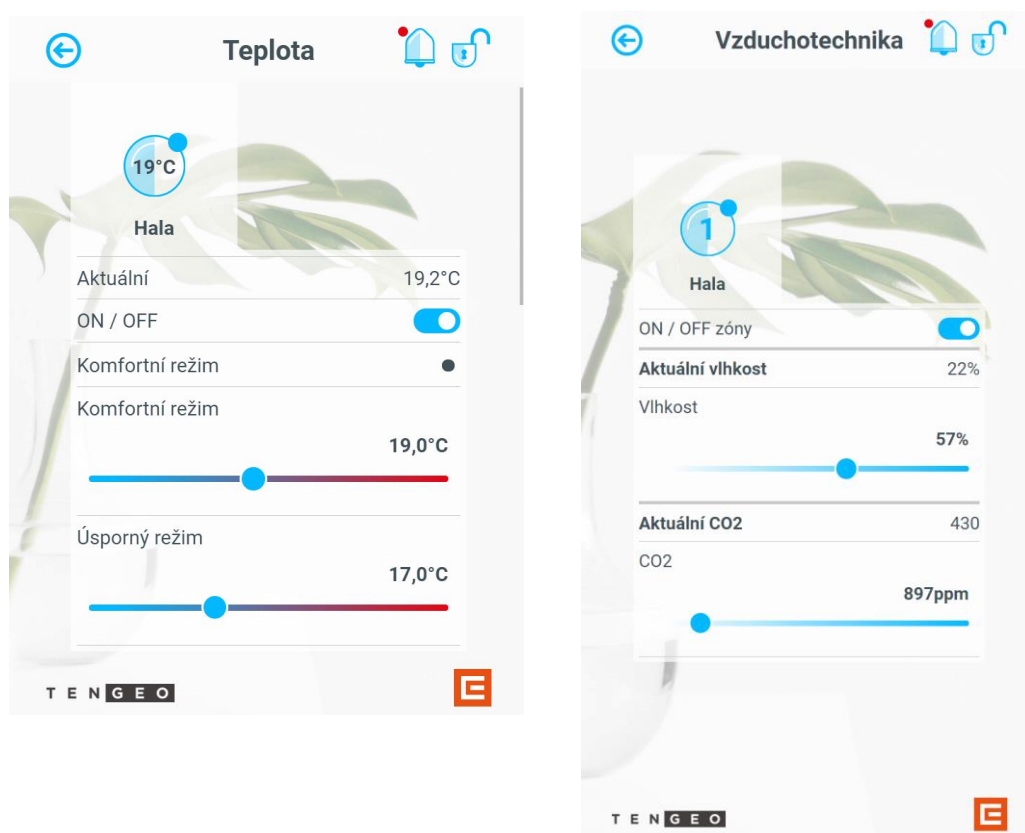


Obr. 8.1 Blokové schéma vzduchotechniky (Zdroj vlastní)

Teplotní čidlo venkovní (BT2) a vnitřní teploty (BT1) je umístěno na stěnu potrubí v blízké vzdálenosti sání. Blokové schéma instalace je vidět na obrázku 8.1. Celá instalace je připevněna závěsně pod strop objektu.

Na přání investora vstoupila do regulace také kvalita vnitřního prostředí, kterou reprezentuje vlhkost [%] a CO₂ [ppm]. Podle naměřených hodnot se dále upravuje minimální sání venkovního vzduchu. Ukázka uživatelského prostředí je vidět na obrázku 8.2. Fotografie instalované techniky nejsou na přání investora zveřejněné.

Parametry instalace pro měřený den jsou znázorněné v tabulce 8.1:



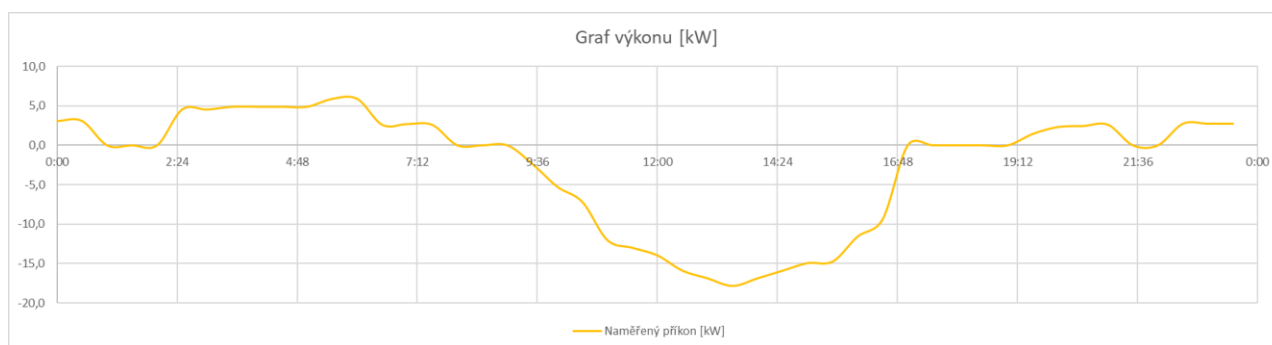
Obr. 8.2 Ukázka uživatelského prostředí regulace (Zdroj vlastní)

Průměrný tepelný výkon strojů [kW]	7,2
Tepelná ztráta objektu při -15 °C [kW]	11,3
Odhadované odpadní teplo [kWh]	57,6
Spotřeba kompresoru [kWh]	43,3
Průměrná venkovní teplota [°C]	12,2
Odhadovaná tepelná nebo chladící energie [kWh]	129,0

Tabulka 8.1 Parametry instalace

8.3. Reálné měření

Instalovaná regulace obsahuje SD kartu s možností ukládání dat v intervalu 5 minut. Hodnoty lze zpětně vyčíst a určit průběh spotřeby. Měření neobsahuje měření průtoku vzduchu, proto nelze využít kalorimetrickou rovnici pro tepelný a chladicí výkon. Reálné hodnoty příkonu kompresoru byly vynásobené koeficientem 2,98. To je průměrné COP při dané venkovní teplotě instalované kondenzační jednotky. Data jsou znázorněná v grafu 8.1. Odhadované teplo strojů je zjištěno na základě tepelného výkonu strojů a 8hodinové pracovní doby.

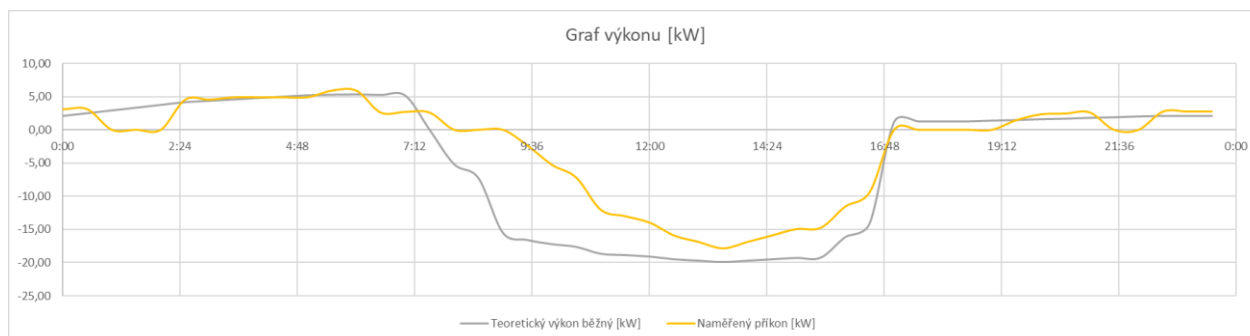


Graf. 8.1 Naměřený tepelný /chladicí výkon

Na grafu 7.1 je viditelné cyklování kompresoru, který se nedokáže přesně přiblížit tepelné ztrátě objektu => křivka není plynulá jako ve statickém modelu, ale má výrazné skoky.

8.4. Porovnání úspor

Nelze zjistit přesnou spotřebu pro případ, že není instalovaná tato synergie. Proto bylo použito reverzní inženýrství na základě statického model, z kterého byla křivka běžné spotřeby odhadnuta. Průběh je vidět na grafu 8.2.



Graf. 8.2 Odhadovaný tepelný/chladicí výkon bez synergie

Výpočtem plochy pod křivkou vznikly hodnoty zobrazené v tabulce 8.2.

Reálná spotřeba kompresoru, použití synergie [kWh]	43,3
Odhadovaná spotřeba kompresoru bez použití synergie [kWh]	64,4
Úspora [kWh]	21,10
Úspora [Kč]	85
Úspora [%]	32,8%

Tabulka 8.2 Výsledky reálné instalace

Výsledná úspora 32,8 %, 21,1 kWh, je velmi dobrá, avšak data byla měřena v průměrné venkovní teplotě 12,2 °C. Při této teplotě je nízká tepelná ztráta objektu a výsledná synergie má velké možnost chladit objekt venkovním vzduchem. Při nižších teplotách bude klapka trvale zavřená a úspora se bude blížit 0 %. Naopak při vyšších venkovních teplotách bude docházet k významnějšímu chlazení odpadního tepla a úspora se bude projevovat pouze při uzavření klapky v důsledku dobré kvality vzduchu.

Při porovnání modelu synergie a reálného měření je vidět velký nárůst úspory. Konkrétně z 13,85 % na 32,8 %. Nárůst je zapříčiněn rozdílnými vstupními daty, jako je například venkovní teplota a výkon vzduchotechniky. V základní synergii také nebyla navržena čidla pro měření kvality ovzduší a směšovací klapka byla vždy lehce pootevřená. Tím docházelo k větší tepelné ztrátě objektu.

Jelikož je nainstalovaná technologie zcela rozdílná od předchozí, nelze určit celkové roční úspory. V porovnání s výkonově obdobnou instalací se technologicky jedná pouze o SW úpravy regulace a nebylo nutné instalovat mechanicky složitější zařízení. Z tohoto důvodu není třeba uvažovat náročnější servisní prohlídky ani zvýšené náklady na údržbu. Porovnání popisované instalace s běžnou je vidět v tabulce 8.3.

Aspekt	Porovnání k běžné instalaci	Odůvodnění
Požizovací náklady	Neutrální	Jedná se pouze o SW změny. Vzhledem k pořizovací ceně celé instalace je navýšení zanedbatelné.
Mechanická složitost	Neutrální	Jedná se pouze o SW změny. Mechanicky jsou instalace totožné.
SW složitost	Záporné	Development musí znát synergické vazby a umět je aplikovat. Složité je odladění systému pro správnou funkci.
Licenční poplatky	Neutrální	Jedná se o kód, který nevyžaduje aktualizace, zvýšené zabezpečení atp. Měl by být započítaný pouze v pořizovací ceně.
Údržba zařízení	Neutrální	Jedná se pouze o SW změny. Mechanicky jsou instalace totožné.
Spolehlivost	Neutrální	Jedná se pouze o SW změny. Mechanicky jsou instalace totožné.
Provozní náklady	Kladné	Jak ukázal statický model, dochází k zanedbatelným energetickým úsporám.

Tabulka 8.3 Klady a zápory inovované instalace

9. Podnik podle synergického systému

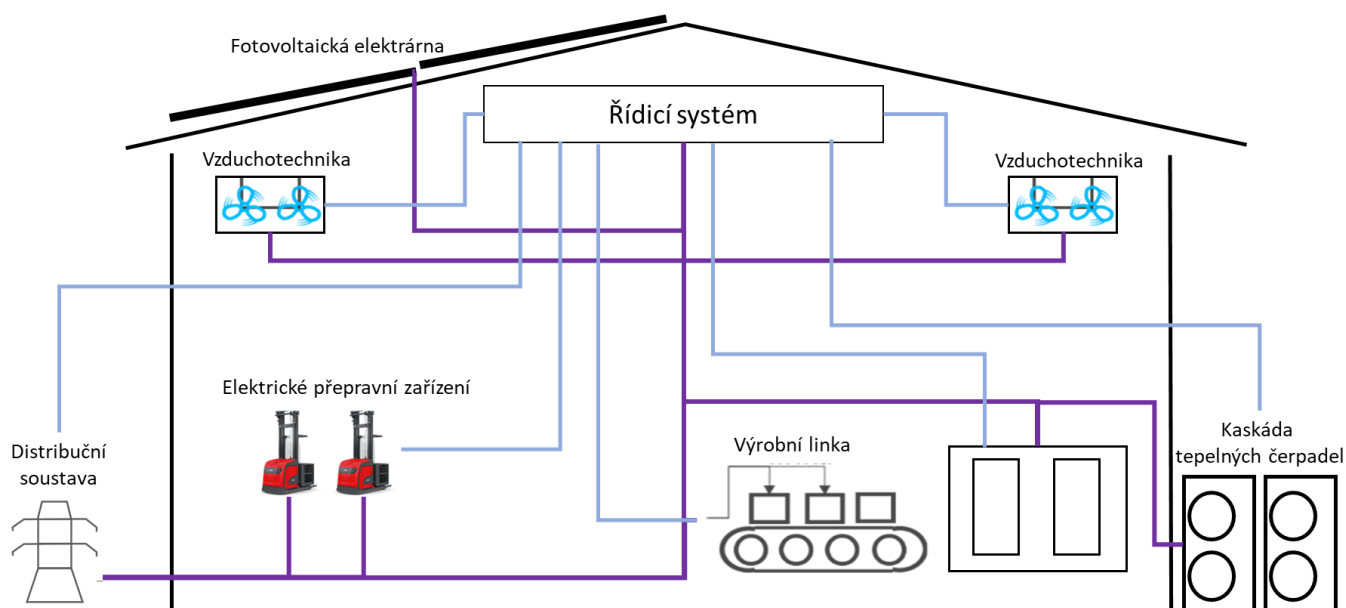
Vazby jsou pro jednoduchou aplikaci a možnost nasazení do zaběhnutého systému navrženy tak, aby je bylo možné snadno aplikovat a odzkoušet. Většina vazeb je řízena autonomně podle předdefinovaných funkcí. Běžného chodu podniku se dotknou pouze pasivně bez nutných zásahů. Jiným vazbám je nutné přizpůsobit výrobní proces a naučit pracovníky novým pravidlům pro zvýšení úspor.

Následující obrázek 9.1 ukazuje možné blokové schéma výrobních prostorů.

Popis obrázku:

- Černé čáry reprezentují zařízení a budovu
- Fialové čáry reprezentují silovou elektřinu nutnou pro výrobní i nevýrobní účely
- Světle modrá čára ukazuje napojení zařízení do řídicího systému.

Datové propojení může být realizované drátovou i bezdrátovou technologií.



Obr. 9.1 Blokové schéma podniku (Zdroj vlastní)

Veškerá logická propojení obsahují jak řídicí, tak měřící informace. Řídicí systém je navržen v podobě serveru pro zpracování měřených informací a povelů koncovým komponentům. Koncové komponenty mohou být ovládané bezdrátově pomocí IoT technologií, jako je například Lora nebo drátově.

Seřazení synergií podle důležitosti

Tato část může být velmi subjektivní. Záleží na konkrétním zadání, použitých technologiích a možnostech instalace. Vždy je nutné porovnávat dopad synergie na úspory, využití a investici potřebnou k úpravě. Pocitově autor řadí synergie takto:

1. Topení/Chlazení	↔	Obnovitelné zdroje
2. Topení/Chlazení	↔	Odpadní teplo
3. Topení/Chlazení	↔	Pece
4. Topení/Chlazení	↔	Vzduchotechnika
5. Pece	↔	Obnovitelné zdroje
6. Elektrické přepravní zařízení	↔	Obnovitelné zdroje
7. Vzduchotechnika	↔	Počasí
8. Vzduchotechnika	↔	Odpadní teplo
9. Vzduchotechnika	↔	Pece
10. Topení/Chlazení	↔	Počasí
11. Topení/Chlazení	↔	Distribuční soustava
12. Pece	↔	Distribuční soustava
13. Elektrické přepravní zařízení	↔	Distribuční soustava

10. Závěr

Rešerše začíná energetickým tématem, ze kterého je patrná nutnost změny nakládání s energií jako takovou. Změna získávání energie povede ke zvýšení cen energie. Spotřebitelé v soukromém i komerčním sektoru budou nuceni na tuto změnu reagovat. Je možné reagovat snižováním spotřeby energie efektivnějším využíváním nebo zavedením vlastních zdrojů s větší nebo menší mírou soběstačnosti. Tímto je vysvětlena podstata této práce pro budoucí využití.

Ve druhé části rešerše jsou popsány energeticky nejnáročnějších TZB v podniku. Celá problematika je shrnuta na několik moderních zařízení jako je například tepelné čerpadlo. To hraje v celé práci velmi zásadní roli díky jeho vlastnostem. Mezi hlavní vlastnosti patří čistota a efektivita využívání elektrické energie. Tepelné čerpadlo lze využít pro vytápění nebo chlazení prostorů podniku. Pokud však toto zařízení použijeme jiným způsobem (odlišnost v zapojení), můžeme jej využívat k předehřevu nebo chlazení výrobních zařízení.

V dnešní době jsou na vzestupu obnovitelné zdroje v čele s fotovoltaickou elektrárnou. Pro průmyslový segment je nejvýhodnější síťová elektrárna za předpokladu dobré regulace, která dokáže ovlivňovat spotřebu v daný čas. Regulace musí být připravena k řešení situace, kdy je nadbytek energie a není spotřeba. Lze tedy uměle zvýšit spotřebu zařízení, která by mohla být využita až později.

Další rešeršní část práce je zaměřena na vysvětlení pojmů Industry 4.0 a internetu věcí na zjednodušeném schématu výrobní linky budoucnosti. Tím se autor posunul k zobecnění poslední částí, kterou je synergie. Obecné vysvětlení tohoto pojmu říká, že výsledkem spojení dvou nebo více subjektů vznikne celek, který je větší než součet každého z nich. Spojení posledních kapitol napovídá, že: **IoT je konektor synergie v Industry 4.0**

V podstatě lze říct, že tento segment je aktuálně na vzestupu a jeho budoucí možnosti jsou takřka neomezené.

Pokud tuto problematiku aplikujeme v průmyslu a vezmeme v potaz zařízení popsaná v předchozích kapitolách, zůstává pouze otázkou, jak určit vazby mezi nimi, aby došlo k efektivnímu propojení všech technologií a jaký bude mít výsledný dopad na energie.

Praktická část se opírá o autorovu zkušenost z vývoje řídicích systému pro residenční bydlení s důrazem na efektivní využívání energií. **Celá praktická část je podložena zkušenostmi autora a nejedná se o řešerši již publikovaných řešení.** Celá metodika hledání synergie je od základu navržena tak, aby ji bylo možné uplatnit pro většinu podniků.

Pro základ energetického synergického systému je nejprve důležité pochopit technologii IoT. Autor ji rozdělil do tří základních celků:

- Jednoduché zařízení
- Ucelené zařízení
- Servery

Pro synergický systém byl navržen server, do kterého se hlásí jednoduchá zařízení v podobě akčních členů nebo snímačů. Veškerá logika je pak vykonávána skrze server.

Následně jsou nalezeny energeticky významné zařízení a factory, které jsou mezi sebou porovnány z pohledu toho, zda se mohou navzájem ovlivňovat či nikoli. Pokud ano, je zjištěno, jakým způsobem. Z porovnávání je zjištěno celkem 13 synergických shod. Ty nejdůležitější jsou následně lépe popsány.

Popis vždy obsahuje rozbor synergie, velmi jednoduchou synergickou vazbu a porovnání klasické a synergické situace. Složitější případy jsou namodelovány v MS Excel, ze kterého je výsledkem procentuální úspora pro danou situaci a průběh hodnot. Porovnáním synergického a klasického průběhu lze vidět reakci systému na předdefinovanou synergickou vazbu.

Nabízela se kapitola s výsledným efektem napříč všemi synergiemi. Tato problematika je však velmi specifická a synergické vazby jsou navzájem ovlivnitelné. Tudíž nelze určit konkrétní úsporu.

V kapitole č. 7 došlo k porovnání s reálnou instalací ve výrobním podniku. Výsledná úspora pro zvolený den přesahuje 30 % energie. Tomuto „významně kladnému výsledku“ přispěla průměrná referenční venkovní teplota 12,2 °C v období, kdy se získávala data. Při této teplotě jsou velice malé tepelné ztráty a lze skrze vzduchotechniku velice efektivně chladit vnitřní prostor od odpadního tepla strojů. Při nízké venkovní teplotě převládne nad odpadním teplem strojů tepelná ztráta objektu a výsledná úspora bude menší.

V hale došlo k velice znatelnému zvýšení teplotního komfortu. Pracovníci museli v letních měsících pracovat i při teplotách blížící se 30 °C. Vzhledem k tomu, že předchozí technologie

nebyla zcela vyhovující pro chlazení prostoru, nejsou instalace porovnatelné a nelze tedy bohužel vyčíslit celoroční úsporu. Bez pochyby však k úspoře dochází. Ať už energetické nebo i na výkonosti pracovníků, kteří získali pracovně příjemnější prostředí.

11. Seznam zdrojů

11.1. Internetové zdroje

- [1] DEXMA [online] [citace 17.5.2021] Dostupné z:
<https://www.dexma.com/blog-en/energy-4-0-how-digital-revolution-is-shaping-the-future-of-electricity/>
- [2] Wikipedia [online] [citace 1.12.2019] Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Synergie>
- [3] TZB-info [online] [citace 1.12.2019] Dostupné z:
<https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/19020-spotreba-elektriny-byla-v-roce-2018-nejvyssi-za-cele-sledovane-obdobi>
- [4] E15 [online] [citace 1.12.2019] Dostupné z:
<https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cena-elektriny-od-90-let-stoupla-na-osminasobek-1128801>
- [5] Tenauro [online] [citace 24.10.2016] Dostupné z:
<http://tenaur.cz/cz/menus/tepelna-cerpadla-obecne>
- [7] Wikipedia [online] [citace 15.10.2016] Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%BD_zdroj_energie
- [8] TZB-info [online] [citace 29.10.2016] Dostupné z:
<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [10] TZB-info [online] [citace 13.10.2016] Dostupné z:
<http://www.tzb-info.cz/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>

11.2. Knižní zdroje

- [6] ŠIZLING, Jiří. *Možnosti průmyslové regulace*. Plzeň, 2017. Bakalářská práce. Západočeská univerzita. Fakulta strojní. Katedra průmyslového inženýrství a managementu. Vedoucí práce Ing. Petr Hořejší Ph.D.
- [12] BENEŠ Pavel a kolektiv. *Automatizace a automatizační technika I*. V Brně: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-36287
- [13] Haselhuhn, Ralf. *Fotovoltaické systémy*. V Plzni: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1
- [14] Gustav Tomek, Věra Vávrová. *Průmysl 4.0 aneb Nikdo sám nevyhraje*. V Průhonicích: Professional Publishing, 2017. ISBN: 978-80-906594-4-5 Seznam obrázků

12. Seznam obrázků

Obr. 4.1 Tepelné čerpadlo

Obr. 4.2 Cyklus tepelného čerpadla

(<http://www.envienergyczech.cz/tepelna-cerpadla.php>)

Obr. 4.3 Vzduchotechnika

Obr. 4.4 Fotovoltaika

Obr. 4.5 Síťová fotovoltaika

Obr. 4.6 Hybridní fotovoltaika

Obr. 4.7 Ostrovní fotovoltaika

Obr. 4.8 PLC Foxtrot

(<http://www.tecomat.com/clanek-886-cp-1006.html>)

Obr. 4.9 Rekuperace tepla VZT

Obr. 5.1 Industry 4.0

Obr. 8.1 Blokové schéma vzduchotechniky

Obr. 8.2 Ukázka uživatelského prostředí regulace

Obr. 9.1 Blokové schéma podniku

13. Seznam grafů

Graf. 3.1 Výroba vs spotřeba energie

(<https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/19020-spotreba-elektriny-byla-v-roce-2018-nejvyssi-za-cele-sledovane-obdobi>)

Graf. 3.2 Růst ceny elektřiny

(<https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cena-elektriny-od-90-let-stoupla-na-osminasobek-1128801>)

Graf. 3.3 Podíl zdrojů elektřiny v ČR

(<https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>)

Graf. 4.1 Výroba FVE vs spotřeba

Graf. 7.1 Procentuální výkon tepelných ztrát a zdrojů

Graf. 7.2 Průběh teploty

Graf. 7.3 Úspora synergie Topení/Chlazení - Odpadní teplo

Graf. 7.4 Procentuální výkon Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje

Graf. 7.5 Průběh teploty Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje

Graf. 7.6 Procentuální výkon Vzduchotechnika - Počasí

Graf. 7.7 Stav klapky Vzduchotechnika - Počasí

Graf. 7.8 Procentuální výkon Pece - Obnovitelné zdroje

Graf. 7.9 Graf teploty pece

Graf. 7.10 Procentuální výkon Elektrické přepravní zařízení - Obnovitelné zdroje

Graf. 7.11 Stav baterie přepravního zařízení

Graf. 8.1 Naměřený tepelný /chladicí výkon

Graf. 8.2 Odhadovaný tepelný/chladicí výkon bez synergie

14. Seznam tabulek

Tabulka 7.1 Vazby

Tabulka 7.2 Statické vstupní hodnoty

Tabulka 7.3 Dynamické vstupní hodnoty

Tabulka 7.4 Běžná regulace

Tabulka 7.5 Synergická regulace

Tabulka 7.6 Porovnání úspor

Tabulka 7.7 Statické vstupní hodnoty Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje

Tabulka 7.8 Úspora synergie Topení/Chlazení - Obnovitelné zdroje

Tabulka 7.9 Statické vstupní hodnoty Vzduchotechnika - Počasí

Tabulka 7.10 Úspora synergie Vzduchotechnika - Počasí

Tabulka 7.11 Statické vstupní hodnoty Pece - Obnovitelné zdroje

Tabulka 7.12 Úspora synergie Pece - Obnovitelné zdroje

Tabulka 7.13 Statické vstupní hodnoty Elektrické přepravní zařízení - Obnovitelné zdroje

Tabulka 7.14 Úspora synergie Elektrické přepravní zařízení - Obnovitelné zdroje

Tabulka 8.1 Parametry instalace

Tabulka 8.2 Výsledky reálné instalace

Tabulka 8.3 Klady a zápory inovované instalace

15. Seznam zkratk

TZB – Technická zařízení budov

FVE – Fotovoltaická elektrárna

PLC, PAC – Programovatelný logický automat

MaR – Měření a regulace

TUV – Teplá užitková voda

EK – Elektrokotel

TČ – Tepelné čerpadlo

UVP - Unique Value Proposition, česky konkurenční výhoda

IoT - Internet of Things, česky internet věcí

16. Přílohy

DP_model.xlsx – Statický model všech výsledků