



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

ANALÝZA SPOTŘEB PRŮMYSLOVÝCH PROVOZŮ

CONSUMPTION ANALYSIS OF INDUSTRIAL PLANTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Eva Konečná

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Studentka:	Bc. Eva Konečná
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Procesní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza spotřeb průmyslových provozů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Efektivní návrh úsporných opatření v průmyslových podnicích předpokládá znalost reálných spotřeb provozovaných technologií a procesů. Práce si klade za cíl představit aktuální praxi při posuzování energetické náročnosti průmyslových provozů. Známým nástrojem je tzv. energetický audit, jehož použitelnost je v kontextu průmyslových provozů omezená. Hlavním výsledkem práce je návrh vlastní metodiky, která bude zaměřena právě na spotřeby průmyslových technologií a procesů. Výsledky práce najdou uplatnění v rámci aktivit Laboratoře energeticky náročných procesů výzkumného centra NETME Centre.

Cíle diplomové práce:

- 1) představení energetického auditu a související legislativy, zhodnocení přínosů a omezení energetického auditu v případě průmyslových technologií a procesů,
- 2) výběr teoretických znalostí z oboru procesního inženýrství potřebných pro analýzu spotřeb průmyslových provozů,
- 3) popis základních typů opatření pro úsporu energie a jejich aplikace,
- 4) návrh metodiky analýzy spotřeb s důrazem na univerzální aplikovatelnost napříč různými odvětvími průmyslu,
- 5) ukázka aplikace navržené metodiky na dvou vybraných procesech.

Seznam literatury:

THUMANN A., et al. Handbook of Energy Audits. 8th ed. Fairmont Press, 2010.

BROWN H.L., et al. Energy analysis of 108 industrial processes. Prentice Hall, 1996.

MALÝ V., Energetický audit v průmyslu. Diplomová práce. Katedra elektroenergetiky Fakulty elektrotechnické ČVUT. Vedoucí práce: Ing. Lubomír Musálek, 2014.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Snaha o snížení využívání primárních energií je vysoce aktuální v evropském i celosvětovém měřítku. Oblast průmyslu, obzvláště technologické vybavení provozů, stále nabízí velký prostor pro úspory. Ke snížení spotřeb a celkových nákladů provozu lze využít nástroje jako systém hospodaření s energiemi a energetický audit, který pomáhá identifikovat oblasti provozu, kde je potenciál pro úspory a zlepšení účinnosti. Současný přístup energetického auditu je však nedostačující v oblasti technologií. A právě proto se tato práce soustředí na návrh univerzální metodiky pro provádění auditu se zaměřením na výrobní a procesní zařízení, která bude snadno aplikovatelná pro nejrůznější druhy průmyslové výroby.

Klíčová slova

system hospodaření s energiemi, energetický audit, technologický audit, analýza spotřeb, úsporná opatření, energetické služby se zárukou

Abstract

The effort to limit the usage of primary energies highly relevant and topical issue on both European and global level. The wide and diverse industry area, especially the technological equipment of operation, still offer a large potential for such savings. Some of the tools that can be used to lower the consumption and overall operational costs are the energy management system and the energy audit, which helps to identify working areas with a potential for savings and efficiency improvements. However, the current approach to energy audit is not sufficient when it comes to technologies. Which is why this thesis aims at designing a universal methodology for audits with a focus on manufacturing and processing equipment, which will be easily applicable in various types of industrial production.

Key words

energy management system, energy audit, technology audit, consumption analysis, savings measures, energy performance contracting

KONEČNÁ, E. Analýza spotřeb průmyslových provozů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vítězslav Máša, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod odborným dohledem vedoucího práce a že jsem použila prameny, které cituji a jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 25.5.2017

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práci Ing. Vítězslavu Mášovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady, připomínky a doporučení, které mi poskytl během vypracovávání diplomové práce. Také bych ráda poděkovala Ing. Lukáši Staňkovi za odtajnění jeho postupů a zkušeností jako energetického specialisty. V neposlední řadě chci poděkovat Ing. Michalu Toušovi, Ph.D. za jeho poznatky a připomínky k práci v oblasti zpracování dat.

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Teoretická část.....	15
2.1 Energetický audit.....	15
2.1.1 Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií.....	16
2.1.2 Vyhláška č. 118/2013 Sb., o energetických specialistech.....	17
2.1.3 Vyhláška č.480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku.....	18
2.2 Energetický audit z pohledu technologií.....	20
2.3 Znalosti procesního inženýra pro praxi.....	24
2.3.1 Jednotkové operace.....	24
2.3.2 Tepelné pochody.....	25
2.3.3 Systémové inženýrství.....	25
2.3.4 Měření a řízení.....	26
2.3.5 Další znalosti z procesního inženýrství.....	26
2.4 Metoda EPC.....	27
2.5 Aplikovaná opatření pro úspory.....	28
2.5.1 Zdroje energie.....	28
2.5.2 Vzduchotechnika.....	30
2.5.3 Osvětlení.....	31
2.5.4 Izolace.....	31
2.5.5 Technologie.....	32
3 Praktická část.....	34
3.1 Návrh metodiky pro stanovení spotřeb v průmyslových provozech.....	34
3.1.1 Přípravná fáze.....	36
3.1.2 Práce v provozu.....	37
3.1.3 Měření a zpracování dat.....	39
3.1.3.1 Měřicí technika.....	39
3.1.3.2 Zpracování dat.....	44
3.1.3.3 Bilance.....	47
3.1.4 Posouzení provozu a návrh úsporných opatření.....	50
3.1.4.1 Vyhodnocení stávajícího stavu provozu.....	50
3.1.4.2 Návrh úsporných opatření.....	51
3.1.4.3 Ekonomická kritéria pro výběr investičního návrhu.....	52
3.1.5 Shrnutí návrhu metodiky.....	53
3.2 S I: Analýza spotřeb v komerční prádelně.....	55
3.2.1 Zhodnocení provedení analýzy.....	55
3.2.2 Návrh na doplnění.....	58
3.3 S II: Analýza spotřeb v průmyslovém výrobním podniku.....	59
3.3.1 Přípravná fáze.....	60
3.3.2 Prohlídka objektu.....	60
3.3.3 Informace získané prohlídkou.....	61

3.3.4 Vyhodnocení informací.....	64
3.3.5 Další postup.....	65
4 Závěr.....	68
5 Seznam použitých zdrojů.....	71
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	79
Přílohy.....	81

1 Úvod

Dlouhodobě řešenou otázkou v celosvětovém měřítku je snaha o efektivní hospodaření s primárními zdroji energie. Mezi významné spotřebitele energie patří průmyslové podniky. Kromě zodpovědnosti vůči životnímu prostředí jsou snahy o úspory motivovány zvyšujícími se cenami energií. Proto je nutné stále hledat nové možnosti a cesty k dalšímu snižování energetické náročnosti průmyslové výroby.

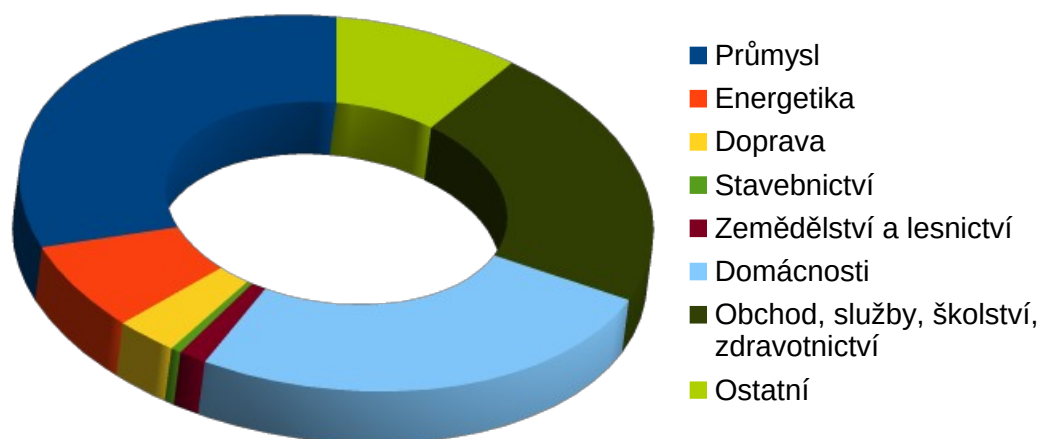
Pozornost na snižování energetické náročnosti a spotřeby je globálně řešeným tématem. I přesto, že se více rozšiřuje snaha o zvýšení efektivity, stále je více než 80 % světové spotřeby energie vyráběno z fosilních paliv [1]. Velká pozornost pro zlepšení energetické efektivity je soustředěna na oblast technologií, které stále poskytují velký prostor a právě oblast průmyslu má velký zájem na změně přístupu ke kontrole energetických nákladů [2][3].

V roce 2007 byla Evropskou radou představena i koncepce Evropa 2020, která na tento problém reaguje. Jedním z jejích hlavních cílů je i snížení spotřeby primární energie o 20 % do roku 2020. Reakcí členských států na tuto snahu Evropské unie by měla být tvorba programu pro podporu snižování spotřeby energie a zvyšování energetické účinnosti.[4] Česká republika formuluje svůj energetický přístup ve Státní energetické koncepci z roku 2014, kde je zahrnuto právě zvyšování energetické účinnosti a dosažení úspor v energetickém řetězci.[5] Obě tyto koncepce podporují provádění energetického auditu jako jeden z hlavních nástrojů pro zajištění výše stanovených cílů, a to nejen u velkých podniků. Energetický audit podává ucelenou představu o hospodárnosti využívání energií ve sledovaném energetickém hospodářství. V některých případech je audit vyžadován současnou legislativou nebo může být i nezbytnou součástí při žádosti o dotace.

Implementace politiky energetických úspor je na národní úrovni podporována řadou dotačních programů. Mezi hlavní poskytovatele patří Ministerstvo průmyslu a obchodu a Ministerstvo životního prostředí. Z aktuálních dotačních výzev je možné zmínit PROGRAM EFEKT (Státní program na podporu úspor energie) nebo OPPIK (Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost).[6][7]

Průmyslové odvětví dlouhodobě tvoří více než 30 % z celkové spotřeby elektrické energie v ČR, jak je patrné z grafu zobrazeného na Obr. 1 vytvořeného dle dat Energetického regulačního úřadu. V případě zemního plynu se podíl průmyslu na jeho celkové spotřebě blíží hranici 50% [8]. Sektor průmyslu se podílí na celkové spotřebě energie z více než jedné třetiny.[9]

Spotřeba elektřiny dle sektorů národního hospodářství pro rok 2015



Obr. 1: Graf spotřeby elektřiny dle sektorů národního hospodářství pro rok 2015 [8]

V případě průmyslových podniků tvoří hlavní náklady na energie a paliva procesní zařízení – ať už se jedná o energetické zdroje, zařízení pro vytápění, chlazení či ventilaci vnitřních prostor podniku nebo samotná zařízení výroby a zpracování. Právě tyto systémy poskytují velký prostor pro aplikaci úsporných opatření.

Jedním z použitelných nástrojů, který přispívá ke snižování energetické spotřeby a zvyšování účinnosti využitelného i ve sféře průmyslu, je systém energetického managementu. V případě průmyslových podniků je možné definovat energetický management jako ucelený soubor soustavných aktivit, postupů a návyků. Jedná se o plánování jednotlivých prvků, následnou implementaci, kontrolu a organizaci napříč celou činností. Ve výsledku vedou tyto opatření k souvislému snižování spotřeby a tím i nákladů.[10]

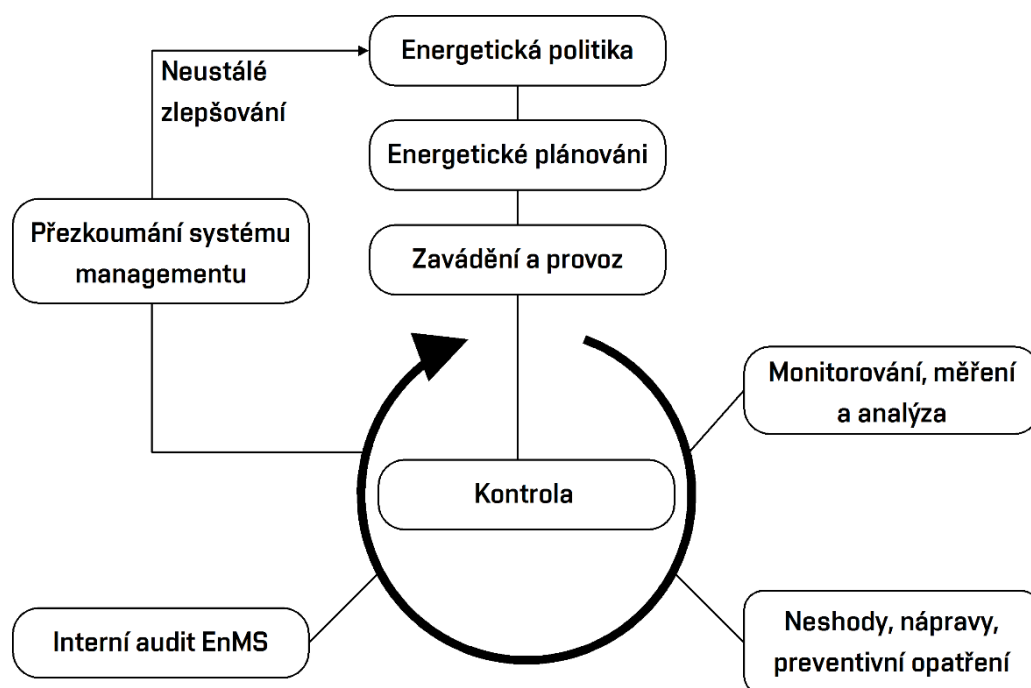
Současný přístup k energetickému managementu je možné rozdělit do několika kategorií, které zásadně ovlivňují energetickou spotřebu. První kategorií je management stavby, kde hlavní roli hrají 3 prvky – plánované kontroly, plánování tarifů a zátěže, a vytvoření tzv. chytrého prostředí. Pro vedení provozu/podniku je

důležitým prvkem změna zpracovatelského přístupu od přístupu udávaného produkcí k přístupu směřujícího na zákazníka. Úspor je možné dosáhnout vytvořením chytrého provozu/podniku, který by kombinoval řízení a lidské faktory. Další oblastí, kde lze dosáhnout velkých úspor, je chytré řízení vzduchotechniky v rámci energetického managementu. Obzvláště pokud je do systému zahrnuta zpětná vazba od pracovníků v kombinaci s řízením zařízení. V takovémto případě mohou být úspory až třikrát vyšší než průměr. Mezi další oblasti, kde jde dosahovat značných úspor, patří osvětlení a motory.[11] Oběma těmito kategoriím bude věnována pozornost v pozdějších kapitolách. Lze tedy obecně říci, že současný přístup spočívá v inteligentní kontrole a řízení jednotlivých systémů.

Je třeba však připomenout, že systém managementu může být uchopen různými způsoby, pokud se nejedná o systémový přístup normy. Energetická účinnost je obecně chápána jako maximální výtěžnost vstupů s minimálními provozními náklady. Účinnost může být analyzována na základě různých modelů a vyhodnocena pomocí řady různých indikátorů s přihlédnutím na typ sledovaného provozu a jeho náročnosti. V neposlední řadě je třeba doplnit, že do faktorů ovlivňujících celkovou energetickou účinnost vstupují i aktuální ekonomické podmínky.[1]

Od roku 2012 je zavedena celosvětově uznávaná norma ČSN EN ISO 50001 Systémy managementu hospodaření s energií, která poskytuje systematický přístup k lepšímu využívání energií, jejich úspoře a zvýšení účinnosti.[12]

Dle údajů International Organization for Standardization za rok 2015 bylo touto normou certifikováno 11 985 provozů, z čehož 55 % tvoří průmyslová odvětví. Nejvyšší počet z toho tvoří výroba kovů a kovových výrobků. Největší podíl z certifikovaných objektů tvoří Evropa s necelými 85 %. Česká republika se na celkovém počtu podílela 73 certifikacemi.[13] Tento zájem o implementaci normy je možné vysvětlit výše zmíněnou iniciativou Evropské unie vedoucí ke snížení spotřeby primárních energií.



Obr. 2: Systém energetického managementu dle normy ČSN EN 50001 [12]

Energetický audit je jednou ze součástí systému energetického managementu, proto mu bude v této práci věnována velká pozornost. Hlavním cílem je tedy poskytnout ucelený obraz o současné podobě energetického auditu, jakožto nástroji pro identifikaci možných úspor. Bude představena legislativa, která upravuje obsah energetického auditu spolu se souvisejícími normami a doporučená metodika provádění celého auditu. Z bližšího popisu aktuálního energetického auditu bude patrné, že z pohledu technologií je nedostatečný. Popisu energetického auditu se věnuje kapitola 2, která dále obsahuje pojednání o znalostech procesního inženýra přispívající k sledované problematice. Dále jsou v kapitole představeny možnosti energetických úspor a možná metoda jejich financování.

Právě proto se praktická část této práce soustředí především na návrh metodiky, která bude zdůrazňovat technologické zařízení provozu. Snahou je, aby návrh byl dostatečně univerzální a tím použitelný v různých druzích průmyslových provozů. Detailní popis navrženého postupu tvoří velkou část kapitoly 3.

V závěru kapitoly 3 je navržený postup použit pro případovou studii prádelenského provozu, kde je zhodnoceno provedení analýzy provozu s ohledem na popsanou metodiku a jsou připojena doporučení k doplnění této analýzy. Druhá

případová studie se soustředí na energeticky náročný provoz specializující se na výrobu energetických zařízení. Jsou popsány především úvodní kroky popsané metodiky a nastíněn další postup při analýze spotřeb s návrhy úsporných opatření.

2 Teoretická část

Teoretická část obsahuje souhrn informací o energetickém auditu – legislativa, využití norem a přístup k technologiím. Jsou popsány znalosti z oblasti procesního inženýrství, které jsou při zpracování auditu užitečné. Dále jsou popsány základní druhy úsporných opatření a jejich možný způsob financování. Z této části následně vychází praktická část, která je tvořena návrhem vlastní metodiky energetického auditu.

2.1 Energetický audit

Energetický audit je soubor jednotlivých činností, kterými je získán ucelený přehled o využívání zdrojů energií ve sledované jednotce nebo hospodářství. Poskytuje informace o hospodárnosti a efektivnosti využívání energetických zdrojů a také ukazuje nedostatky současného stavu provozu. Nedílnou součástí je i návrh ekonomicky vhodných opatření pro dosažení úspor.[14]

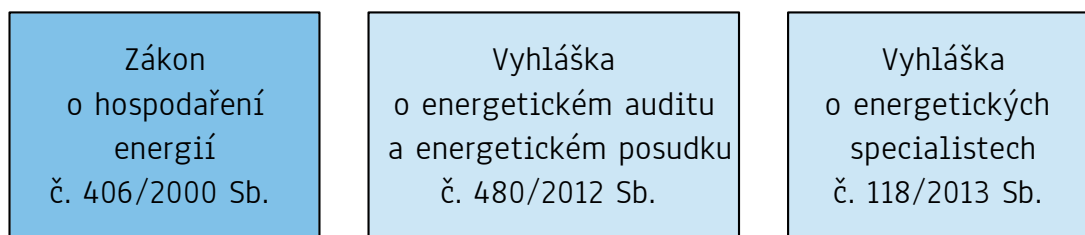
V normě ČSN EN 16247-1 je audit definován jako systematická kontrola a analýza užívání energií a jejich spotřeb s cílem identifikovat energetické toky a potenciál pro zlepšení.[15]

Energetický audit poskytuje informace o aktuálním nastavení sledovaného provozu, na jejichž základě je možné navrhnout úsporná opatření, kterými bude dosaženo jak energetických, tak i celkových finančních úspor. V případě využívání dotačních programů může být energetický audit jednou z nutných příloh, které je třeba k žádosti o dotaci přiložit.

Je nutné dodat, že energetický audit je zatím více chápán jako zákonná povinnost, která musí být splněna, než prostředek, který umožňuje určit možnosti pro úsporu.[16]

Následující kapitoly se týkají popisu auditu z hlediska české legislativy. Pro přehled je legislativní rámec energetického auditu uveden na Obr. 3.

Legislativní rámec energetického auditu



Obr. 3: Legislativní rámec energetického auditu

2.1.1 Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií [17]

Pro vykonání auditu je některým subjektům stanovena povinnost jeho provedení zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Dle § 9 mají povinnost vypracovat energetický audit:

- stavebníci, společenství vlastníků nebo vlastníci budovy či energetického hospodářství při spotřebě energie vyšší než stanovuje příslušný prováděcí právní předpis nebo při větší změně dokončené budovy, kdy nejsou splněny požadavky na energetickou náročnost,
- jiní než menší a střední podnikatelé - v tomto případě je nutné energetický audit zpracovávat každé 4 roky, pakliže nemá podnik zaveden certifikovaný systém hospodaření s energiemi dle harmonizované normy nebo systém environmentálního řízení dle harmonizované normy (kde audit je jejich součástí).

Dále ze zákona plyne povinnost:

- předložit audit na vyžádání ministerstvu nebo SEI,
- splnit opatření nebo jejich část vyplývající z auditu v případě, že se jedná o organizační složky státu, krajů a obcí a příspěvkových organizací (do lhůty stanovené SEI),
- oznámit ministerstvu provedení energetického auditu.

Další velmi podstatou částí zákona je definice energetického specialisty, který je oprávněn audit provádět. Dle § 10 je možné specialisty rozdělit do 4 kategorií podle druhu jejich oprávnění. Oprávnění udělená ministerstvem jsou určena k:

- zpracování energetického auditu a energetického posudku,
- zpracování průkazu energetické náročnosti,
- provádění kontroly provozovaných kotlů a rozvodů tepelné energie,
- provádění kontroly klimatizačních systémů.

Podmínka pro získání oprávnění je složení odborné zkoušky, plná svéprávnost, bezúhonnost a odborná způsobilost zájemce. Odborná způsobilost je dle § 10 odst. 4 zákona stanovena splněním jedním z následujících kritérií:

- studium bakalářských, magisterských či doktorských oborů technických věd a jejich oborů energetiky, energetických zařízení nebo stavebnictví a 3 roky praxe v oboru,
- střední vzdělání s maturitní zkouškou v oblastech technického směru v oboru energetiky, energetických zařízení nebo stavebnictví a 6 let praxe v oboru,
- vyšší odborné vzdělání v oblastech technického směru v oboru energetiky, energetických zařízení nebo stavebnictví a 5 let praxe v oboru.

Z této definice je možné odvodit, že energetickým specialistou se může stát absolvent procesního inženýrství po absolvování 3leté praxe, což potvrzuje i Ministerstvo průmyslu a obchodu [18]. Dále dle tohoto paragrafu je energetický specialista povinen podstoupit průběžné vzdělávání a přezkoušení každé 3 roky. Zkušební komise je jmenována Státní energetickou inspekcí.[17]

2.1.2 Vyhláška č. 118/2013 Sb., o energetických specialistech [19]

Ve vyhlášce č. 118/2013 Sb. jsou blíže specifikovány požadavky na znalosti energetického specialisty, průběh odborné zkoušky a přezkušování, složení zkušební komise a další formality, jako vedení evidence energetických specialistů apod.

Odborná zkouška je složena z písemné a ústní části. V písemné části prokazuje žadatel znalost a přehled související s jednotlivými činnostmi specialisty, jako jsou právní předpisy, české technické normy a technické dokumenty, základní fyzikálně technické, ekonomické a ekologické znalosti. Ústní část je tvořena rozpravou na základě podkladů, kterými jsou zprávy o kontrolách kotlů a rozvodů tepelné energie, klimatizačních systémů, energetické audity, posudky a průkazy. Tyto podklady jsou opět určeny Státní energetickou inspekcí.

Pořádáním průběžného vzdělání jsou vysoké technické školy pověřené ministerstvem. Jedná se o České vysoké učení technické v Praze (Fakulta stavební, Katedra technického zařízení budov), Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích (Centrum celoživotního vzdělávání), Vysoká škola báňská – Technická univerzita v Ostravě (Výzkumné energetické centrum) a Vysoké učení technické v Brně (Fakulta stavební, Ústav technického zařízení budov).[19]

V následující kapitole bude věnována pozornost prováděcímu právnímu předpisu, který stanovuje výši spotřeby, při které je nutné vypracovat energetický audit a jeho další náležitosti a podrobnosti.

2.1.3 Vyhláška č.480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku [20]

Vyhláška č. 480/2012 Sb. upravuje rozsah, obsah a způsob zpracování energetického auditu a energetického posudku. V roce 2016 byla vydána její novela 309/2016 Sb., která vstoupila v účinnost 11.10.2016.

Povinnost zpracovat energetický audit vzniká při hodnotě celkové roční spotřeby vyšší než:

- a) 35 000 GJ (9722 MWh) pro právnické a fyzické osoby a týká se pouze jednotlivých budov nebo jednotlivých hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ (194 MWh) za rok,
- b) 1500 GJ (417 MWh) pro organizační složky státu, krajů a obcí a příspěvkových organizací a týká se pouze jednotlivých budov a jednotlivých hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ (194 MWh) za rok.

Celková roční spotřeba je chápána jako součet za všechny budovy a energetická hospodářství příslušné osoby, organizační složky nebo příspěvkové organizace.

Strukturu energetického auditu je možné rozdělit do 3 základních částí:

1. formální náležitosti – titulní list, identifikační údaje, evidenční list energetického auditu, kopii dokladu o vydání oprávnění nebo kopii oprávnění osoby pro vykonání této činnosti dle právního předpisu jiného členského státu EU,
2. popis a vyhodnocení stávajícího stavu předmětu auditu,
3. návrh opatření ke zvýšení účinnosti užití energie, jednotlivé varianty z návrhu na opatření, výběr optimální varianty a doporučení energetického specialisty.

Níže budou detailněji popsány klíčové části auditu.

Popis stávajícího stavu předmětu auditu obsahuje údaje o:

- charakteristice hlavních činností, popis technických zařízení, systémů a budov a situační plán,
- energetických vstupech za poslední 3 roky včetně průměrných hodnot,
- vlastních zdrojích energie,
- rozvodech energie (druh, délka, kapacita, průměr, provedení, technický stav a stáří, tloušťka a stav tepelné izolace pro rozvody a chlazení; pro všechny rozvody je uvedeno schéma rozvodů, zhodnocení jejich stavu a vybavenost měření),
- významných spotřebičích energie (druh spotřebiče, energetický příkon, roční pracovní fond, způsob regulace),
- tepelně technických vlastnostech budov,
- systému managementu hospodaření energií dle ČSN EN ISO 50001.

Další část týkající se současného stavu je jeho samotné vyhodnocení, které podává informace o:

- vyhodnocení účinnosti ve zdrojích energie, v rozvodech tepla a chladu a ve významných spotřebičích,
- vyhodnocení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí budov,
- vyhodnocení úrovně systému managementu hospodaření s energií a
- celkovou energetickou bilanci.

Návrh jednotlivých opatření obsahuje roční úspory energie v MWh v porovnání se stavem před realizací úsporných opatření, náklady na jejich realizaci a průměrné roční provozní náklady v tisících Kč/rok v porovnání s průměrnými ročními náklady stávajícího stavu. Z těchto návrhů jsou vytvořeny minimálně 2 varianty, které obsahují:

- popis navrhovaných opatření, ze kterých je varianta vytvořena, a to roční úspory energie v MWh/rok a jejich srovnání s aktuálním stavem, investiční náklady na realizaci a průměrné roční provozní náklady v porovnání se stávajícím stavem,
- ekonomické a ekologické vyhodnocení jednotlivých variant,
- upravenou roční energetickou bilanci navržených variant.

Výběr jedné z navrhovaných možností je proveden na základě ekonomického vyhodnocení s ohledem na velikost úspor, ekologické vyhodnocení a kritéria dotačních programů.

Doporučení energetického specialisty obsahuje popis optimální varianty s ročními úsporami, náklady na realizaci, průměrné roční provozní náklady, upravenou energetickou bilanci, ekonomické a ekologické vyhodnocení optimální varianty a návrh vhodného systému managementu hospodaření s energií.

Z výše uvedeného postupu, který je doporučen vyhláškou, je zřejmé, že *technologické vybavení je vnímáno pouze jako spotřebič* s určitým instalovaným příkonem uvedeným na informačním štítku. Nicméně v provozu může být výkon zařízení jiný dle skutečné vytíženosti a nároků. Proto je nutné se na popis zařízení soustředit více, jak bude ukázáno v praktické části práce.

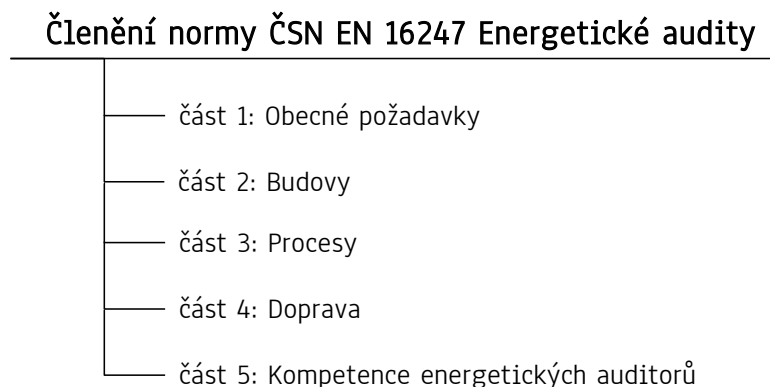
2.2 Energetický audit z pohledu technologií

Současný energetický audit klade důraz na analýzu spotřeb budovy jako celku. To je pochopitelné, protože dle [21] budovy tvoří až jednu polovinu celkové spotřeby primární energie. Část této energie se využívá k udržování požadované teploty. Je ovšem nutné zdůraznit význam technologií a zařízení instalovaných v samotných budovách, ať už se jedná o zařízení, která se starají o vytápění potažmo chlazení, nebo samotné výrobní stroje. Přitom analýza samotných technologií může být využita například pro správný návrh a dimenzování zdroje pro výrobu tepla a elektrické energie.

Dále v kapitole bude popsán současný přístup k vypracovávání energetického auditu s důrazem na technologické zařízení dle výše uvedené legislativy a související harmonizované normy ČSN EN 16247. Je nutné dodat, že norma není právně závazná a její použití zcela závisí na iniciativě energetického specialisty. Členění této normy je vyobrazeno na Obr. 4.

Prvním krokem, na kterém se shoduje vyhláška o energetickém auditu i norma, je prostudování historických dat o spotřebách a zdrojích za poslední 3 roky provozu. Může se jednat o účetní doklady, bilanční zprávy, záznamy z měřících zařízení (jsou-li v provozu instalována), záznam provozní historie, dříve vyhotovené energetické audity nebo analýzy.[15][20] Dále je nutné shromáždit všechny dostupné informace o jednotlivých částech provozu (technické informace o budově, rozvodech

energií, seznam systémů, procesů a spotřebičů) a o zavedeném systému energetického managementu.



Obr. 4: Členění normy ČSN EN 16247

Pro správné vyhodnocení stávajícího stavu, kde je posouzena účinnost užití energie, tepelně technické vlastnosti budovy a management hospodaření s energií, je třeba provést prohlídku objektu [20]. Prohlídka poskytuje ucelený pohled na sledovaný objekt, fungování samotného provozu, možnost pro stanovení oblastí a procesů pro další měření a předběžné stanovení příležitostí pro zlepšení [15]. Ke stávajícímu stavu budou vyhodnocovány a srovnávány návrhy jednotlivých opatření pro zlepšení současné situace.

Dle doporučujících údajů vyhlášky č. 480/2012 Sb. je po úvodním seznámení se sledovaným hospodářství proveden detailní soupis údajů o energetických vstupech:

- typ paliv a energií spolu s příslušnou jednotkou,
- množství,
- výhřevnost,
- přepočet na MWh a roční náklady.[20]

V případě vlastních zdrojů je sledována:

- roční celková účinnost,
- roční účinnost výroby elektrické energie a účinnost výroby tepla a příslušné spotřeby paliv na tyto výroby,
- roční využití instalovaného elektrického a tepelného výkonu.

Na základě těchto údajů je provedena bilance výroby z vlastního zdroje, přičemž jsou stanoveny následující ukazatele:

- instalovaný elektrický a instalovaný tepelný výkon,
- výroba a prodej elektřiny,
- vlastní technologická spotřeba na výrobu elektřiny a spotřeba energie v palivu na tuto výrobu,
- výroba, dodávka a prodej tepla,
- vlastní technologická spotřeba na výrobu tepla a spotřeba energie v palivu na tuto výrobu,
- celková spotřeba energie v palivu.

Z výše uvedených údajů je vytvořena celková energetická bilance, ve které jsou stanoveny níže uvedené ukazatele, které jsou vyhodnocovány i pro stav po realizaci navržených opatření pro zlepšení hospodaření s energiemi:

- vstupy paliv a energie a jejich případná změna zásob,
- spotřeba paliv a energie,
- prodej energie,
- konečná spotřeba paliv a energie,
- ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie,
- zvláště spotřeba energie na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, větrání, úpravu vlhkosti, osvětlení, technologické a ostatní procesy.[20]

Norma ČSN EN 16247-1 přidává do vyhodnocení analýzu členění spotřeby energie dle účelu, energetické toky a jejich bilance a diagram energetické náročnosti v čase [15]. Celkově je však patrné, že největší pozornost je soustředěna na zdroje jako takové. Právě z tohoto důvodu je praktická část práce zaměřena právě na technologické vybavení.

Pro navržená opatření je provedeno ekonomické vyhodnocení, kde jsou rozebrány celkové přínosy projektu, provozní náklady, doba hodnocení a reálná doba návratnosti. Hlavní ekonomickým ukazatelem, podle kterého je vybrána nejlepší varianta navrhovaných opatření pro zlepšení, je tzv. čistá současná hodnota NPV. Ta je určována na základě doby životnosti, ročních přínosů projektu, investičních výdajů a ekonomických ukazatelích (odúročitel).[20]

V neposlední řadě je provedeno ekologické vyhodnocení, které sleduje změnu znečišťujících látek pro současný stav a stav po realizaci jednotlivých variant. Množství emisí znečišťujících látek je určeno jako součin měrné výrobní emise, která je stanovena v protokolu o jednorázovém měření emisí (mladšího 3 let) a příslušné vztažné veličiny za rok.[20]

Z výše uvedeného rozboru vyhlášky o energetickém auditu je zřejmé, že technologie představují pouze jednu položku v seznamu spotřeb energie a popisu stávajícího zařízení, kde se nachází pouze základní informace (druh spotřebiče, energetický příkon, roční provozní hodiny, způsob regulace) [20]. Není však již řešeno, zda zařízení pracuje kontinuálně nebo nárazově, což může mít zásadní vliv na průběh odběru energií. V případě regulace je uveden pouze její způsob a není zkoumáno, zda je regulace správně prováděna. Dále je opomíjeno stáří samotného zařízení nebo jeho poruchovost. Vyhláška 480/2012 je cílena na auditování hospodářství jako celku, nikoliv dílčích oblastí. Z pohledu procesního zařízení je výhodnější norma ČSN EN 16247-3 věnující se právě procesům.

Výše uvedená norma připouští i detailní energetický audit pro určitý proces v rámci celkového vyhodnocení. Klade důraz na důkladný sběr dat o výrobních procesech. Především na data o produktech, sledování jejich kvality, aktuálních provozních podmínkách, specifických popř. mimořádných stavech a případných omezeních procesu.[22]

Při následující fyzické návštěvě objektu je pozornost soustředěna samozřejmě nejen na zdroje, ale také na potvrzení spotřeb pro stávající provozní podmínky. Dále také na získání údajů o zařízeních z informačních štítků, provozních dat nebo pohovoru s operátory.

V následujícím vyhodnocení získaných údajů je určena minimální dosažitelná energetická náročnost a dimenzování procesu a jeho energetických spotřeb. Tyto ukazatelé jsou porovnány se stávající situací. Pokud je to možné, měla by být určena spotřeba i mimo provoz, resp. výrobu.[22]

Možnosti pro zlepšení jsou potom opatření s cílem snížit celkové ztráty nebo vynaloženu energii opětovně využít. Je nezbytné však zvážit stáří a stav použitých zařízení, plánování jejich životnosti a srovnat používané technologie s aktuální nabídkou na trhu. Může se jednat např. o výměnu/úpravu/přidání zařízení, zefektivnění provozu nebo zlepšení údržby a obsluhy.[22]

V neposlední řadě je třeba zmínit, že norma ČSN EN 16247-3 obsahuje i seznam možných dat ke sběru pro jednotlivé typy strojů a zařízení.[22]

V současném přístupu analýzy energetické účinnosti **neexistuje ryze průmyslový, procesní nebo technologický audit**. Při vyhodnocování energetického auditu, včetně technologických zařízení, je energetický auditor zcela odkázán na své teoretické i praktické zkušenosti. Často jsou tak zařízení brány pouze jako spotřebiče se štítkovou hodnotou spotřeby. Proto je hlavním výstupem této práce základní postup, který může pomoci při sledování výrobního nebo zpracovatelského vybavení.

Pro lepší pochopení sledovaného procesu může pomoci databáze různých typů provozů se zjednodušenými technologickými schémata a orientačními hodnotami pro vytvoření energetických a látkových bilancí.[23]

2.3 Znalosti procesního inženýra pro praxi

Procesní inženýrství je obor, který je svým zaměřením velmi všestranný, a to především díky kombinaci dvou přístupů ke zkoumané problematice. Prvním přístupem je rozklad problému na tzv. jednotkové operace. Tento přístup je výhodný pro pochopení jednotlivých operací a použitých technologií. Naopak systémový přístup vede k jejich komplexnímu vyhodnocení a celkovému pochopení provozu.

Všestrannost oboru spočívá také v uplatnění znalostí v mnoha odvětvích – od nejrůznějších průmyslových výroby, přes energetická odvětví, až po komunální sféru (např. nemocnice nebo nakládání s odpady).

S adekvátní praxí je procesní inženýr vhodným adeptem pro provádění analýz provozu jako celku z hlediska energetické náročnosti.

2.3.1 Jednotkové operace

Analýza spotřeb může být prováděna v provozech různého druhu se širokým výběrem činností a výroby. Proto je nutné se orientovat v jednotlivých operacích, které produkci tvoří.

Procesní inženýrství poskytuje velký záběr těchto znalostí, ať už se jedná o difuzní, hydraulické nebo mechanické pochody.

Za difuzní pochody lze zmínit procesy, kde dochází k výměně hmoty jako je destilace, absorpce, adsorpce, extrakce sušení nebo krystalizace a s nimi související materiálovou bilanci.

Mechanické pochody sledují operace vztahující se k partikulárním látkám: od zmenšování, rozdrůžování, třídění a aglomeraci částic přes jejich dopravu, až po jejich mísení, dávkování a následné skladování.

Další významnou část jednotkových operací tvoří hydraulické pochody: filtrace, usazování, dělení směsí pomocí odstředivek a cyklónů, flotace, čiření, provzdušňování, fluidizace nebo míchání. Důležitou odvětvím je i studium potrubí, včetně určování tlakových ztrát vlivem místních odporů, stlačitelností tekutiny nebo typem proudění, charakteristika potrubí, různé druhy armatur. Nesmějí se opomenout také kompresory, čerpadla a vývěvy, které jsou součástí potrubních tras a procesů.

Ze souboru jednotkových operací je možné sestavit model celého procesu. Tento model může být následně použit pro další analýzy, např. model pro prediktivní řízení nebo citlivostní analýzu.

2.3.2 Tepelné pochody

Pro správné pochopení energetické účinnosti a efektivity je třeba dobrá znalost tepelných pochodů. Jedná se o důležitou oblast, která je obzvláště nutná pro účel energetické analýzy, proto je vyčleněna od ostatních jednotkových operací a je jí věnována větší pozornost.

Hlavním předpokladem je schopnost vytvořit tepelnou bilanci systému/subsystému, aplikovat rovnice přenosu tepla, určit teplosměnnou plochu, pracovat s teplotními profily a kompozitními křivkami. Dále je procesní inženýr seznámen se základními druhy externích zdrojů tepla, kogeneračními jednotkami, teplotními výměníky a způsoby využití odpadního tepla. Tyto znalosti jsou zvláště cenné pro návrh úsporných opatření za účelem zlepšit využití primárních zdrojů.

2.3.3 Systémové inženýrství

Systémový přístup umožňuje celkový pohled na výrobní linky a procesy z hlediska bilance (látkové i energetické), řešení, integrace, technicko-ekonomické rozvahy

a optimalizace. Tyto činnosti se mohou vztahovat na jednotlivé operace a zařízení, např. výměňkové sítě, externí zdroje energie, potrubní sítě a izolace nebo výrobní a provozní podmínky. Tyto úpravy vedou k úspoře materiálu, paliv a energií, a tím i k úspoře celkových nákladů při dodržení vyžadovaných procesních požadavků.

2.3.4 Měření a řízení

Pro sledování a vyhodnocování provozních a výrobních údajů je třeba důkladný sběr dat. Výhodou procesních inženýrů je znalost základních měřících prvků a zařízení pro různé druhy sledovaných procesních veličin. Související problematikou je i řízení procesu, pokud je k dispozici. Proto je výhodou orientace v logickém řízení, ovládání, regulaci a akčních členech, které jsou součástí provozu. Zásadní dovedností je také export dat ze SCADA systému, který je přítomen ve většině rozsáhlejších průmyslových podniků.

2.3.5 Další znalosti z procesního inženýrství

Výčet schopností a znalostí procesního inženýra lze uzavřít obecnými znalostmi, které doplňují výše uvedené hlavně technologické znalosti.

Jako v každém technickém oboru je nutná znalost a orientace v projektové dokumentaci různého druhu – od výkresové dokumentace, přes bloková nebo technologická schémata, až po schéma potrubí a instrumentace. Do této kategorie můžeme zahrnout i tvorbu a následné využívání látkových nebo energetických bilancí.

Další předností je základní přehled v oblasti legislativy a technických norem, které mohou klást na provoz podmínky, jež musí být bezpodmínečně splněny. Nesmí být opomenuto základní využívání výpočtových softwarů (např. ChemCAD, W2E, Ansys, Maple). V neposlední řadě lze zmínit základní povědomí o tvorbě a realizaci projektu. Tím jsou myšleny jednotlivé fáze projektu jako je prvotní a detailní návrh, příprava projektové dokumentace nebo základní ekonomické vyhodnocení.

2.4 Metoda EPC

Metoda EPC je známa pod názvem energetické služby se zárukou nebo splácení investic z garantovaných úspor. Jedná se o druh služby na klíč, kdy za úroveň úspor nese odpovědnost smluvní dodavatelská společnost. Jedná se o efektivní způsob financování a realizace úsporných opatření.

Princip spočívá v návrhu a instalaci opatření pro úsporu, včetně finančních prostředků prostřednictvím splácení ze skutečně dosažených úspor. Při nedodržení garantovaných úspor dodavatelem je povinen rozdíl uhradit. Je tak společným cílem zákazníka a dodavatele dosáhnout výše garantovaných úspor. Mezi další nesporné výhody projektů EPC patří i nenarušení toku peněz zákazníka, a to tím že investice jsou hrazeny z výsledných úspor projektu.

Služby na klíč projektu EPC obsahují energetickou analýzu, návrh projektu, instalaci zařízení, pravidelnou údržbu, zaškolení obsluhy a v neposlední řadě financování projektu.[25]

Před samotnou realizací musí být zjištěna použitelnost metody pro snižování energetické náročnosti. Ta může být určena samostatně nebo v rámci provádění energetického auditu.[26]

Energetický audit je i jeden z kroků přípravy podkladů pro výběrové řízení, které je i velmi časově náročné.[25]

EPC je dobře použitelné pro následující systémy a zařízení:

- systém vytápění,
- příprava teplé užitkové vody,
- výměňkové stanice tepla,
- vzduchotechnické a klimatizační zařízení,
- osvětlení,
- kotle,
- chladicí zařízení,
- kogenerační jednotky,
- tepelná čerpadla,
- rekuperační zařízení,
- solární zařízení,

- systémy měření a regulace integrovaných do centrálního řídicího systému budovy,
- systémy automatizace a manažerské úrovně energetického managementu tepla, elektrické energie, apod.

Za roky 1994 – 2014 bylo provedeno v ČR přes 800 realizací metodou EPC. Metoda je vhodná pro objekty ve vlastnictví krajů nebo obcí. Největší podíl projektů, 40,6 %, zastupují budovy (administrativní budovy, hotely apod.). Dalšími významnými skupinami jsou zdravotnická zařízení (27,4 %), školní a sportovní budovy (19,3 %), průmysl (11,2 %) a veřejné osvětlení (1,5 %).[25]

2.5 Aplikovaná opatření pro úspory

Úsporná opatření se neustále mění s vývojem technologií. Je samozřejmé, že pro každý obor výrobního nebo zpracovatelského průmyslu budou doporučena opatření pro ušetření energií různá, a to podle zaměření provozu. Z tohoto důvodu je třeba mít přehled o současných možnostech.

Následující kapitola se věnuje výběru základních možností pro dosažení úspor.

2.5.1 Zdroje energie

Velká část úsporných opatření je soustředěna na výrobu tepla. Je třeba tuto problematiku hodnotit komplexně, protože je nutné do ní zahrnout i ostatní faktory kromě zdroje tepla.

Organizace

Prvním krokem pro dosažení energetických úspor jsou organizační změny. V rámci energetického managementu se může jednat o několik základních kroků, které nevyžadují výraznou investici. Následuje výčet možných opatření, které lze podniknout v tomto ohledu:

- pravidelné školení personálu,
- dodržování plánu údržby a oprav zařízení,
- udržovat zařízení v provozu jen v případě potřeby (využití „stand – by“ režimu),

- dodávka energií od ekonomicky nejvýhodnějšího dodavatele.[24][3]

Prediktivní řízení

V současné době se rozšiřuje možnost prediktivního řízení. Tato možnost se soustředí především na sjednaný rezervovaný výkon. Obvykle se jedná o průměrný odebíraný výkon za 15 minut. V případě, že poskytovatel energií neumožní online přístup k měření, je složité hlídat dosahovaná maxima v časovém úseku. Dalším problémem je jak správně určit odběrový profil, aby nedošlo k překročení sjednaného výkonu a udržet tepelný komfort, případně výrobu. Systém prediktivního řízení lze využít i pro ovládání zdroje tepla.[27]

Prediktivní řízení hledá sled vhodných zásahů pro určený časový horizont, který se určuje na základě modelu předpokládaného průběhu stavu a následné optimalizace tak, aby byl stanoven optimální akční zásah. V určitých případech může být dosaženo až 30 % úspory energie.[28]

Výhoda modelu spočívá v popisu energetických toků v objektu. Umožňuje vnášet omezení na kteroukoliv z veličin, zavedení omezení 15 minutových maxim je tedy velmi jednoduché. Další předností je zadání proměnných cen za energii, jsou – li k dispozici.[27]

Doprava

K tepelným ztrátám může docházet také při dopravě ohřivaného média. Proto se jako další opatření nabízí izolace rozvodů, změna parních rozvodů na horkovody nebo decentralizace zdrojů v případech velké dopravní vzdálenosti.

Kogenerace

Další možností je kombinovaná výroba tepla a elektrické energie, tedy kogenerace. Princip spočívá ve výrobě tepla, které je uplatněno v objektu a elektřina je použita pro vlastní spotřebu, přičemž přebytek je prodán do rozvodné sítě. Mikrokogenerační jednotky jsou složeny ze spalovacího motoru a generátoru. Ze zemního plynu je vyráběno teplo, generátor vyrábí elektrickou energii a chladicí voda je využívána pro vytápění nebo ohřev vody.[29]

Odpadní teplo

Ve výrobních provozech vzniká značné množství odpadního tepla, ať už se jedná o teplo uvolněné z dopravovaných procesních médií, teplo spalin nebo teplo uvolněné samotným provozem zařízení. Dle [24] je takto ztraceno 20 – 50 % energie v technologických procesech. Využití odpadního tepla se tak nabízí jako další

efektivní úsporné opatření, kdy je teplo zachyceno a opětovně využito. Mezi možné způsoby využití odpadního tepla patří:

- tepelné výměníky různých druhů,
- rekuperátory,
- regenerátory,
- kondenzační jednotky,
- tepelná čerpadla,
- organický Rankinův cyklus.[24]

V případě nadbytku tepelné energie je možné použít akumulaci a využít energii v době jejího nedostatku.[30]

Další možností pro snížení spotřeby energie je využití energie z obnovitelných zdrojů, nejčastěji fotovoltaických elektráren. Jedná se však o investičně náročné řešení s velmi proměnnou výrobou závisící na aktuálních povětrnostních podmínkách.[31]

2.5.2 Vzduchotechnika

Správná funkce vzduchotechniky (VZT) má velký vliv na kvalitu vzduchu v objektu, kde kontroluje množství polévacích částic, plynů a výparů vznikajících provozem. V případě manuálního ovládání nemusí vždy dojít ke správnému zásahu. Jeden ze současných přístupů spočívá ve sledování množství CO_2 v prostoru a následném porovnání s požadovanou hodnotou. Podle tohoto rozdílu je proveden adekvátní zásah pro snížení nebo vyrovnání rozdílných hodnot. Tento způsob regulace kvality vzduchu je především vhodný pro prostory s těžko určitelným množstvím lidí. Jednoduchou avšak účinnou změnou je správné nastavení požadovaných hodnot v době, kdy se prostory nevyužívají.[32]

Dalšími možnostmi regulace VZT je regulace podle prostorové nebo přírodní teploty. V případě regulace na prostorovou teplotu je pevně stanovené množství dodávaného tepla. U tohoto způsobu regulace je uvažován vliv dalších zdrojů tepla – jako je odpadní teplo spotřebičů nebo lidské teplo. Naopak regulace dle přírodní teploty tyto zdroje tepla nebere v úvahu. Z toho důvodu může docházet k přetopení prostor a ve výsledku nedochází k takové úspoře energie, jako v případě předchozím.[33]

Rozšířenou možností je směšování přiváděného vzduchu se vzduchem v objektu v určitém poměru. Správná volba ventilátoru s řízením otáček pomocí frekvenčního měniče, který reguluje otáčky dle skutečného zatížení, je tak nejpodstatnějším aspektem vedoucím k celkovým úsporám energie.[33]

2.5.3 Osvětlení

Jednou z nejperspektivnějších oblastí pro dosahování energetických úspor je zejména kategorie osvětlení, která se vyznačuje krátkou dobou návratnosti. Jedním z hlavních kritérií pro výběr vhodných světelných zdrojů je měrný světelný výkon, tedy podíl světelného toku na jednotku elektrického výkonu, udávaný v lm/W. V průmyslových provozech jsou nejčastěji využívány různé druhy výbojek nebo LED osvětlení. V případě sodíkových výbojek se měrný světelný výkon pohybuje v rozmezí 70 – 140 lm/W v případě vysokotlakého provedení, pro nízkotlaké až 90 – 180 lm/W. Pro LED osvětlení je měrný výkon 60 – 100 lm/W.[34]

I v případě osvětlení přichází v úvahu jeho regulace. Regulace světelného toku na dostačující úroveň je prováděna na základě vyhodnocení dat získaných z různých senzorů. V případě vnitřních prostor lze použít čidla denního světla, pohybové čidlo nebo senzor obsazenosti. Pro venkovní prostory lze využít například soumrakové spínače s přednastavenou hodnotou intenzity osvětlení. Zavedením vhodné regulace s dobře zvolenými osvětlovanými sekcemi a šetrným chováním obsluhy lze dosáhnout až 50 % úspor energií.[32]

2.5.4 Izolace

Zateplení je v současné době jednou z nejvyužívanějších možností jak dosáhnout úspor, hlavně v oblasti cen za energii na vytápění. Vhodným zaizolováním budovy lze dosáhnout celkového snížení nákladů až o 60% [35]. Nicméně zateplení všech ploch objektu je značně nákladná investice, obzvláště jedná-li se o průmyslové zařízení o velké rozloze s vysokým procentem ploch a nízkým podílem oken a dveří.

S problematikou zateplení souvisí i výměna oken a dveří, popř. okenních a dveřních výplní. V případě výměny lze dosáhnout úspory ve výši 15 - 20 % pro komunální budovy [36]. Tato hodnota je pouze orientační a podílí se na ní celá řada vlivů. Obzvláště u průmyslových objektů, kde je plocha oken vůči celkové ploše výrazně menší.

Dalším možností, jak ušetřit za vytápění a chlazení velkých průmyslových, výrobních a skladovacích hal, je aplikace vzduchové clony. Ta zabraňuje vniku vzduchu z venkovního okolí otevíranými dveřmi nebo vraty. Regulace clony může být prováděna manuálně nebo automaticky. Při správné automatické regulaci clony lze dosáhnout úspory dalších 20 % ve srovnání s regulací manuální.[37]

2.5.5 Technologie

V průmyslových a výrobních provozech tvoří technologická zařízení značnou spotřebu energie. Vhodně realizovaná úsporná opatření v tomto odvětví rovněž přispějí k celkovému snížení nákladů za energie.

Dle [32] tvoří necelých 70 % využití elektrické energie v průmyslu motory pro různé aplikace, proto bude této oblasti věnována větší pozornost. Možné úspory elektrické energie jsou:

- použití zařízení s vyšší účinností,
- regulace pohonů (polovodičové měniče),
- snížení ztrát při rozběhu a brzdění pohonu (rekuperace do sítě),
- snížení ztrát při chodu na prázdno nebo při nízkém zatížení (úsporný režim),
- použití řídicích algoritmů,
- využití odpadního tepla,
- pravidelná údržba a kontrola.[38][32]

Další možností, jak snížit spotřebu elektrické energie pohonů, je použití frekvenčních měničů k plynulé změně otáček dle požadavků nebo proměnných podmínek provozu.

Například v porovnání se škrtkými klapkami používaných k regulaci, dokáží uspořit 20 – 50 % energie.[39]

Velmi energeticky náročným procesem je výroba stlačeného vzduchu, který je v provozech hojně využíván. Při výrobě je v užitečnou energii přetvořeno jen asi 20 – 25 % z elektrické energie, proto je stlačený vzduch drahým médiem. V případě stlačeného vzduchu lze použít několik opatření s výsledným snížením nákladů:

- pravidelná kontrola a oprava rozvodů stlačeného vzduchu,
- snížení využití stlačeného vzduchu v provozu,
- snížení požadované hodnoty tlaku procesními změnami,

- využití odpadního tepla,
- regulace kompresoru,
- použití přídavného kompresoru pro zvýšení výstupního tlaku.[32]

Další úsporná opatření vztahující se k technologickým procesům se liší podle odvětví výroby a využívaných zařízení, a jsou tedy specifická.

3 Praktická část

Praktická část této práce bude zaměřena na detailní popis vytvořené metodiky analýzy energetických spotřeb. Cílem je nastínit ucelený sled kroků, které povedou k efektivnímu vyhodnocení sledovaného procesu se zaměřením na technologické vybavení. Jelikož byl postup vytvářen z procesního hlediska, je univerzální napříč průmyslovými oblastmi.

V poslední části je s tímto přístupem srovnána již provedená studie spotřeb a následně je tento postup aplikován na reálný průmyslový provoz.

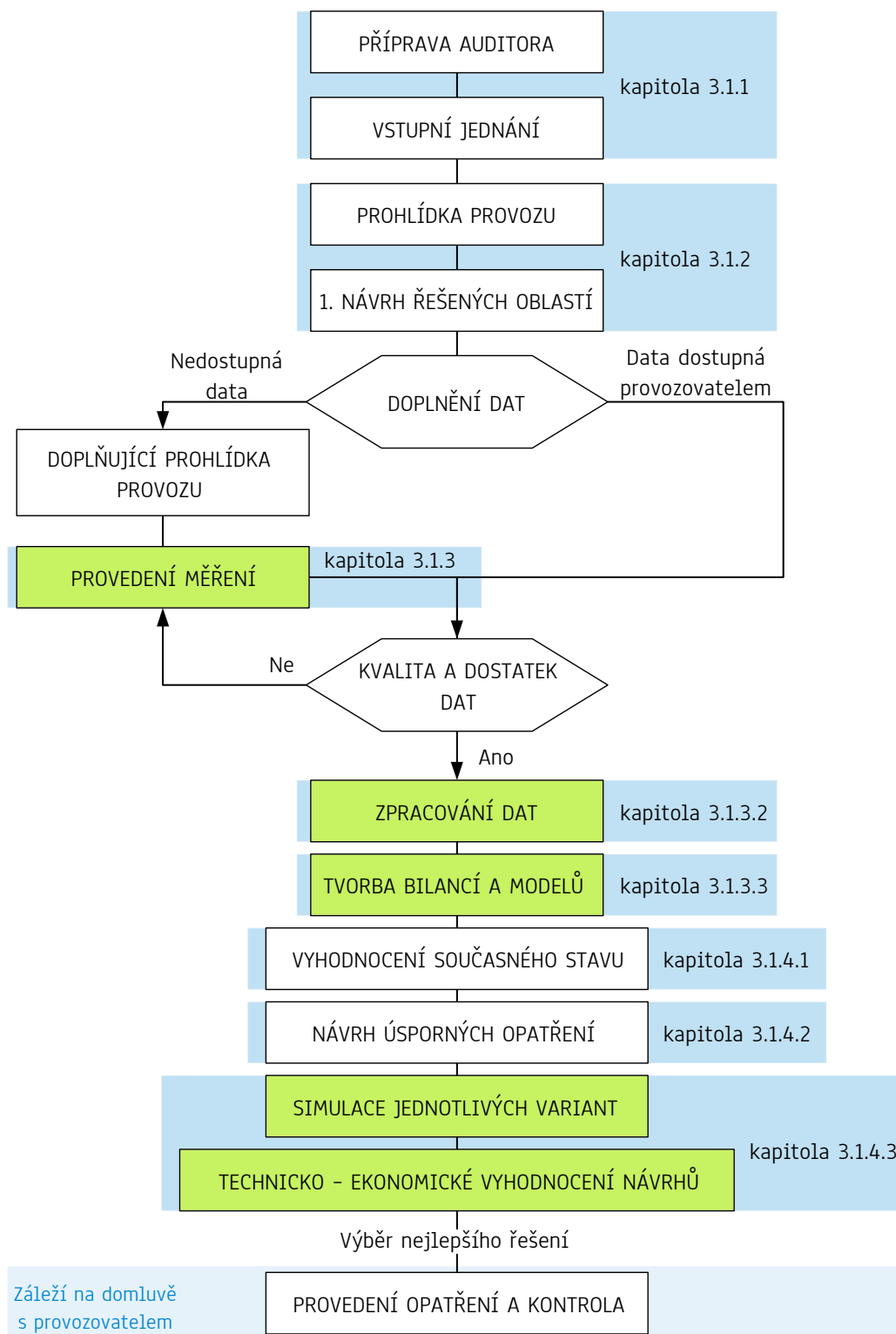
3.1 Návrh metodiky pro stanovení spotřeb v průmyslových provozech

Je-li provoz tvořen velkým množstvím technologického vybavení, které je energeticky náročné, a je požadováno je zahrnout do analýzy spotřeb nebo energetického auditu, je zhotovitel odkázán jen na své zkušenosti a znalosti. Snahou je navrhnout metodiku, která povede ke správnému zpracování i technologické části. Ucelený sled kroků pro určení možných oblastí pro snížení spotřeby energie a nákladů poskytne jednotný přístup k provádění a následnému vyhodnocení. Některé kroky se mohou shodovat s doporučeným postupem pro energetický audit, ale budou rozšířeny o kroky, které se budou zabývat technologickým vybavením provozů.

Kromě univerzálnosti, kterou zajišťuje procesní přístup k navrženému postupu napříč průmyslem, je další nespornou výhodou možnost vytvořit databázi dat, která bude obsahovat klíčové hodnoty jednotkových spotřeb pro různé druhy procesů, provozů a výrob. Takováto databáze by byla velkou pomůckou při provádění auditů a analýz v případech, kdy je zhotovitel nejistý v dané oblasti. Databáze by tak poskytla orientační hodnoty pro sledovaný typ provozu.

Postup lze rozdělit do několika hlavních skupin – příprava, práce v provozu, zpracování dat, vyhodnocení stávajícího stavu a návrh úsporných řešení. Vývojový diagram navrhovaného postupu je přiložen v Obr. 5. Diagram slouží k rychlému zorientování se v postupu. Zvláště jsou vyznačeny kroky, které tvoří nadstavbu ke standardnímu energetickému auditu. Mezi tyto kategorie patří především měření,

následné zpracování dat, tvorba bilancí a modelů, návrh úsporných opatření z procesního hlediska a jejich technicko-ekonomické vyhodnocení.



Obr. 5: Vývojový diagram navrhované metodiky zpracování energetického auditu

Další možností jak rozšířit takto provedený energetický audit je podpora implementace vybraných úsporných opatření. V tomto případě by měla být připojena i kontrola provozu z hlediska dosahování slíbených úspor, kontrola správnosti provozu apod. Už po zběžném prostudování je patrné, v čem spočívají hlavní přednosti takto navrženého postupu. Následuje podrobný popis jednotlivých kroků postupu.

3.1.1 Přípravná fáze

Přípravná fáze slouží především ke shromáždění dostupných informací a měla by vycházet také z vlastní iniciativy energetického specialisty a zadavatele. V dialogu by měly být stanoveny hranice energetického auditu/analýzy, zdůrazněny klíčové oblasti, kde je výše nákladů pro provoz příliš vysoká, případně uvedeny investiční záměry, pokud jsou v plánu. Dále by měla společnost určit pověřenou osobu, která bude energetickému specialistovi poskytovat potřebné informace. V ideálním případě se jedná o energetického inženýra nebo technologa.

Sám energetický specialista by se měl před úvodní prohlídkou obeznámit se sledovaným provozem, druhem výroby a možnými technologiemi. Během první prohlídky by si měl specialista vytvořit představu, jak celý provoz funguje, jaké jsou využívány zdroje energií, které technologie jsou využívány a zběžně vyhodnotit stav provozu. Po této prohlídce následuje fáze shromažďování potřebných informací a podkladů pro detailnější popis současného stavu provozu, které budou vodítky a pomůckami k další práci. Následuje tedy výčet informací, které by si měl zpracovatel analýzy vyžádat, ideálně za delší časový úsek:

- popis aktuální úrovně managementu energetického hospodaření, popř. zavedení norem ČSN EN ISO 50001: Systémy managementu hospodaření s energií, ČSN EN ISO 14001:2016 Systémy environmentálního managementu,
- aktuálně platný energetický audit,
- bilanční nebo výroční zprávy společnosti,
- situační plán,
- katastrální mapa,
- stavební dokumentace (půdorysy budov, rozvody),
- technologická schémata,

- schéma potrubí a instrumentace,
- smlouvy/faktury od poskytovatelů energií, paliv a médií (elektřina, teplo, zemní plyn, voda apod.),
- spotřeba energií a procesních médií (denní, měsíční, roční),
- odběrové diagramy,
- seznam vlastních zdrojů energií, jednotlivých systémů a zařízení,
- počet sanitárního vybavení (umyvadla, sprchy, WC),
- přehled výroby (vytíženost během roku/měsíce/dne),
- schéma směn s počtem zaměstnanců,
- plán odstávek, údržby a kontrol,
- stručný popis jednotlivých výrobních prostor.

Po prostudování těchto dokumentů a podkladů by měl mít zhotovitel přehled o základních informacích týkajících se celého provozu. Především o druhu tepelného zdroje, dodávkách energií a využitých technologických zařízeních, případně o problémech, které provoz má. Získané informace také pomohou předběžně vytipovat oblasti, na které se soustředit detailněji při dalších fyzických prohlídkách. Počet návštěv provozu se odvíjí od velikosti provozu, smlouveného rozsahu analýzy a dle počtu oblastí, které budou navrženy k řešení.

Samozřejmě ne vždy je možné získat všechny výše uvedené podklady. Není výjimkou, že některé z podkladů si musí vytvořit specialista sám, protože jednoduše nejsou k dispozici.

3.1.2 Práce v provozu

Provozní prohlídka je klíčovým nástrojem, kdy je auditor seznámen s celým provozem. Proto je důležité, aby při prohlídce byla pověřená osoba, která má celkový přehled o chodu provozu. V následující části bude nastíněn její průběh s přehledem sledovaných veličin a systémů.

1. *Patní měřidla* primární energie, vody a paliv na vstupech do areálu/objektu – elektroměry, měřiče tepla, vodoměry, plynoměry apod.
2. *Dílčí měřidla*, jsou-li v provozu nainstalovány, např. pro jednotlivé systémy nebo zařízení.

3. *Stavební stav budov* – přítomnost izolace, druh výplňových materiálů oken a dveří.
4. *Způsob provoz jednotlivých hal/sekcí*, schéma směn, četnost vstupu do haly, uzpůsobení provozních podmínek dle vytíženosti, počet operátorů pracujících v hale/sekci.
5. *Druh osvětlení* – typ svítidel, počet na výrobní halu, počet provozních hodin, způsob ovládání a regulace.
6. *Rozvody tepla, procesních médií a TUV* – stáří, izolace, základní rozměry, vzdálenost od zdroje, plán údržby a kontrol.
7. *Systém vytápění a chlazení* – stáří, způsob řízení a regulace, filtrace, údržba a kontrola, počet provozních hodin.
8. *Systém pro přípravu TUV* – způsob přípravy, využívané množství, rozvody.
9. *Výroba procesních médií* – pára, stlačený vzduch, způsob, množství, účinnost výroby.
10. *Využívání odpadního tepla* – míra využití odpadního tepla z procesních zařízení a rozvodů, způsob jeho využití.
11. *Tok materiálu* – sledování návaznosti procesů, doba zdržení materiálu v každé sekci a logistika materiálu v provozu.
12. *Procesní a technologická zařízení*:
 - popis jednotkových operací,
 - seznam spotřebičů a zařízení,
 - stručný popis funkce zařízení,
 - hodnoty uvedené na informačních štítcích strojů,
 - provozní režim (kontinuální/přerušovaný),
 - počet provozních hodin,
 - technický stav – stáří, kontroly a údržba, poruchovost,
 - počet obsluhujících pracovníků,
 - způsob ovládání, měření a regulace,
 - spotřeba zařízení (denní/měsíční/roční),
 - náběh zařízení a jejich vzájemná návaznost.

Oproti klasickému energetickému auditu je v těchto krocích zahrnuto i sledování spotřeby vody a dalších provozních médií. Dalším rozdílem je 4. krok, který se týká způsobu provozování jednotlivých výrobních hal, sekcí a organizace. Obdobně je tomu i v 11. kroku, který se soustředí na tok materiálu a logistiku procesu. Největší rozdíl však spočívá v části věnované procesním a technologickým zařízením, kde je zvláštní pozornost věnována tomu, jak jsou stroje provozovány, ovládány a regulovány, nebo jaká je jejich poruchovost a dynamika provozu. Už tyto údaje mohou upozornit na základní chyby a problémy daného zařízení.

Z výše uvedeného seznamu je patrné, že prohlídka provozu je časově náročnou záležitostí. Počet prohlídek závisí především na velikosti provozu a jeho složitosti. Na základě prohlídky je možné doplnit seznam požadovaných podkladů o protokol z měření emisí nebo plán logistiky a pohybu materiálu. Z dostupných informací, a především z prohlídky provozu by měl být auditor schopen určit předběžné oblasti, které mají vysoký potenciál pro dosažení úspor.

3.1.3 Měření a zpracování dat

Ne všechny veličiny uvedené v předcházející kapitole jsou v provozech měřeny a zaznamenávány. Ze získaných informací a dat během prohlídky provozu by měl specialista určit oblasti, u kterých je třeba provést detailnější měření. Měl by navrhnout způsob měření, dobu měření pro získání relevantních dat a použitou měřicí techniku. Je více než pravděpodobné, že před samotným návrhem bude třeba dalších detailnějších prohlídek provozu, aby bylo možné se zaměřit na předběžně vybrané oblasti. Této problematice bude věnována následující část. Za nejdůležitější měřené veličiny lze označit teplotu, tlak, průtok, teplo a výkon elektrického proudu. Pro tyto veličiny budou představeny možné měřicí přístroje.

3.1.3.1 Měřicí technika

Měřicí techniku lze rozdělit na přenosovou a pevnou. Pevná měřidla jsou vhodná pro dlouhodobé měření, vyžadují zásah do technologie a tím i omezení jejího provozu nebo odstavení. Pro krátkodobá měření jsou výhodnější neinvazivní přenosová měřidla, která poskytují rychlý výsledek.

Při výběru měřicí techniky je třeba zohlednit několik základních vlastností měřidel – rozsah měřené veličiny, délka odezvy, vhodnost pro dané prostředí a přesnost. Právě přesnost měření je nutné zohlednit při zpracování získaných dat.

1. Měření teploty

Pro průmyslové měření teploty je možné využít odporové teploměry, které poskytují velký rozsah měřených teplot. Při použití jímky jsou vhodné i do agresivního prostředí, vyznačují se vysokou přesností měření (přibližně 0,2%), ale delší dobou odezvy.

Další možností je použití termistorů, kde se odpor mění s teplotou. Jsou vhodné pro rychlé povrchové měření o menším rozsahu teplot s chybou kolem 3% [40]. K rychlému měření teploty lze použít i termočláanky, které pracují na principu Seebeckova jevu a vyznačují se velmi rychlou odezvou.

V poslední době je velmi často využíváno měření teploty pomocí termokamery. Jedná se o jednoduchý bezkontaktní způsob měření, který zobrazuje okamžité výsledky. Vlastní chyba termokamery se pohybuje kolem $\pm 2\%$ z měřené hodnoty. Přesnost měření je také ovlivněna stanovením emisivity měřeného povrchu, působením odražené zdánlivé teploty a působením atmosféry.[41] Výsledky poskytnuté termokamerou je možné považovat za orientační pro okamžité zorientování se v provozu.



Obr. 6: Termokamera Fluke Ti450 [42]

2. Měření tlaku

Při měření tlaku je třeba určit, zda je cílem určit absolutní tlak, přetlak nebo podtlak, popřípadě rozdíl tlaků a podle toho vhodně zvolit příslušný tlakoměr.

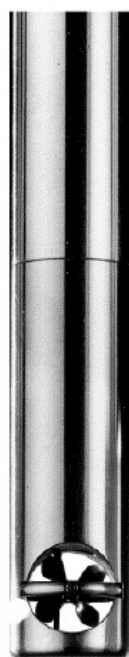
Pro měření tlaku je možné využít deformační tlakoměry – manometr s Bourdonovou trubicí nebo membránový tlakoměr, kde je snímána deformace. Je možné použití i piezoelektrického tlakoměru.

3. Měření průtoku

Mezi nejčastěji využívané průtokoměry patří clony, které fungují na měření tlakového rozdílu (měřeného před a za clonou), který odpovídá objemovému průtoku. Rozlišují se clony soustředné a excentrické. Clona tvoří trvalou překážku v potrubí, vznikající tlaková ztráta závisí na vnitřním otvoru clony a průměru potrubí. V případech, kdy by mohlo hrozit opotřebení clony kvůli vysoké rychlosti, nabízí se použití dýzy, které disponují i menší tlakovou ztrátou. Pro vyhodnocení se využívají převodníky diferenčních tlaků, které převádějí rozdíl tlaků na požadovaný údaj.[43]

Pro měření elektricky vodivých kapalin je možné využít indukční průtokoměry. Tento typ pevně instalovaných průtokoměrů nemá žádné pohyblivé části, kterými by ovlivňoval průtok kapaliny. Z tohoto důvodu se hodí pro nehomogenní směsi nebo kapaliny s pevnými částicemi, případně i abrazivní směsi. [44] Podobné průtokoměry, které nezasahují do průtoku kapaliny, jsou průtokoměry ultrazvukové. Pracují na principu měření rozdílu doby průchodu signálu.

Rychlým a neinvazivním způsobem měření průtoku jsou zásuvné vrtulkové průtokoměry (viz. Obr. 7). Průtokem kapaliny je roztočena turbínka, která pohybem v magnetickém poli vytváří střídavé elektromagnetické napětí. Následně je napětí převedeno na požadovaný údaj. V případě celokovové konstrukce se jedná o zařízení vhodné i do kapalin o vyšších teplotách a tlacích.[45]



Obr. 7: Vrtulkový zásuvný průtokoměr [50]

4. Měření tepla

Měření tepla se provádí na základě údajů o objemovém průtoku, hustotě kapaliny, měrné tepelné kapacitě kapaliny a teplotním rozdílu mezi vstupním a výstupním proudem vody. Pro měření tepla/chladu se využívají indukční nebo ultrazvukové měřiče, které se skládají z příslušného druhu průtokoměru a párem odporových teplotních snímačů.[46] Další možností jsou kalorimetrická počítačidla, která lze kombinovat s různými druhy průtokoměrů [47].

Pro vodu jako teplotnosné médium lze využít modifikované kalorimetrické rovnice

$$P_t = \frac{\dot{m} \cdot c \cdot \Delta T}{3600} = \frac{\rho \cdot \dot{V} \cdot c \cdot (T_{\text{výst}} - T_{\text{vrat}})}{3600}, \quad (1)$$

kde \dot{m} je hmotnostní průtok v $\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$,

c je měrná tepelná kapacita v $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,

ΔT je tzv. Teplotní spád v K,

ρ je měrná hmotnost v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

\dot{V} je objemový průtok v $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$,

$T_{\text{výst}}$ je teplota výstupu topné vody z kotle v K,

T_{vrat} je teplota vratná do kotle.



Obr. 8: Ultrazvukový měřič MULTICAL 403 s kovovým průtokoměrem a teplotními snímači [49]

5. Analyzátor elektrické sítě

Analyzátoři sítě jsou přístroje pro měření a určování napětí, proudu, složky výkonu (činný, jalový, zdánlivý), frekvence, harmonických složek proudů, napětí i výkonů a také spotřeby energie.[51][52] V případě energeticky náročných zařízení s velkým



Obr. 9: Třífázový analyzátor elektrických sítí a motorů [53]

fondem pracovní doby lze zvážit měření provozních hodin pro přesné určení doby provozu.

3.1.3.2 Zpracování dat

Důležitým krokem v analýze spotřeb je zpracování získaných dat. V tomto případě je snahou hledat určitou pravidelnost, která by charakterizovala sledovaný provoz. Je však nutné rozlišovat druh výrobního procesu.

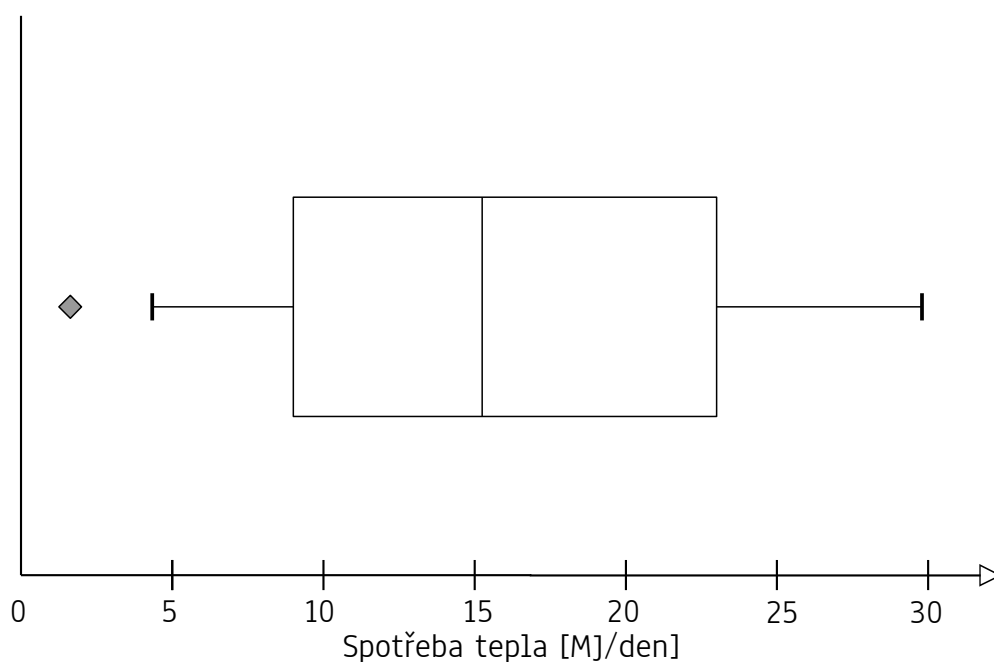
V případě, kdy je výroba konstantní, ve smyslu stejného produktu a postupu, například automobilová výrobní linka, je možné v získaných datech najít pravidelnost. Větší výkyvy budou představovat abnormální stavy, které mohou v procesu nastat, např. odstavení stroje vlivem poruchy, výměna směn apod. Je-li výroba spíše zakázková, obzvláště s manuálním zpracováním, pak jsou data velmi různá.

Základním nástrojem pro zpracování dat je popisná statistika, kde jsou sledovány statistické znaky, které lze podle druhu rozdělit na kvantitativní a kvalitativní. Statistický soubor je možné popsat základními charakteristikami polohy – aritmetický průměr, harmonický průměr nebo medián, a charakteristikami proměnlivosti – rozptyl, směrodatná odchylka, varianční koeficient.[54]

Aritmetický průměr je nejjednodušeji získatelnou statistickou charakteristikou. Nicméně je velmi citlivý na extrémní hodnoty a může tak podávat zavádějící výsledky. Je nutné tedy zvážit jeho použití podle druhu statistického souboru. Harmonický průměr je vhodný např. pro znaky, které vyjadřují rychlost děje. Problém s citlivostí na extrémní hodnoty řeší medián. Ten rozděluje soubor na jeho horní a dolní polovinu hodnot.[54]

Rozptyl vyjadřuje, jak moc jsou hodnoty v souboru rozptýleny od průměru hodnot. Směrodatná odchylka vyjadřuje, podobně jako rozptyl, odchylku od průměru a také ukazuje proměnlivost sledovaného znaku. Variační koeficient představuje relativní míru variability znaku.[54]

Pro názornější zobrazení informací statistických souborů je možné využít grafického vyjádření. Jednou z možností je krabicový graf, kde je zobrazen obdélník se střední částí uspořádaného souboru. Ten je uvnitř rozdělen čarou, která představuje medián souboru. Úsečky vyjadřují přijatelné obory pro zbývající čtvrtiny souboru. Hodnoty mimo úsečky představují velmi odchýlené hodnoty.

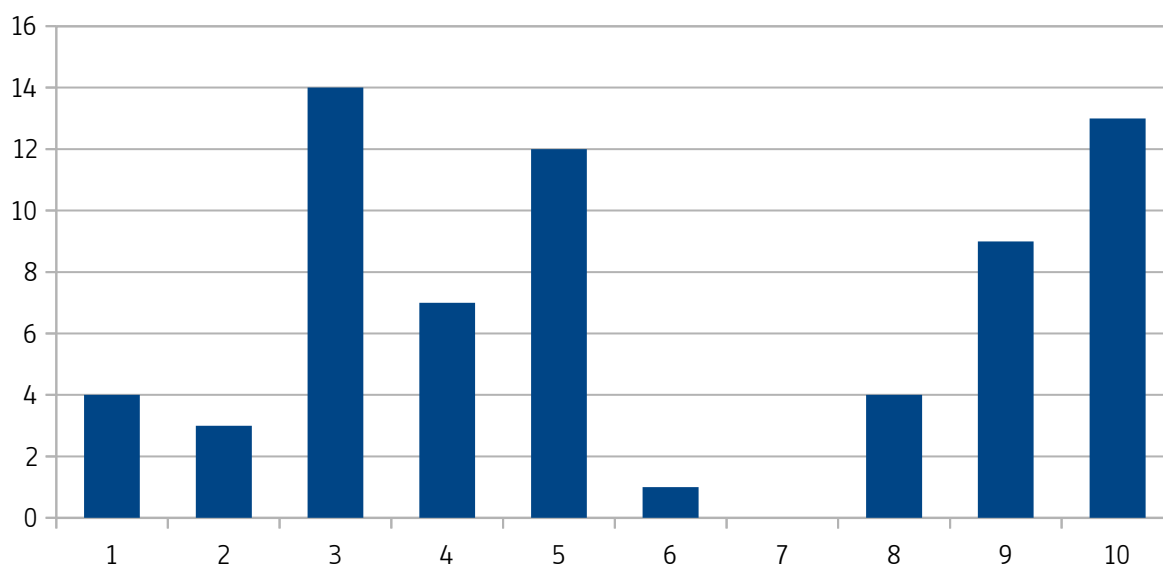


Obr. 10: Krabicový graf

Krabicový graf na Obr. 10 představuje příklad denní spotřeby tepla jednoho zařízení sledovaného po dobu jednoho měsíce. Z grafu vidíme, že medián (tedy nejčetnější hodnota) je kolem $15 \text{ MJ} \cdot \text{den}^{-1}$. Vzdálený bod představuje mimořádný stav zařízení, kdy došlo k jeho výpadku, kontrole nebo údržbě. Z horního ($30 \text{ MJ} \cdot \text{den}^{-1}$) a dolního kvartilu ($4,5 \text{ MJ} \cdot \text{den}^{-1}$) lze získat informace o variabilitě.

Další možností, jak zobrazit statistický soubor s diskretním znakem, je sloupcový nebo koláčový graf. Pro spojité hodnoty se nejčastěji užívá histogram, který můžeme popsat jako soubor obdélníků, kde šířka představuje třídu a výška potom její četnost. Další možností zobrazení je polygon, jedná se o lomenou čáru, která spojuje střed třídy (x-ová souřadnice) a četnost třídy (y-ová souřadnice).

Četnost použití pracích režimů



Obr. 11: Histogram četnosti použití pracích programů

Histogram zobrazený na Obr. 11 ukazuje pro příklad četnost využití předdefinovaných pracích programů za sledované období.

Pro hledání a zkoumání závislosti proměnných, jejichž hodnoty jsou získány experimentem nebo měřením, se využívá regresní analýza [54]. Regresní analýza umožňuje získat informace o tvaru závislosti mezi kvantitativními znaky [55]. Popis této závislosti je vyjádřen regresní funkcí. K popisu síly závislosti se používá korelační analýza.

Takto vytvořený matematický popis z reálných provozních dat je pak využit k tvorbě black-box modelu. Ten představuje popis systému na principu vstup – výstup. Cílem je dosažení shodného chování výstupního signálu modelu a reálné situace při určitém vstupu. Velkou výhodou black-box modelů je zahrnutí proměnných parametrů, které jsou jinak těžko popsitelné, do funkční závislosti.

Opakem jsou white-box modely, kde je popis sestaven pomocí algebraických a diferenciálních rovnic. Tento přístup je výhodný, je-li nutné vytvořit přesný model bez dat z reálného provozu. Nicméně se často jedná o zjednodušený model systému, který nemusí odpovídat skutečnému chování. Aby model odpovídal reálnému chování, byl by velmi složitý a i výpočtově náročný [56].

Přechodem mezi těmito modely je grey-box, kdy je znám alespoň částečný popis modelu s velkou řadou neznámých faktorů.[57]

3.1.3.3 Bilance

Vytvoření simulačního modelu je možné i na základě energetické a látkové bilance. Další výhodou tvorby bilancí je možnost kontroly správnosti získaných provozních dat. Bilanční modely jsou vhodné pro přehlednost a jednoduchost znázornění, například v podobě blokového schématu. Díky bilančním modelům je možné dosáhnout kvalitních a názorných výsledků.

Tvorba základních bilancí je doporučena i vyhláškou o energetickém auditu, jak bylo uvedeno v kapitole 2.1.3. Nicméně není brán ohled na dynamiku dějů, které v provozu probíhají. Proto tato metodika navrhuje jako jeden z kroků vytvoření energetických a materiálových bilancí na detailnější úrovni. Ty jsou následně využity k tvorbě bilančních modelů, na které navazuje jejich optimalizace a vyhodnocení.

Jako názorný příklad je uvedena tepelná bilance budovy, která je znázorněna na Obr. 12. Tu lze popsat rovnicí ve tvaru [48]:

$$E_{H,nd} + Q_{rvd} = Q_{H,nd} + Q_{W,nd} + Q_{Is,tot}, \quad (2)$$

kde $E_{H,nd}$ je potřebná energie na vytápění budovy v MJ,

Q_{rvd} je zpětné získané teplo v MJ,

$Q_{H,nd}$ je potřeba tepla pro vytápění budov v MJ,

$Q_{W,nd}$ je potřeba tepla na ohřev teplé vody v MJ,

$Q_{Is,tot}$ je celková tepelná ztráta otopného systému v MJ.

odběru, v případě tepla kvůli nežádoucímu nadměrnému zatěžování zdroje, u elektrické energie kvůli nevýhodným odběrovým tarifům.[48]

Další charakteristikou energetických systémů je křivka ročního trvání potřeby tepla, která slouží především k dimenzování zdroje tepla. Znárodnuje trvání potřeby výkonu v závislosti na počtu provozních hodin zdrojů a jsou z ní patrné odběry tepla v průběhu roku. Ve většině případů je přínosný popis dynamiky jednotlivých systémů v reálných časových závislostech. V praxi se využívá přechodová charakteristika popisující uvedení zdroje do provozu, rychlost odezvy na změnu odběru, setrvačnost chladnutí a další. Díky matematickému popisu těchto vlastností je možné provádět regulaci zdroje na základě průběhu reálné potřeby a dále je využít k optimalizaci a simulaci různých pracovních režimů. Tyto způsoby popisu je možné využít pro teplo, elektrickou energii, zemní plyn i stlačený vzduch.[48]

Materiálové bilance má smysl tvořit především, jedná-li se o proces kam vstupuje víc látek a proudů s určitou přeměnou. To můžeme zobecnit na chemický průmysl, potravinářský průmysl apod. V průmyslovém podniku, kdy do zařízení vstupuje polotovar a vystupuje např. v podobě jiného tvaru, jsou materiálové bilance zanedbatelné.

Lze říci, že pro energetický audit nebo jakoukoli jinou analýzu spotřeb energií, je tepelná bilance povinností. Jedná se o vyjádření podílu mezi příjmem a výdejem energie. Cílem by mělo být stanovit výdej energie ve vztahu k referenční jednotce (např. kg zpracovaného materiálu), aby byla jasně vyjádřena energetická náročnost zpracování/výroby.

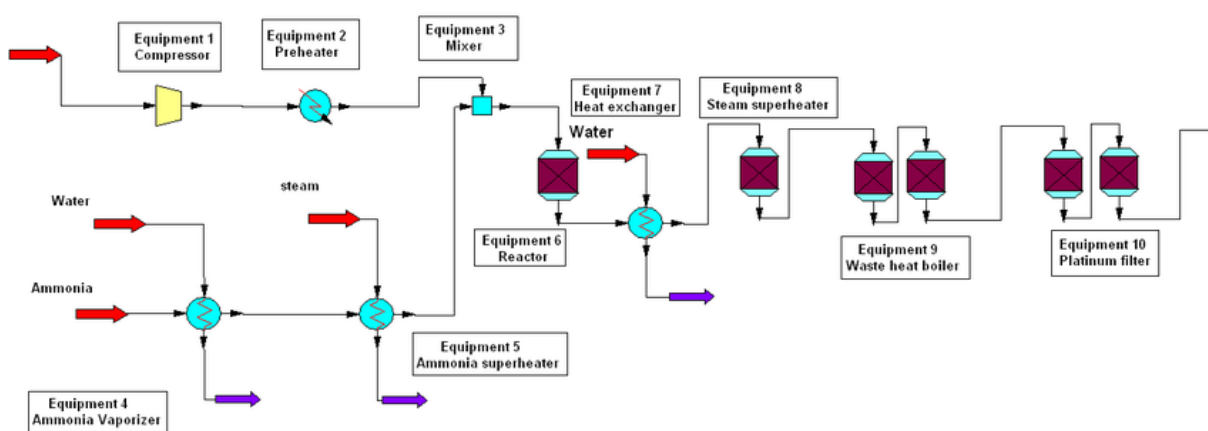
Pro jednodušší tvorbu bilancí je možné využít celé řady softwarů, pro příklad lze uvést Matlab, W2E, ChemCAD.

Software Matlab nabízí integrovaný modul Simulink. Jedná se o prostředí k vytváření blokových schémat, které umožňuje modelování, simulaci a vyhodnocení dynamických systémů. Nabízí grafický editor, upravitelnou knihovnu bloků a řešiče pro simulaci. Výhodou je možnost včlenění algoritmů vytvořených v Matlabu přímo do modelu a možnost exportu výsledků simulace zpět do Matlabu pro jejich další vyhodnocení. [62]

Dalším komerčně dostupným softwarem pro tvorbu modelování a simulaci technologických procesů je Waste to Energy (W2E), který se zaměřuje především na oblast energetického využití odpadů a biomasy. Software využívá sekvenčně

modulární simulační postup výpočtu hmotnostních a energetických bilancí technologických linek.[63]

ChemCAD je software vhodný pro řešení statických i dynamických systémů. Obsahuje široký výběr chemických zařízení, termodynamických procesů a jednotek pro statickou simulaci. Pro dynamické procesy umožňuje kontrolovat provozuschopnost systému, výcvik operátorů nebo online kontrolu nad procesem. [64]



Obr. 13: Schéma výroby kyseliny dusičné v softwaru ChemCAD [63]

Bilanční model je velkou předností, protože může být využit například pro citlivostní analýzu, která může být nápomocná při výběru finálních návrhů (viz kap. 3.1.4.3) nebo v případě využití prediktivního řízení, které bylo stručně popsáno v kap. 2.5.1.

3.1.4 Posouzení provozu a návrh úsporných opatření

3.1.4.1 Vyhodnocení stávajícího stavu provozu

Vyhodnocení stávajícího stavu se opět odvíjí od druhu výroby/provozu. Dle [3] je nutné zpracovat data alespoň za poslední 2 roky. Cílem je tedy určit nejnáročnější zařízení nebo systém v provozu. Při identifikaci je nutné zohlednit následující parametry:

- počet provozních hodin (vytíženost),
- režim práce zařízení (časté zapínání/vypínání, dlouhé prostoje při jednotlivých operacích apod.),

- spotřebu primární energie,
- celková účinnost,
- nároky na údržbu a poruchovost.

Na základě těchto faktorů lze určit náročnost jednotlivých zařízení. Ta by měla být stanovena jako **spotřeba primární energie nebo paliva na určenou referenční jednotku**, která charakterizuje provoz. Například ve zpracovatelském průmyslu je možné stanovit spotřebu elektrické energie na jednotku váhy zpracovaného vstupního materiálu apod. Ve vyhodnocení je důležité zohlednit dobu provozu a vytíženost zařízení.

Při vyhodnocení by se měla pozornost soustředit také na smluvené ceny energií a smluvený odebíraný výkon. I v této oblasti se dá nalézt prostor pro zlepšení, obzvláště dochází-li k překračování odběrových výkonových limitů. V případě velkých odběrů primární energie je třeba zvážit možnost využití vlastních alternativních zdrojů.

V některých případech je vhodné rozdělit provoz na jednotlivé systémy (pokud tak již není učiněno samotným provozovatelem) a vyhodnotit jejich náročnost jako dílčího celku. Pro tyto celky je možné zpracovat grafické znázornění toho, jak se podílí na celkové spotřebě a celkových nákladech podniku. Pro zadavatele/investora je to jasně srozumitelný parametr. Přínos tohoto přístupu spočívá ve **vyhodnocení objektů jako celku z hlediska stavebního a zároveň z pohledu náročnosti zařízení** umístěných v tomto objektu. Současný audit takovýto přístup momentálně neposkytuje.

Výstupem z tohoto vyhodnocení je seznam oblastí, ve kterých zhotovitel vidí prostor pro zlepšení. Poté je možné přistoupit k návrhu úsporných opatření.

3.1.4.2 Návrh úsporných opatření

Jak už bylo řečeno v kapitole 2.5, úsporná řešení jsou odlišná pro různé druhy provozu. Pro návrh úsporných opatření je situace obdobná.

Návrh úsporných opatření se odvíjí od výsledků získaných z vyhodnocení stávajícího stavu, kde jsou identifikovány energeticky náročná zařízení. Návrh by se měl týkat energeticky nejnáročnějších oblastí, které byly vytipovány v předchozím kroku.

Typy úsporných opatření lze rozdělit podle náročnosti vstupní investice. Jako opatření bez nutné investice je možné označit například změnu chování obsluhy zařízení – vypínání strojů, když nejsou využívány (pokud je to možné), používání umělého osvětlení jen ve využívaných prostorách apod. Mezi málo investičně náročné opatření lze zařadit osazení pohonů frekvenčními měniči nebo vhodnou regulaci. Investičně nákladné opatření je potom pořízení nového zařízení nebo zaizolování celého objektu. Zhotovitel auditu by měl při vypracování návrhů myslet i na tyto možnosti a zahrnout více možností pro různou investiční náročnost.

Dalším faktorem, který ovlivňuje jednotlivé návrhy, jsou praktické znalosti a zkušenosti zhotovitele analýzy. Proto by si měl zhotovitel udržovat přehled o aktuálních technologických zlepšeních a rovněž o trhu se souvisejícím oborem.

Z vyhodnocení provozu by mělo vzniknout několik návrhů, které budou doplněny o základní ekonomická kritéria. Ta pomohou investorovi při rozhodování, které z návrhů jsou pro něj atraktivní a realizovatelné. Ideálním výstupem z procesního hlediska je rozšířené P&ID schéma, s konkrétním návrhem uspořádání provozu a osazením měřící technikou. Toto schéma by mělo být rozšířeno o základní provozní a procesní parametry (např. základní bilance procesních médií). Pro tuto činnost jsou stěžejní znalosti z oblasti procesního inženýrství a tvorby těchto schémat, které byly uvedeny v kapitole 2.3.

Pro dosažení kompletního servisu ze strany energetického auditora je třeba do návrhů zahrnout i možnost dotace. Ministerstvo průmyslu a obchodu poskytuje značný prostor pro získání příspěvků na zlepšení energetické účinnosti podniků. V případě dotace je možné navrhnout více opatření, aby byl využit celý potenciál dotace. I v této oblasti by měl být auditor řádně informován o aktuálních dotačních programech.

3.1.4.3 Ekonomická kritéria pro výběr investičního návrhu

Pro výběr investičně vhodného návrhu úsporných opatření ze strany investora lze použít různé ekonomické ukazatele.

Nejjednodušším a nejčastěji využívaným ukazatelem je prostá doba návratnosti. Jedná se o podíl investic INV v Kč a peněžního toku CF v Kč·rok⁻¹:

$$PB = \frac{INV}{CF}. \quad (3)$$

Určuje dobu, za kterou se přínosy vyrovnají investici.[65]

Další velmi často využívaným ukazatelem je vnitřní výnosové procento IRR [%]. Jedná se o relativní výnos, který projekt přinese během své životnosti [66]:

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0, \quad (4)$$

kde CF_t je peněžní tok v jednotlivých letech v Kč a t [rok] je životnost.

Nejčastěji využívaným kritériem je čistá současná hodnota NPV [Kč·rok⁻¹], která předvídá pouze budoucí finanční toky, bere v úvahu životnost projektu a diskontní úrokovou míru r v %. Výsledkem je poté hodnota přínosu investice.[67]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

Dalším rozšířením, které pomáhá při finální výběr projektu, je citlivostní analýza, která umožňuje sledovat změnu požadované veličiny při určité změně některých vlivů a faktorů. Citlivostní analýzu je možné rozšířit o analýzu scénářů, které zohledňují i vývoj situace ovlivňujících faktorů. Omezení spočívá pouze v počtu předdefinovaných scénářů.[68] V průmyslu mohou tyto scénáře představovat například vliv změny cen za energie na návratnost investice, změnu počtu provozních hodin na návratnost nebo změnu počtu zaměstnanců na návratnost.

Citlivostní analýza je velkou předností, která zohledňuje poměrně velké množství faktorů a při rozhodování může mít klíčovou roli.

3.1.5 Shrnutí návrhu metodiky

Technologie jsou doposud v energetickém auditu opomíjenou kategorií, nicméně je nutné se na ně soustředit, protože právě tato oblast skýtá možnosti pro snížení náročnosti. Hlavním přínosem výše uvedené metodiky je systematický postup, který umožňuje efektivní identifikaci oblastí s vysokým potenciálem pro úsporu a neopomíjí přitom technologickou část průmyslového provozu. V následující kapitole budou shrnuty základní body této metodiky.

1. *Vlastní příprava zhotovitele analýzy spotřeb*

Tímto bodem se rozumí hledání informací z dostupných zdrojů o zadaném provozu, aby měl zhotovitel alespoň hrubý odhad, které jednotkové operace se mohou v provozu vyskytovat. Tento krok je zcela závislý na zhotoviteli, je však velmi doporučován.

2. Vstupní jednání s provozovatelem

Jsou vymezeny hranice analýzy, probrány krizové oblasti provozu a pověřena odpovědná osoba, která je zhotoviteli k dispozici.

3. První prohlídka provozu

Během prohlídky se zhotovitel soustředí především na umístění patních a podružných měřidel, hlavních zdrojů, technologické vybavení, úroveň regulace, provedení rozvodů, VZT a využívaná procesní média.

4. Doplnění podkladů a informací

Po prohlídce následuje doplnění získaných informací vyžádáním podkladů, které má podnik k dispozici.

5. Návrh oblastí s potenciálem ušetření energií

Po výše uvedených krocích by měl být zhotovitel na základě získaných informací a vlastních zkušeností schopný určit oblasti, které poskytují prostor pro úsporu.

6. Detailní prohlídka provozu

Následuje detailní prohlídka provozu, kde by se měl zhotovitel zaměřit už na vytipované oblasti a zhodnotit úroveň informací, které má k dispozici o jednotlivých zařízeních. Počet prohlídek se odvíjí podle velikosti provozu a jeho složitosti.

7. Návrh doplňujících měření

V případě, že množství dat a informací je nevyhovující, je třeba navrhnout způsob měření, včetně měřicí techniky.

8. Provedení měření a zpracování dat

Po provedení samotného měření je třeba správně zpracovat data, aby výsledky byly relevantní. V případě, že i po měření je nedostatek dat, opakuje se bod 6 a 7.

9. Tvorba bilancí a modelů

Ze získaných dat jsou vytvořeny tepelné a materiálové bilance a následně bilanční modely, které budou vstupním podkladem pro vyhodnocení stavu provozu.

10. Vyhodnocení stávajícího stavu

Vyhodnocení je sestaveno na základě všech dosud získaných informací o provozu. Cílem je identifikovat energeticky nejnáročnější zařízení/systém.

11. Detailní návrh řešení

Jakmile jsou stanoveny nejnáročnější zařízení, je na zhotoviteli vypracovat návrh možných opatření, které přinesou úspory energie a tím i snížení provozních nákladů. Návrhy by měly obsahovat ekonomická kritéria, která budou nápomocná při výběru optimální varianty.

12. Podpora implementace návrhu a kontrola provozu

Pouze v případě, že je zhotovitel analýzy/auditů přizván k provedení vybraných úsporných opatření a to především na konzultační a projekční úrovni. Je vhodné provádět kontrolu provozu, zda je dosahováno slíbených úspor, zda jsou zařízení správně provozována a jestli je obsluha řádně proškolená.

3.2 S I: Analýza spotřeb v komerční prádelně

V následující kapitole bude proveden rozbor případové studie, která se věnuje výchozímu energetickému auditu prádelenského provozu.

Zpráva z provedení energetického auditu prádelenského provozu byla poskytnuta vedoucím práce a její část týkající se popisu rozvodů procesních médií, je v Příloha 2. Cílem je porovnání provedeného výchozího auditu s nově navrženým postupem.

3.2.1 Zhodnocení provedení analýzy

Analýza provozu byla soustředěna výhradně na prádelenské vybavení, tedy 3 velkokapacitní vsádkové pračky, průmyslový sušič a tunelový finišer. Hlavním požadavkem provozovatele bylo provedení měření bez instalace doplňující měřicí techniky.



Obr. 14: Technologické zařízení prádelenského provozu[69]

Měření tedy bylo prováděno pomocí fakturačních měřidel na přípojkách – elektroměr, plynoměr, 2 vodoměry, a podružným vodoměrem, který byl instalován provozovatelem. Pro správné stanovení spotřeb jednotlivých zařízení prostřednictvím patních měřidel bylo třeba zajistit, aby bylo v provozu pouze jedno zařízení. Tento přístup výrazně omezoval chod provozu a plynulost práce.

Pro plynovod, vodovod a parokondenzátní okruh byla uvedena bloková schémata se zaznačením patních měřidel. Pro vodu jsou dále popsány místa odběrů vody pro jednotlivé zařízení.

Detailně byl popsán způsob ohřevu pracích lázní spolu s provozními parametry. Prací lázně jsou ohřívány středotlakou párou, která je generována ve vyvíječi páry, který je klíčovým zařízením parokondenzátního okruhu. Parametry páry jsou tlak 7 bar g a teplota 170 °C.

Dále byl detailně popsán postup odečtu jednotlivých měřidel, tedy vždy na začátku a konci pracovního cyklu. V případě praček/sušiče je pracovní cyklus vyprání/usušení jedné várky prádla, u finišeru se tím rozumí usušení daného množství prádla. Každá dávka prádla byla po usušení zvážena, spočítána a byl určen druh oděvů a jejich složení. Pro jednotlivá zařízení byly provedeny měření při různém nastavení, tedy při různých pracích programech a pro 6 různých vsádek prádla (s ohledem na jejich složení). Jedná se o pracovní oděvy z potravinářských a strojírenských výrob s vysokou mírou znečištění.

Jedním z faktorů ovlivňujících proces sušení je složení prádla. Se stoupajícím podílem bavlny oproti polyesteru stoupá i zbytková vlhkost po odstředění a naopak klesá odpařovací kapacita sušícího stroje.

Dále je ve zprávě upozorněno na významnou chybu při sledování elektrické energie z důvodu nízkého rozlišení elektroměru, krátkodobému měření a relativně malé spotřebě strojů.

Na základě měření byly vytvořeny protokoly pro jednotlivá zařízení s určením měrných spotřeb pro elektřinu, teplo, vodu a zemní plyn, měrná produkce (hmotnost suchého prádla za hodinu) a měrná zbytková vlhkost. Celkově bylo možné říci, že spotřeby nijak výrazně nevybočují z běžných hodnot.

Dalším krokem byla analýza archivních dat za 3 předcházející měsíce. U archivních dat byly rozlišeny údaje stanovené na základě odhadu obsluhy a údaje přesně odečítané z měřidel. Pro každý měsíc byla stanovena vytíženost jednotlivých zařízení, celkové množství zpracovaného prádla a množství prádla zpracovaného jednotlivými programy. Dále byly stanoveny provozní náklady za plyn, elektřinu a vodu, četnost využití jednotlivých prací programů a celkové provozní náklady. Uvedené dílčí náklady byly stanoveny pro referenční jednotky, v tomto případě pro kg prádla nebo pro kus prádla.

Z analýzy byl proveden výstup s řadou doporučení vztahujících se především k měření. Jejich hlavním přínosem je základní návrh měřicího systému (včetně odhadu výšky investice), který by přispěl k přesnějšímu určování spotřeb a určení efektivnosti zpracování. Velkým kladem výše zpracované zprávy je její jasnost a srozumitelnost pro provozovatele.

Velkou předností, která se může stát inspirací pro stávající audit, je přehled informací o konkrétních provozních stavech a spotřebách. Věnuje se tedy konkrétnímu popisu jednotlivých procesních operací pro typický pracovní cyklus.

Dalším předností zprávy je zpracování fakturačních údajů. Díky důkladnému studiu faktur byly objeveny nesrovnalosti týkající se množství spotřebovaného tepla nebo neshody výrobních čísel měřičů. Provozovatel tak může na tyto nesrovnalosti reagovat.

Výše popsaná zpráva výchozího auditu byla jedním z hlavních podkladů k zamýšlenému projektu rekonstrukce prádelenského provozu se záměrem navýšení zpracovatelské kapacity. Na základě technicko – ekonomického vyhodnocení se provozovatel rozhodl pro celkovou rekonstrukci prádelny a dále byla pozornost soustředěna na návrh nové efektivní prádelny. Je důležité podotknout, že kvalitně vypracovaná analýza byla i podnětem pro další spolupráci na projektu rekonstrukce. [48]

Ve zprávě bylo zmíněno, že vyšší účinnost provozu je při větší vytiženosti a plynulejším zpracováním prádla, protože nedochází k chladnutí předeřhřátých zařízení. Nabízelo by se tedy zhodnocení množství ztrátového tepla a jeho následné znovuvyužití.

Jako nedostatečnou je možné hodnotit analýzu historických dat, která byla provedena pouze pro 3 měsíce. Ve většině případů je u auditu doporučováno zpracovat záznamy minimálně za 2 roky, jak je doporučováno v kap. 3.1.4.1. Samozřejmě záleží na proměnlivosti výroby, resp. zpracování.

Pro kompletnost získaných dat ohledně jednotlivých praček, sušiče a finišeru by bylo vhodné doplnit stáří zařízení, počet provozních hodin, nároky na údržbu a případnou poruchovost. Z těchto údajů je potom možné vycházet při případné výměně zařízení.

Dalším doporučením pro zkvalitnění výchozího auditu je zahrnutí ceny za prádelenskou chemii do celkových provozních nákladů. Protože jde o pevně danou položku pro každý prací program, jedná se o jednoduché doplnění do ekonomické bilance.

Pro prádelenský provoz je charakteristický vsádkový režim zpracování, tvorba bilančního schématu by proto byla poměrně náročnou záležitostí. V případě větších provozů je však vhodnou nadstavbou k provedenému auditu.

Poslední doplnění je vhodné spíše pro velké prádelenské provozy, kde je více proměnných faktorů, např. proměnná cena za energie, určení prádelenské chemie zákazníkem, různé podíly materiálů vstupní vsádky prádla apod. V takovémto případě by bylo nasnadě zvážit citlivostní analýzu pro zvážení různých scénářů.

Na závěr je nutno dodat, že výše popsany audit byl proveden výhradně pro zpracovatelské technologie umístěné v provozu. Cílem je však propojit pohled na jednotkové operace a technologie s hodnocením celku, jak tomu je ve stávajícím pojetí energetického auditu. Právě na tuto kombinaci přístupů se bude více soustředit následující případová studie II.

3.3 S II: Analýza spotřeb v průmyslovém výrobním podniku

Další případová studie byla prováděna ve společnosti, která se soustřeďuje na výrobu energetických zařízení, ocelových konstrukcí a části stavebních strojů.

Společnost disponuje dvěma výrobními závody, které jsou energeticky velice náročné.

Jedná se o aktuálně probíhající projekt, kde je cílem provést energetický audit dle navržené metodiky, jakožto spojení klasického a technologického přístupu. Pro stavební pohled na výrobní haly je možné využít energetického specialistu, který má zkušenosti s hodnocením a návrhy úspor pro stavební část. Dosud byla provedena přípravná fáze, prvotní prohlídka objektu a předběžný výběr oblastí k řešení. V následujících kapitolách bude popsán postup těchto fází, jejich výstupy a nástin dalších prací.

3.3.1 Přípravná fáze

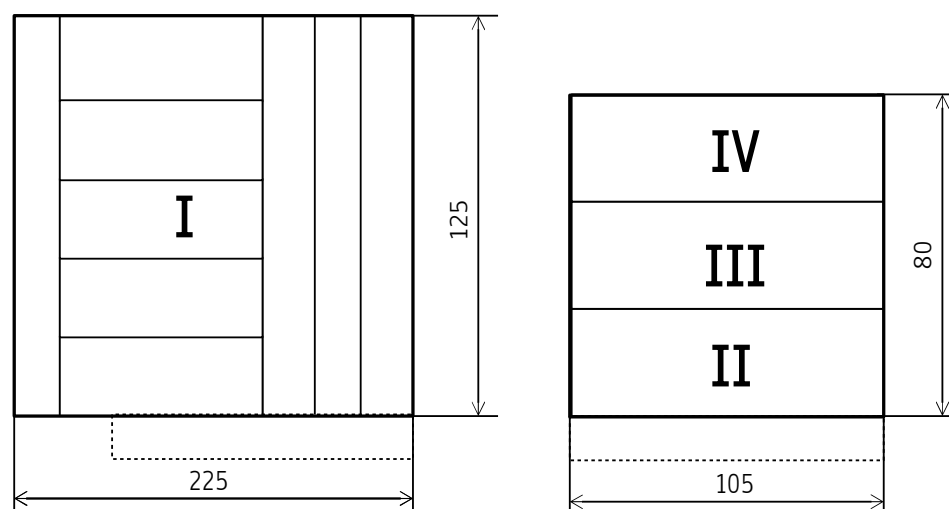
V úvodu projektu byl proveden průzkum dostupných informací o společnosti. Bylo zjištěno, že výroba energetických a procesních zařízení probíhá zpravidla na zakázku. Z toho vyplývá předpoklad o spíše přerušované výrobě. Opačným případem je výroba částí stavebních strojů, kde probíhá kontinuální výroba palivových a olejových nádrží.

Dalším krokem bylo jednání s vedením společnosti, kde byly probrány problémové oblasti, plánované investice, orientační spotřeby energií a médií a náklady na ně. Byla také představena pověřená osoba pro další komunikaci.

Podnik nemá zavedenou normu ČSN EN ISO 50001: Systém managementu hospodaření s energiemi, a ani normu ČSN EN ISO 14001: Systémy environmentálního managementu. Nicméně společnost spadá do kategorie velkých podniků s celkovou roční spotřebou vyšší než 35 000 J, které mají ze zákona č. 406/2000 Sb. povinnost vypracovat energetický audit každé 4 roky. Poslední audit byl zhotoven v roce 2015.

3.3.2 Prohlídka objektu

Prohlídka se vztahovala na dvě hlavní výrobní haly. Během prohlídky byla soustředěna pozornost na stavební stav objektů i na technologické vybavení. Zjednodušené schéma rozložení výrobních hal je na Obr. 16.



Obr. 16: Zjednodušený plán výrobních hal

3.3.3 Informace získané prohlídkou

V následující kapitole budou uvedeny informace poskytnuté během prohlídky objektu od stavebního stavu, přes zdroje primárních energií, až po zběžný přehled technologického vybavení.

a) Stavební stav objektů

Výrobní hala I je z 60. let minulého století, není zaizolována. Denní světlo je přiváděno pomocí světlíků vyplněných převážně drátěným sklem. Část výplní byla vyměněna za polykarbonát. Světlíky nejsou udržovány a jsou značně znečištěny činností provozu. Osvětlení je zajišťováno kombinací rtuťových, sodíkových a halogenových výbojek.



Obr. 17: Lod' výrobní haly I

Výrobní hala II byla vystavěna v 80. letech minulého století, rovněž není zaizolována. Osvětlení je převážně realizováno pomocí sodíkových a rtuťových výbojek, denní světlo vstupuje okny v čele budovy. Okenní výplně jsou opět z drátěného skla.

Haly číslo III a IV byly nově přistavěny, tudíž už disponují izolací. Osvětlení zajišťují halogenové výbojky a světlíky s polykarbonátovou výplní. Hala IV je doplněna vzduchotechnickou jednotkou, která zajišťuje odsávání vzduchu při broušení a svařování a vhání do haly čerstvý vzduch.

b) Zdroje

Výrobní závod nedisponuje vlastními zdroji tepla ani elektrické energie. Teplo je dodáváno z cca 1,5 km vzdálené teplárny. Elektrická energie je dodávána do 3 trafostanic. Obdobná situace je i v případě vody - podnik nemá vlastní zdroj a veškerá spotřeba vody je kryta z vodovodního řádu.

c) Technologické vybavení

Jak již bylo v úvodu řečeno, podnik se zabývá výrobou energetických zařízení a částí stavebních zdrojů (konkrétně palivových a olejových nádrží). Jedná se tedy především o zpracování kovů. Na základě prohlídky byl zpracován jednoduchý diagram zpracovatelského postupu materiálu vyobrazený na Obr. 18.

Ze schématu je patrné, že se jedná o technologicky náročnou výrobu a množství strojů je značné. Proto se první prohlídka soustředila především na nejnáročnější z nich.

Náročnými zařízeními jsou tryskače, které slouží k povrchové úpravě vstupního materiálu. Jejich náročnost spočívá především ve velkém počtu motorů s vysokým příkonem a velké spotřebě stlačeného vzduchu.

Stlačený vzduch je tlakován na úroveň 7 bar, a to kompresorem o jmenovitém příkonu 75 kW. Kompresor není regulován, odpadní teplo je využíváno pouze v zimě, kdy je vedeno zpět do výrobních hal. Vzhledem k počtu provozních hodin je plánována jeho výměna. Další plánovanou investicí, ze stejného důvodu, je výměna laserového řezacího stroje z roku 2002.

Dalším energeticky náročným procesem je mytí a impregnace výrobků před lakováním, které probíhá v otevřených neizolovaných vanách, kde je udržována teplota roztoku na 60 °C. Dalším krokem je sušení. Sušící vzduch je předehříván elektrickým ohřívačem o vysokém výkonu.

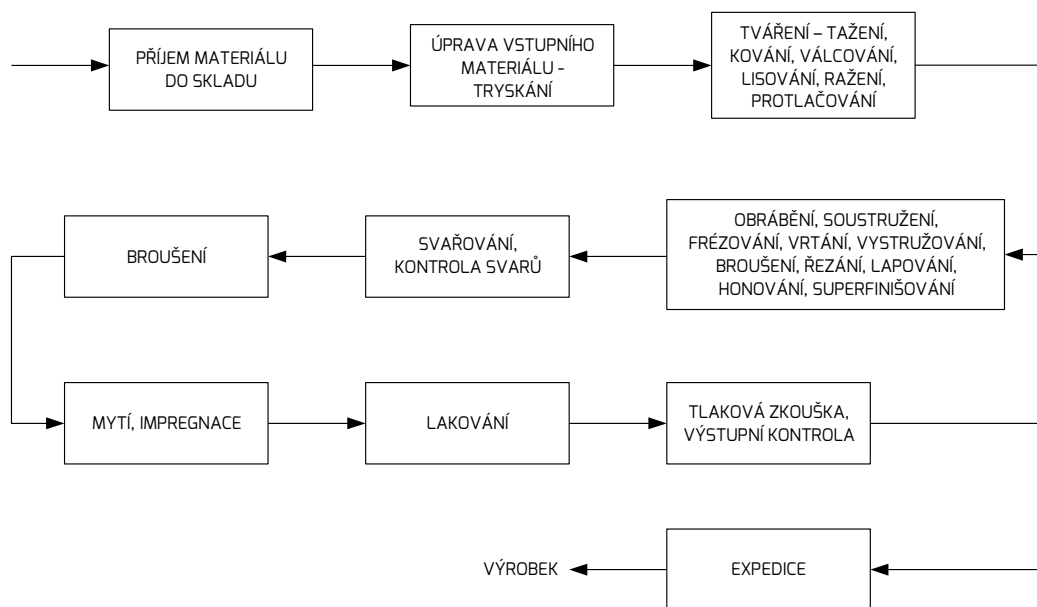
Dalšími náročnými procesy jsou lakovny. V provozu se nachází 3 boxové lakovny a volnoprostorová lakovna. Boxové lakovny jsou vyhřívány plynovými hořáky. Těkavé látky (VOC) vznikající z lakování na volném prostoru jsou odsávány a následně likvidovány ve spalovací jednotce disponující dvěma hořáky na zemní plyn. Teplo vznikající spalováním není dále využíváno.

d) Měření, ovládání, regulace a organizace

Tepelný systém je opatřen online měřením tepla, kde jsou sledovány stavy patních měřičů, teploty v budovách, teploty dílčích větví, teplota TUV a teplota v nádrži na TUV (viz. Příloha 3). Ovládání a regulace je prováděna manuálně.

Osvětlení není regulováno žádným způsobem a je ovládáno výhradně manuálně. V provozu je instalováno 100 podružných elektroměrů. Některé stroje jsou osazeny čítačem motohodin.

Provoz je jednosměnný pouze v pracovních dnech, v případě velkého počtu zakázek je doplněn druhou směnou.



Obr. 18: Zpracovatelské operace výroby

3.3.4 Vyhodnocení informací

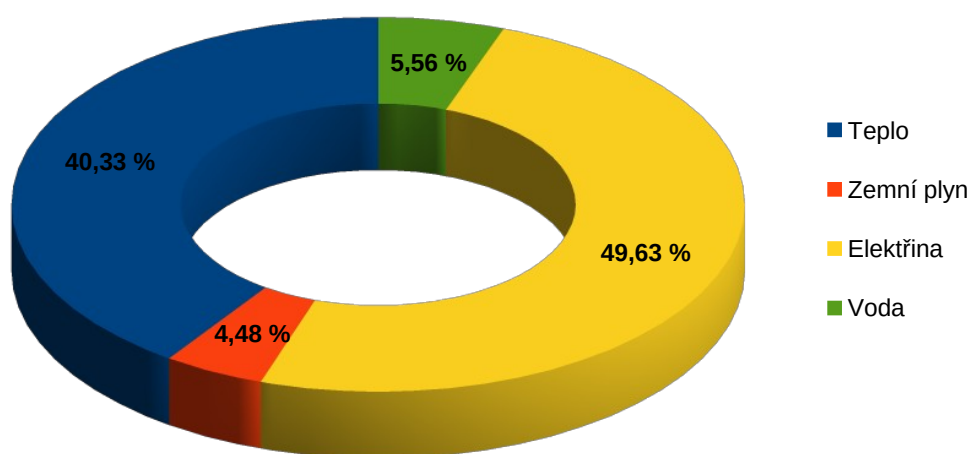
Na základě získaných informací, prohlídky provozu a dodaných podkladů, byly určeny předběžné oblasti, které mohou poskytnout možné úspory. Jejich přehled se stručnou charakteristikou je uveden v následujícím soupisu.

1. *Úniky tepla* – zateplení obvodových stěn, zateplení plochých střech, výměna otvorových výplní, výměna střešních světlíků, výměna kovových oken s jednoduchou výplní.
2. *Vzduchotechnika* – optimalizace filtrace u odtahů z volnoprostorové lakovny a instalace frekvenčních měničů k motorům odsávání, doplnění destratifikátorů pod střechu haly.
3. *Osvětlení* – výměna výbojkových svítidel a instalace regulace, vyčištění světlíků pro snížení spotřeby.
4. *Elektrická energie* – optimalizace provozu transformátorů, instalace fotovoltaické elektrárny pro pokrytí vlastní spotřeby.
5. *Technologie* – výměna laserového řezacího stroje, výměna motorů u tryskacího zařízení, využití odpadního tepla ze spalín plynových hořáků boxových lakoven, využití odpadního tepla ze spalování VOC, výměna kompresoru

stlačeného vzduchu a využití jeho odpadního tepla, zaizolování mycí vany, využití dodávaného tepla k ohřevu sušícího vzduchu (místo elektroohřevu).

Návrh oblastí k šetření energií koresponduje s rozdělením spotřeb, které je v grafu na Obr. 19. Je zřejmé, že největší díl spotřeby představuje dodávané teplo a elektrická energie. Z tohoto důvodu jsou navrhovaná opatření ohledně využití odpadního tepla více než zajímavá. Obdobně je tomu u návrhů, které se soustředí na výměnu elektrických zařízení za moderní stroje s nižší spotřebou a vyšší účinností.

Podíly energií, paliv a médií na celkové spotřebě v roce 2016



Obr. 19: Graf rozdělení celkové spotřeby provozu v roce 2016

3.3.5 Další postup

Z výše popsaných oblastí navrhovaných k řešení budou sestaveny obecné návrhy opatření, které mohou přispět ke zvýšení úspor. Na základě hrubého odhadu jejich návratnosti budou vybrány oblasti k detailnímu řešení. K tomu, aby mohly být návrhy sestaveny, však musí být doplněny podklady a informace týkající se provozu. Proto byl pro zadavatele sestaven následující seznam potřebných dokumentů, které je třeba doplnit:

- stávající audit dle zákona č. 406/2000 Sb.,
- fakturační dokumenty dodávek energií (elektřina, zemní plyn, teplo, voda) za rok 2016,
- údaje o aktuálních jednotkových cenách za elektřinu, zemní plyn, teplo a vodu,
- situační mapa s označením budov a ucelených částí budov,

- stavební dokumentace a pasporty budov,
- technologická schémata,
- schéma rozvodů,
- záznamy o výrobě,
- odběrové diagramy energií,
- soupis plynových zdrojů a aktuální protokoly z emisních měření spalin,
- provozní hodiny a spotřeba zemního plynu zařízení na likvidaci VOC z volnoprostorové lakovny za rok 2016 a 2017,
- provozní hodiny (v zátěži a odlehčení) a spotřeba elektřiny, kompresoru stlačeného vzduchu za rok 2016 a 2017,
- cenové nabídky na výměnu kompresoru,
- aktuální revizní zprávy trafostanic, parametry vlastních transformátorů a výkonové využití traf,
- záznamy podružných měřičů (elektřina, zemní plyn, teplo, voda, stlačený vzduch, provozní hodiny) za rok 2016 a 2015,
- množství teplé užitkové vody z vodoměrů,
- počet sociálních zařízení (sprchy, umyvadla a WC),
- záznamy systému SCADA – měření dodávaného a využitého tepla,
- seznam instalovaných zařízení a strojů spolu s jejich provozními hodinami.

V následující fázi tedy budou detailně rozebrány a analyzovány výše uvedené podklady a podrobně navrhnutá jednotlivá řešení úsporných opatření. Z procesního hlediska se jako nejzajímavější oblastí jeví především výměna kompresoru stlačeného vzduchu za modernější jednotku s vyšší účinností výroby opatřenou regulací a případným využitím odpadního tepla. Teplo by mohlo být využito pro vyhřívání boxových lakoven a následného sušení. Obdobná možnost se nabízí i pro teplo vznikající spalováním těkavých látek (VOC). Další možností pro využití odpadního tepla je ohřev sušícího vzduchu, který je momentálně zajišťován elektricky. Zajímavou oblastí je i výměna motorů u tryskacího zařízení za novější zařízení a výměna laserového řezacího zařízení s uvažovaným využitím tepla z hydraulických kapalin stroje. Poslední zmíněné opatření je možné aplikovat i u dalších jednotek instalovaných v provozu.

Protože se v provozu nachází velké množství obráběcích strojů, nabízelo by se řešit například jejich pohony a použít pro ně frekvenční měniče apod. Nicméně v případě obráběcích strojů je zásah do výkonu a dynamiky stroje zcela zásadní pro správnou funkčnost stroje, protože může narušit jeho přesnost a tím i kvalitu výrobků. Obecně lze hledat možné úspory ve třech oblastech. Jednou možností jsou čerpadla provozních kapalin stroje a již zmiňované použití frekvenčního měniče pro řízení. Druhou oblastí je stlačený vzduch, který slouží k čištění funkčních ploch od špon a okolních nečistot. Častou chybou je nadbytečný průtok stlačeného vzduchu v porovnání s doporučeným průtokem od výrobce stroje. Poslední možností, na kterou je možné se soustředit, je práce obsluhy stroje.[70] Protože bude řešena výměna kompresoru stlačeného vzduchu, jak bylo výše zmíněno, měly by být prověřeny právě i průtoky stlačeného vzduchu pro jednotlivé stroje.



Obr. 20: Příklad instalovaného obráběcího stroje

Dalším krokem bude návrh doplňujících měření k získání kvalitních dat a jejich vyhodnocení. Cílem bude vytvořit bilance jednotlivých systémů i přesto, že se jedná o nekontinuální provoz zakázkových výrobků, který bude náročné bilančně popsat. Dále budou už detailně rozpracovány jednotlivé návrhy spolu s technicko – ekonomickou rozvahou, která pomůže k výběru nejlepšího řešení.

4 Závěr

Snižování spotřeb a nákladů, zvyšování účinnosti a dosažení energetických úspor je aktuálně rozšířený trend napříč všemi odvětvími lidské činnosti. Zpracovatelský a výrobní průmysl je klíčovým spotřebitelem. Právě tato oblast stále poskytuje dostatek prostoru pro řešení a implementaci úsporných opatření. Jednou z hlavních oblastí, která tento prostor vytváří, je oblast technologického vybavení provozu.

Hlavními nástroji v oblasti energií je systém hospodaření s energiemi a energetický audit. Tyto pojmy spolu velmi úzce souvisí, protože energetický audit je součástí normou daného systému energetického managementu. Energetický audit slouží především k identifikaci míst provozu, které skýtají potenciál pro zlepšení z hlediska spotřeb energií a s tím souvisejících úspor. Je to ucelený sled operací, jejichž výstupem je zhodnocení aktuálního stavu provozu a následný návrh pro zlepšení. Systém energetického managementu potom lze popsat jako sled postupů, plánování a kontrol k udržení a dalšímu zlepšování úrovně nakládání s energiemi.

Energetický audit je zákonnou povinností, která je stanovena výší celkové roční spotřeby sledovaného celku. Tato povinnost je v české legislativě určena zákonem č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. Dále je energetický audit upravován vyhláškou č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku. Zde je uveden i doporučený postup, jak lze audit zpracovat. Po detailnějším prostudování však bylo zjištěno, že tento způsob je z procesního hlediska nedostačující. Hlavním důvodem je způsob vnímání procesního vybavení pouze jako spotřebiče, které spotřebovávají primární energii. Tento přístup je ale zcela nedostačující, obzvláště jsou-li sledovanými objekty velké výrobní podniky. V takovýchto případech je nutné zohlednit chování a možnosti jednotlivých operací a zařízení.

Právě z výše uvedených důvodů si tato práce kladla za cíl navrhnout nový přístup, který by spojil přístup klasického auditu s posouzením technologického vybavení provozů. Hlavním výstupem je metodika, která může sloužit jako systematické vodítko k efektivnějšímu zpracování energetického auditu a obohacuje ho o technologickou stránku provozu. Vyhodnocení auditu závisí na znalostech a zkušenostech energetického specialisty, který je pověřen audit provést. Auditor však nemusí znát všechny jednotkové operace a výrobní procesy. Hlavním cílem

tedy bylo vytvořit univerzální metodiku pro většinu průmyslových odvětví na základě procesního přístupu.

Hlavní přínos metodiky spočívá v propojení přístupu klasického auditu a přístupu, který se zaměřuje na jednotlivé operace a stroje. Kombinace těchto dvou přístupů je i hlavní podmínkou pro zpracování kvalitního a komplexního energetického auditu sledovaného celku.

Navržený postup sestává z několika základních kroků, které se dle potřeby mohou opakovat. Nová metodika oproti standardnímu energetickému auditu přidává seznam parametrů, které je důležité sledovat při vyhodnocování procesů.

Důležitou částí je získání dostatku kvalitních dat. V případě, že je dat nedostatek nebo nejsou dostatečně relevantní, je třeba navrhnout a provést doplňující měření. Tato část je klíčová pro zpracování dat a získání kvalitních výsledků.

Velká pozornost metodiky byla soustředěna na tvorbu bilancí, kdy je nutné zohlednit především druh a způsob výroby. Z procesního hlediska jsou bilance důležitým nástrojem pro zobrazení základních toků procesních médií a energií. Je důležité také zohlednit dynamiku sledovaných procesů. Vhodným rozšířením jsou bilanční modely (hlavně u složitých procesů a výrobních linek), které je potom možné využít pro další analýzy a simulace.

Analýzy a simulace jsou další částí, které tvoří nadstavbu standardního auditu. Jejich využití je vhodné zahrnout do technicko-ekonomického vyhodnocení navržených úsporných řešení. S využitím modelů lze vytvořit různé scénáře, které budou zohledňovat vybrané proměnné faktory. Na základě těchto scénářů může být potom postaven výběr nejlepšího řešení ze strany provozovatele.

Je samozřejmé, že tento postup se v praxi bude odvíjet podle druhu provozu, způsobu provozování jednotlivých zařízení, úrovně regulace systémů, na požadavcích provozovatele a celé řadě dalších faktorů.

Sektor energetických úspor je velmi široká oblast. Má-li přinášet reálné výsledky, musí zohlednit mnoho nových poznatků v různých vědních oborech. Další plánovanou činností je rozšíření této práce o návrh detailního návodu, jak efektivně postupovat při řešení rozsáhlých projektů energetických úspor, především v oblasti detailní analýzy provozních dat, využití matematického modelování a řízením procesu. S tím souvisí i tvorba datové a znalostní databáze pro typické druhy provozů.

Lze předpokládat, že podrobné analýzy technologií v průmyslových provozech přinesou významné úspory energie a procesních médií. To vedle ekonomického efektu vede k pozitivnímu dopadu na dlouhodobou energetickou udržitelnost a životní prostředí obecně. Nová metodika má být krokem vpřed na cestě tímto směrem.

5 Seznam použitých zdrojů

- [1] LI, M., TAO, W.: Review of methodologies and policies for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry. In *Applied Energy*, Vol. 187, pp 203-215, 2017. Dostupné z <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.039>>
- [2] BACKLUND, S., THOLLANDER, P., PALM, J., OTTOSSON, M.: Extending the energy efficiency gap. In *Applied Energy*, Vol. 51, pp 392-396, 2012. Dostupné z <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.042>>
- [3] THUMANN, A., YOUNGER, W. J., NIEHUS, Terry. *Handbook of Energy Audits*. 8th ed. Lilburn: The Fairmont Press, 2010. ISBN 978-1-4398-2145-9.
- [4] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU ze dne 25. října 2012 o energetické účinnosti, o změně směrnic 2009/125/ES a 2010/30/EU a o zrušení směrnic 2004/8/ES a 2006/32/ES Text s významem pro EHP. In: *EUR-Lex* [právní informační systém]. Úřad pro publikace Evropské unie [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <<http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>>.
- [5] Ministerstvo průmyslu a obchodu: Státní energetická koncepce [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2014 [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <<https://www.mpo.cz/dokument158059.html>>.
- [6] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Efekt: energie efektivně [online]. Praha: MPO, 2008 [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <www.mpo-efekt.cz>.
- [7] Informační portál o dotacích pro podnikatele: Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost [online]. Praha: eNovation, 2008 [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <www.oppik.cz>.
- [8] Energetický regulační úřad: Roční zprávy o provozu [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2017 [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <<https://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/rocni-zpravy-o-provozu>>
- [9] Ministerstvo životního prostředí: Zprávy o stavu životního prostředí. [online] Praha: MŽP, 2015. [cit. 13.3.2017] Dostupné z <http://www.mzp.cz/cz/zpravy_o_stavu_zivotniho_prostredi_publicace>

- [10] SHULZE, M., NEHLER, H., OTTOSSON, M., THOLLANDER, P.: Energy management in industry – a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. In *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112, s. 3692-3708, 2015.
- [11] LEE, D., CHENG, Ch., Energy savings by energy management systems: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 56, p.760-777, 2016. ISSN 1364-0321.
- [12] ČSN EN ISO 50001. *Systémy managementu hospodaření s energií – Požadavky s návodem k použití*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. [cit. 11.4.2017]
Dostupné z <<http://www.unmz.cz/urad/csn-en-iso-50001-01-1501-systemy-managementu-hospodareni-s-energi-pozadavky-s-navodem-k-pouziti-r914>>
- [13] CHARLET L. *The ISO Survey of Management System Standard Certifications 2015*. Geneva: International Organization for Standardization, 2015 [cit. 23.4.2017]
Dostupné z <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/standards/conformity_assessment/certification/doc/survey_executive-summary.pdf>
- [14] BELICA, P. *Průvodce energetickými úsporami a obnovitelnými zdroji energie*. Valašské Meziříčí: Regionální energetické centrum ve spolupráci s TG Tisk, 2006. ISBN 80-903680-1-8.
- [15] ČSN EN 16247-1. *Energetické audit - Obecné požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [16] Lukáš Staněk – ústní sdělení (energetický auditor, CEVRE Consultants s.r.o., Kalvodova 109/9, Brno) dne 6.2.2017.
- [17] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. [online]. Zveřejněno: 2010-2017. [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>>.
- [18] SCHVARCZOVÁ, H. *Ministerstvo průmyslu a obchodu – oddělení hospodaření s energií* [e-mail]. 9.9.2016 14:08 [cit. 7.4.2017].
- [19] Vyhláška č. 118/2013 Sb., o energetických specialistech, ve znění pozdějších předpisů. [online]. Zveřejněno: 2010–2017. [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-118>>.

- [20] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů. [online]. Zveřejněno: 2010 – 2017. [cit. 14.3.2017]. Dostupné z <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>>.
- [21] SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, R. Nové aspekty stavební ekonomiky 4. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2015. ISBN 978-80-01-05870-1.
- [22] ČSN EN 16247-3. *Energetické audity – část 3: Procesy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [23] BROWN, H. L., HAMLEL, B. B., HEDMAN, B. A. *Energy Analysis of 108 Industrial Processes*. Lilburn: The Fairmont Press, 1996. ISBN 978-08-73247-4.
- [24] MALÝ, V. *Energetický audit v průmyslu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2014. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Musálek.
- [25] GRELICH L., DRLÍKOVÁ A. *Analýza trhu se zaměřením na EPC 1994 - 2014*. Praha: Siemens, divize Building Technologies, 2014.
- [26] SOCHOR, Vladimír. *Metoda EPC a energetické audity: Příprava energeticky úsporných projektů řešených metodou*. [online]. 2003 [cit. 15.3.2017]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/1492-metoda-epc-a-energeticke-audity>>.
- [27] CIGER, J., KUDERA, P. *Prediktivní regulace jako nástroj pro zajištění a snížení sjednaného tepelného výkonu*. [online] Zveřejněno: 6.3.2017. [cit. 17.5.2017] Dostupné z <<http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/15458-prediktivni-regulace-jako-nastroj-pro-zajisteni-a-snizeni-sjednaneho-tepelneho-vykonu>>
- [28] ŠIROKÝ, J., KUBEČEK, J., KUDERA, P. *Prediktivní řízení vytápění budov – pilotní aplikace*. [online] Zveřejněno: 15.6.2011. [cit. 17.5.2017] Dostupné z <<http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7566-prediktivni-rizeni-vytapani-budov-pilotni-aplikace>>
- [29] Kogenerace. [online] Naposledy upraveno: 2017. [cit. 17.5.2017] Dostupné z <<http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace>>
- [30] Akumulace tepla [online] Naposledy upraveno: 2017. [cit. 17.5.2017] Dostupné z <<http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla>>
- [31] VOBOŘIL, D. *Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR*. [online] Zveřejněno: 16.12.2016. [cit. 17.5.2017] Dostupné

- z <<http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>>
- [32] KREITH, F., GOSWAMI, Y., ed. *Energy Managements and Conservation Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2008. ISBN 978-1-4200-4429-4.
- [33] PASTOREK, R. *Problematika řízení VZT jednotek a její perspektivy - řídicí systém Remak WEBCLIMA* [online] Praha: Topinfo, c2017. Zveřejněno: 3.3.2010 [cit. 16.5.2017] Dostupné z <<http://vetrani.tzb-info.cz/uspory-energie-vetrani-klimatizace/6281-problematika-rizeni-vzt-jednotek-a-jeji-perspektivy-ridici-system-remak-webclima>>
- [34] Parametry světelných zdrojů. *Giga Lighting* [online] Tábor: Giga Lighting, c2017. [cit. 17.5.2017] Dostupné z <<http://www.gigalighting.cz/parametry-svetelnych-zdroju.htm>>
- [35] SEDLÁČEK, K. *Úspora za vytápění v číslech*. [online] Praha: Isover, c2017. Zveřejněno: 2.9.2016 [cit. 15.5.2017] Dostupné z <<http://www.isover.cz/aktuality/uspورا-za-vytapeni-v-cislech>>
- [36] Internetová poradna I-EKIS. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online] Praha: MPO, c2008. Zveřejněno: 5.3.2014 [cit. 15.5.2017] Dostupné z <<https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/i-ekis/46253>>
- [37] Vzduchové clony = úspora energie. *tzbinfo* [online] Praha: Topinfo, c2017. Zveřejněno: 24.8.2009 [cit. 16.5.2017] Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/5862-vzduchove-clony-uspورا-energie>>
- [38] ŠKOPEK, M., PITTERMANN, M. Potenciální možnosti úspor el. energie v průmyslu. In *Energy Consulting* [online]. Zveřejněno: 25.11.2011 [cit. 9.5.2017] Dostupné z <<http://www.e-c.cz/index.php?page=download>>
- [39] Frekvenční měniče VACON s plynulou změnou otáček. *tzbinfo* [online] Praha: Topinfo, c2017 Zveřejněno: 13.2.2014. [cit. 14.3.2017] Dostupné z <<http://vetrani.tzb-info.cz/10850-frekvencni-menice-vacon-s-plynulou-zmenou-otacek>>
- [40] Termistor NTC B57164K0101. *GM Electronic* [online] Praha: GM Electronic, c2017. [cit. 2.4.2017] Dostupné z <<https://www.gme.cz/termistor-ntc-b57164k0101>>

- [41] Chyby a omyly při měření. *Termokamera.cz* [online] [cit. 19.5.2017] Dostupné z <<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>>
- [42] Termokamera Fluke Ti450. In Revizeshop. *Revizeshop.cz* [online] Stará Turá: MERCONTROL, c2017. [cit. 20.5.2017] Dostupné z <https://www.revizeshop.cz/Termokamera-Fluke-Ti450>
- [43] Průtokoměry - clony a dýzy. *EMKOMETR* [online] Ledec nad Sázavou: EMKOMETR, c2017. [cit. 19.5.2017] Dostupné z <<http://emkometer.com/cz/prutokomery-clony-a-dyzy.html>>
- [44] Indukční průtokoměr kapalin. *ELIS Plzeň* [online] Plzeň: ELIS Plzeň, c2017. [cit. 19.5.2017] Dostupné z <<http://www.elis.cz/cs/produkty/indukcni-prutokomer-kapalin.html>>
- [45] Celokovové vrtulkové průtokoměry. *OMEGA Engineering* [online] Karviná: OMEGA Engineering, c2017. [cit. 19.5.2017] Dostupné z <http://www.omegaeng.cz/pptst/FP3_5200.html>
- [46] Kompaktní měřiče tepla a chladu. *MEIBES* [online] Praha: MEIBES, c2017. [cit. 19.5.2017] Dostupné z <<http://www.meibes.cz/ultrazvukove-merice-tepla-a-chladu-dalkovy-odecet/kompaktni-merice-tepla-a-chladu/kompaktni-merice-tepla-a-chladu-multical-302>>
- [47] F4 vyhodnocovací jednotka pro měřiče tepla. *František Pokorný* [online] Poděbrady: František Pokorný, c2017. [cit. 19.5.2017] Dostupné z <<http://www.pokorny-vodomery.cz/vyhodnocovaci-jednotky/f4-vyhodnocovaci-jednotka-pro-merice-tepla/>>
- [48] MÁŠA, V. *Komplexní přístup k řešení energetické efektivity objektů a procesů v průmyslové a komunální sféře*. Brno: FSI VUT v Brně, 2016. 116 s. Habilitační práce. Ústav procesního inženýrství, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně.
- [49] Nový ultrazvukový měřič MULTICAL® 403 s kovovým průtokoměrem a teplotními snímači. *tzbinfo* [online] Praha: Topinfo, c2017 Zveřejněno: 2.3.2016. [cit. 20.5.2017] Dostupné z <<http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/13862-novy-ultrazvukovy-merice-multical-403-s-kovovym-prutokomerem-a-teplotnimi-snimaci>>

- [50] NĚMEC, Z. Měření průtoku. In *Experimentální metody*. Zveřejněno: 8.11.2015. [cit. 15.5.2017]
- [51] Analyzátor kvality elektrické energie SONEP PQM-702 [online] Brno: TR instruments, c2017. [cit. 19.5.2017] Dostupné z <<http://www.trinstruments.cz/pqm-702>>
- [52] Analyzátor elektrické sítě, záznamníky spotřeby energie a kvality. *Měřáky.cz* [online] Praha: Měřáky.cz, c2017 [cit. 19.5.2017] Dostupné z <<https://www.meraky.cz/Analyzatory-kvality-site/>>
- [53] Fluke 438-II - Třífázový analyzátor elektrických sítí a motorů . In *Revizeshop*. *Revizeshop.cz* [online] Stará Turá: MERCONTROL, c2017. [cit. 20.5.2017] Dostupné z <<https://www.revizeshop.cz/Fluke-438-II-Energy-Analyzer?tab=description>>
- [54] KARPÍŠEK, Z. *Matematika IV – Statistika a pravděpodobnost*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 170 stran. ISBN: 978-80-21-43380-9.
- [55] LITSCHMANNOVÁ, M. *Úvod do statistiky*. [online] Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2011. Naposledy aktualizováno: 14.1.2015. [cit. 20.4.2017] Dostupné z <http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod_do_statistiky.pdf>
- [56] Ing. Michal Touš, Ph.D. - ústní sdělení (vědecký pracovník, Sekce procesů a ekologie, FSI VUT v Brně, Technická 2, Brno) dne 18.5.2017.
- [57] Modelování a identifikace fyzikálních systémů. *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích* [online] České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, c2015. [cit. 20.5.2017] Dostupné z <<https://helpdesk.jcu.cz/konference-skoleni/modelovani-a-identifikace-fyzikalnich-systemu>>
- [58] ČSN EN 832. *Tepelné chování budov - Výpočet potřeby energie na vytápění - Obytné budovy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [59] Ing. Vítězslav Máša, Ph.D. - ústní sdělení (vědecký pracovník, Ústav procesního inženýrství, FSI VUT v Brně, Technická 2, Brno) dne 18.5.2017.
- [60] BURÝ, A. *Teorie systémů a řízení* [online] Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava , 2007. 78 s. [cit. 12.5.2017] ISBN 978-80-248-1602-9. Dostupné z <<http://homen.vsb.cz/~bur50/tar07.pdf>>

- [61] KŠICA, F. *Modelování dynamických vlastností a chování technických soustav* [online] Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 113 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Hadaš, Ph.D. [cit. 12.5.2017] Dostupné z <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/59721/DP_KSICA_2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [62] Simulation and Model-Based Design. *Mathworks* [online] Natick: MathWorks, c2017. [cit. 12.5.2017] Dostupné z <<https://www.mathworks.com/products/simulink.html>>
- Waste to Energy (W2E) Software. *Vysoké učení technické v Brně* [online] Brno: Ústav procesního inženýrství FSI VUT v Brně, c2017. [cit. 22.5.2017] Dostupné z <<http://www.upi.fme.vutbr.cz/w2e/>>
- [63] KHAN, I. *CHEMCAD as a tool when teaching Chemical Engineering*. Karlstad: Karlstads University, 2011. 51 s. Diplomová práce, Faculty of Technology and Science, Karlstad University. Vedoucí práce Lars Nilsson.
- [64] What is CHEMCAD? *Chemstations* [online] Houston: Chemstations, c2017. [cit. 22.5.2017] Dostupné z <http://www.chemstations.com/Products/What_is_CHEMCAD/>
- [65] PETR TYL, P. *Hodnocení přínosů zateplení 2: doba návratnosti* [online]. České Budějovice: INKAPO, 29.7.2016 [cit. 18.5.2017] Dostupné z <<http://www.projekty-inkapo.cz/doba-navratnosti/>>
- [66] Vnitřní výnosové procento. *Managementmania* [online]. [cit. 18.5.2017] Dostupné z <<https://managementmania.com/cs/vnitri-vynosove-procento>>
- [67] Čistá současná hodnota. *Managementmania* [online]. [cit. 18.5.2017] Dostupné z <<https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>>
- [68] HRNČÍŘ, K. *Analýza rizik projektu*. Praha: VŠE v Praze, 2007. 79 s. Diplomová práce. Fakulta podnikohospodářská, VŠE v Praze. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Hnilica, Ph.D.
- [69] BOBÁK, P., KUBA, P., LOKAJ, J. *Výchozí energetický audit prádelenského provozu*. Souhrnná zpráva ze smluvního výzkumu. Brno, NETME Centre VUT v Brně, 2013.

- [70] Ing.,Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D. - ústní sdělení (vedoucí odboru výrobních strojů, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, VUT v Brně, Technická 2, Brno) dne 24.5.2017.

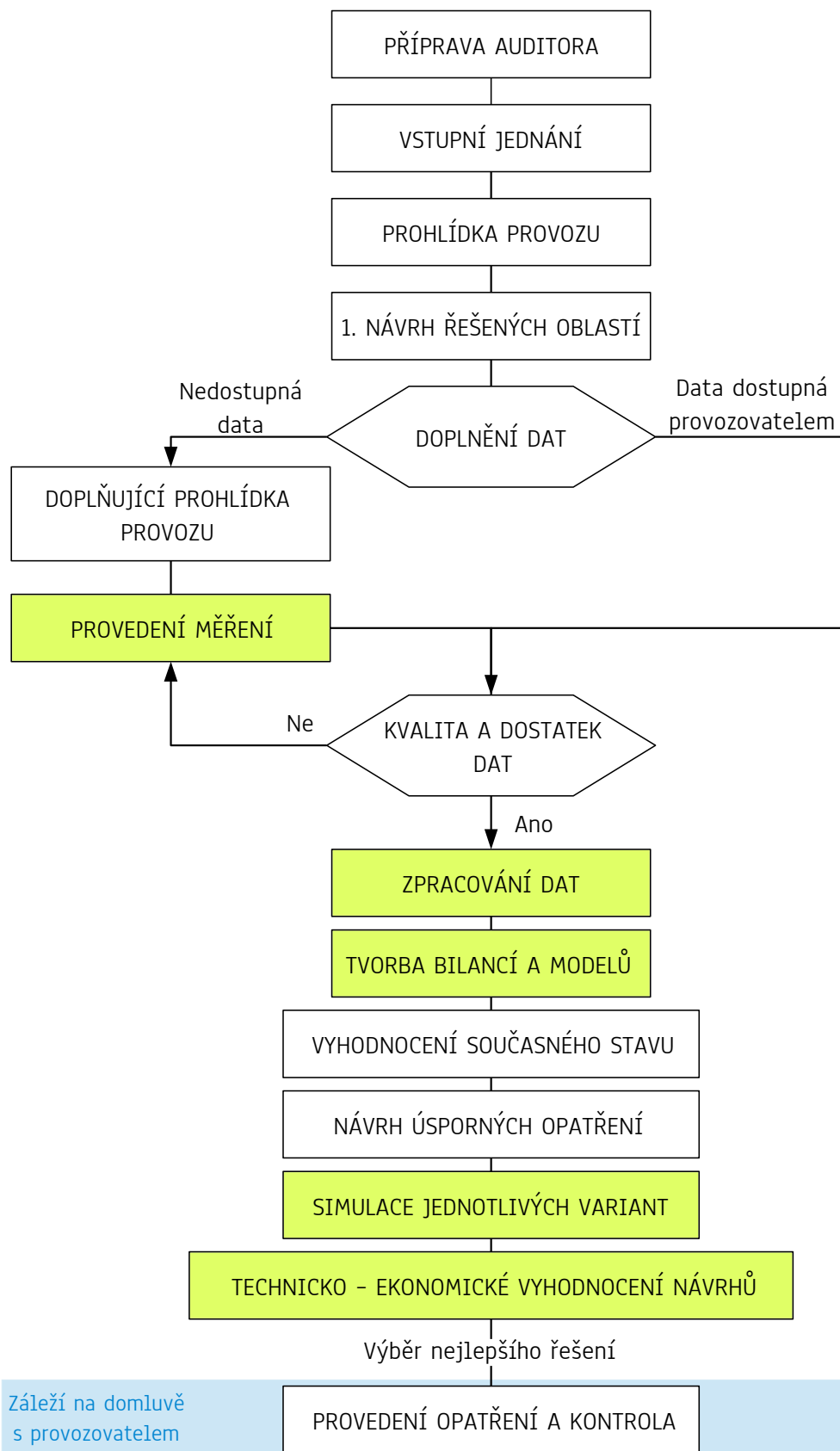
Seznam použitých symbolů a zkratk

EPC	Energy performance contracting (energetické služby se zárukou)
P&ID	Pipe and instrumentation diagram (schéma potrubí a instrumentace)
SCADA	Supervisory control and data acquisition (systém pro dohled, řízení a sběr dat)
SEI	Státní energetická inspekce
TUV	teplá užitková voda
VOC	volatile organic compound (těkavé organické látky)
VZT	vzduchotechnika a klimatizace

<i>označení</i>	<i>jednotka</i>	<i>význam</i>
c	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	měrná tepelná kapacita
CF	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	peněžní tok
CF _t	Kč	peněžní tok v jednotlivých letech
$E_{\text{H,nd}}$	MJ	potřebná energie na vytápění budovy
INV	Kč	investiční náklady
IRR	%	vnitřní výnosové procento
\dot{m}	$\text{kg}\cdot\text{hod}^{-1}$	hmotnostní průtok
NPV	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	čistá současná hodnota
PB	rok	prostá doba návratnosti
P_t	W	topný výkon zdroje
$Q_{\text{H,nd}}$	MJ	potřeba tepla pro vytápění budov
$Q_{\text{ls,tot}}$	MJ	celková tepelná ztráta otopného systému
Q_{rvd}	MJ	zpětně získané teplo
$Q_{\text{W,nd}}$	MJ	potřeba tepla na ohřev teplé vody
r	%	diskontní úroková míra
t	rok	životnost
T_{vrat}	K	teplota vratná do kotle
$T_{\text{výst}}$	K	teplota výstupu topné vody z kotle
ΔT	K	teplotní spád
\dot{V}	$\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$	objemový průtok
ρ	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	měrná hmotnost

Přílohy

Příloha 1: Vývojový diagram navrhované metodiky k provádění energetického auditu



Příloha 2: Rozvody vody, zemního plynu a zdroj páry analyzované v rámci výchozího energetického auditu

Stávající úroveň sledování spotřeb provozu je nízká. Kromě následujících fakturačních měřidel:

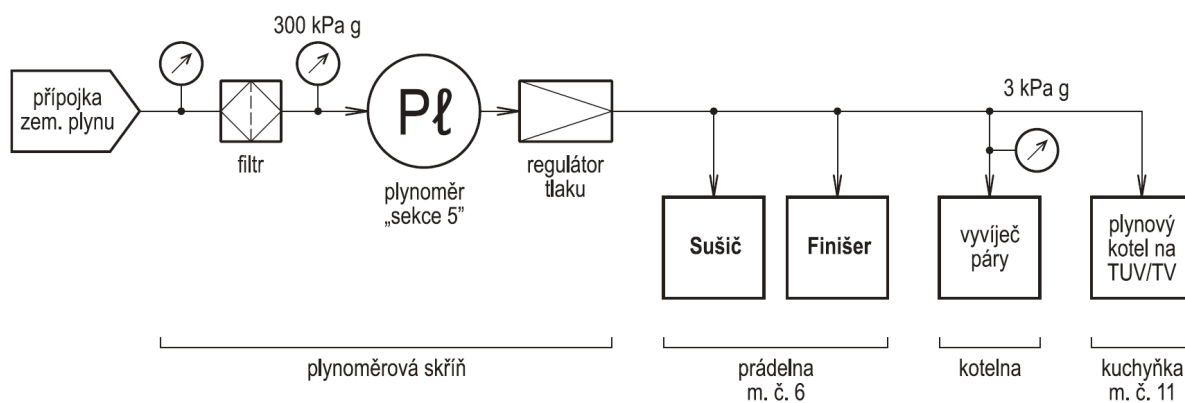
- **fakturační elektroměr „sekce 5“ (ozn. EĚ)** umístěný v elektroměrové skříni na fasádě objektu směrem do ulice, který sleduje spotřebu elektrické energie všech spotřebičů v objektu,
- **fakturační plynoměr „sekce 5“ (ozn. PĚ)** s pracovním přetlakem cca 300 kPa umístěný v plynoměrové skříni na fasádě objektu směrem do zahrady, který sleduje spotřebu zemního plynu všech spotřebičů v objektu,
- **fakturační vodoměr „sekce 5“ (ozn. V5)** umístěný v prádelně objektu za Pračkou 1, který sleduje spotřebu vody pracích strojů a úpravny vody, jež napájí vyvíječ páry,
- **fakturační vodoměr „příslušenství“ (ozn. Vp)** umístěný v úklidové místnosti objektu, který sleduje spotřebu vody pro dávkování prací chemie a zdravotně technické instalace (dále jen jako ZTI),

disponuje provozovatel navíc pouze jedním měřidlem, což je:

- **vodoměr (ozn. Vk)** umístěný v kotelně objektu, který sleduje spotřebu úpravny vody, jež napájí vyvíječ páry; tento vodoměr je podružný vodoměru V5.

Podstatné údaje o výše uvedených měřidlech jsou v příloze [P2]. Frekvence odečtů měřidel **EĚ**, **PĚ**, **V5** je jednou měsíčně (vždy ke konci měsíce) a měřidla **Vp** jednou za tři měsíce z důvodu fakturace dodavatelů. Stav vodoměru **Vk** se dlouhodobě nesleduje.

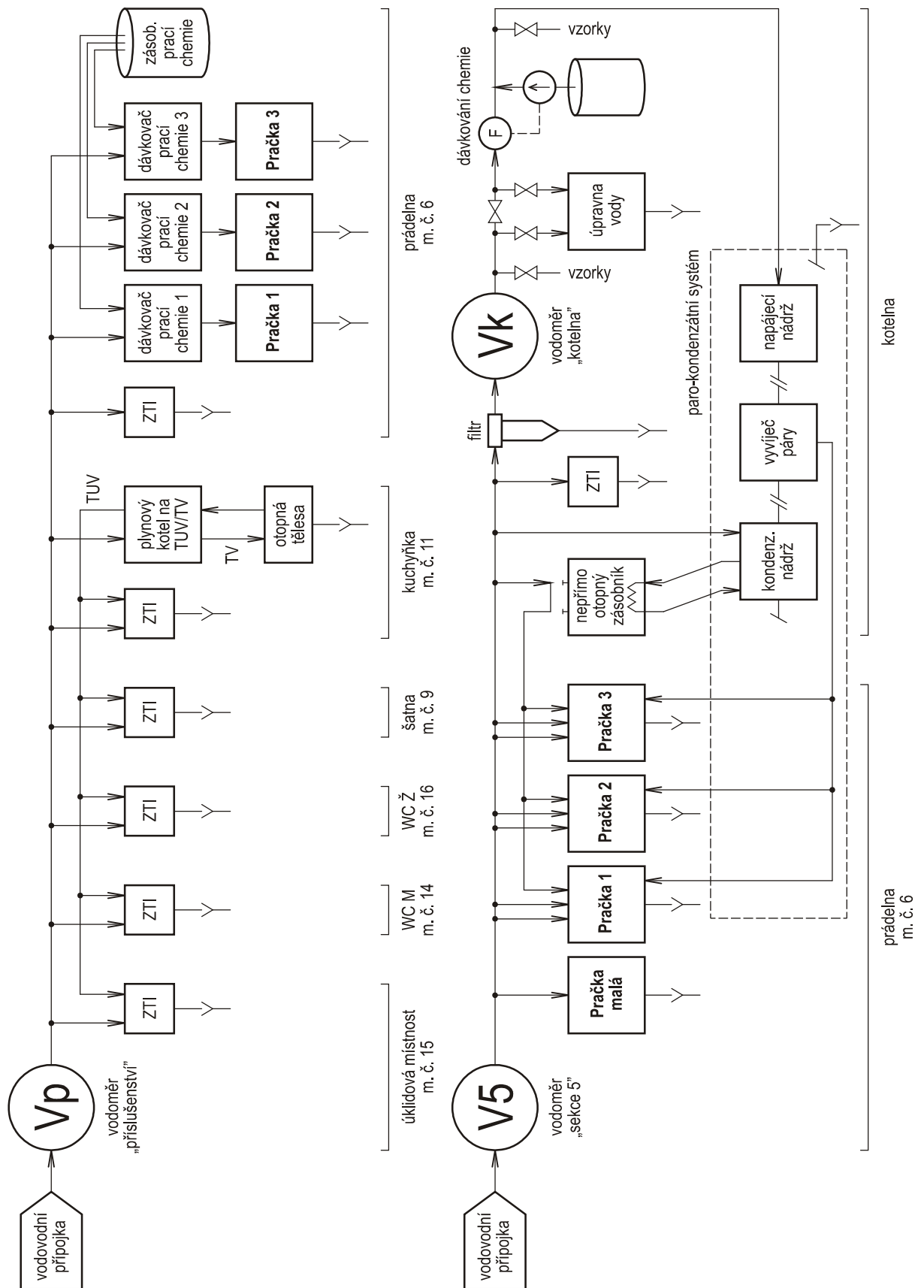
Na obr. 3 je blokové schéma plynovodu. Pracovní přetlak zemního plynu je za plynoměrem **PĚ** redukován z 300 kPa na 3 kPa, při kterém pracují všechny plynové spotřebiče v objektu.



obr. 3 – Blokové schéma plynovodu

Blokové schéma vodovodu a přidružených technologií je na obr. 4, kde je možné si povšimnout, že:

- voda pro prací stroje a úpravny vody, která napájí vyvíječ páry, se bere z větve za vodoměrem **V5**, voda pro prací stroje se neupravuje,
- voda pro splavování prací chemie se bere z větve za vodoměrem **Vp**,
- v kotelně je umístěn nepřímo otopný zásobník vody, vyhříváný vratným kondenzátem, původně určený pro předehřev prací vody, toho času je však odpojen a přívod přemostěn.



obr. 4 – Blokové schéma vodovodu a přidružených technologií

Schéma silnoproudého elektro rozvodu nebylo zpracováno, jelikož zadavatel nedodal projektovou dokumentaci a důkladná analýza rozvodu by byla časově náročná. Při zanedbání větvení rozvodu v podružných rozvaděčích by však bylo schéma triviální, jelikož se za fakturačním elektroměrem **EE** nachází veškeré elektrospotřebiče v objektu.

Pro ohřev pracích lázní se používá středotlaká pára (7 bar g, 170 °C). Řešení parokondenzátního systému, jehož jádrem je vyvíječ páry typu Certuss Junior 600, je naznačeno na obr. 4. Základní údaje o vyvíječi jsou v tab. 1. Množství vratného kondenzátu z technologie je nulové, určité množství se vrací pouze z odvodnění parního potrubí.

výrobce	Certuss
model	Junior
sériové číslo	10493
rok výroby	2001
objem vody	49 l
výkon vyvíječe páry	600 kg/h
provozní tlak	16 bar
značka schválení typu	08-316-014
rozsah teplot	0–300 °C
rozsah tlaku	0–25 bar
doba v provozu ke	21821 h

tab. 1 – Základní údaje o vyvíječi páry

Příloha 3: Záznam SCADA systému sledování tepla

17.05.2017 7:45:59						
Větev:	Žádaná:	Skutečná:	Mix:	Čerp.:		
AB budova	29.9°C	52.4°C	0.0%	●		Režim: ZIMA
Sociální budova	29.9°C	62.3°C	0.0%	●		Venkovní teplota: 18.3°C
TUV	43.0°C	40.7°C	42.3°C	6.7%	●	
Vodoměr TUV	17.05.2017 07:45:21		15216.0m3			
Soc. Budova	17.05.2017 00:00:23		16667.6GJ	137190.3m3		
Patní měňč	17.05.2017 01:03:55		9789.1GJ	74123.5m3		
Revizedokument: SRer: 347 S, \$Date: 2010-03-04 14:42:22 +0100 (Čt, 04 lře 2010) \$						

Lakovna							17.05.2017 7:46:00	
TUV	62.0°C	50.7°C	100.0%	●				
TV	0.0°C	20.5°C	20.5°C	0.0%	0.0%	● ●		
Hala ARO	15.8°C	35.0°C	21.5°C	0.0%	●			
Přístavek	17.8°C	35.0°C	21.3°C	0.0%	●			
Sklad barev	●	Garáž	●	20.7°C		LÉTO		
Nádrž lakovna	60.0°C	75.8°C	62.8°C					
	55.6°C	100.0%	0.0%					
Patní měňč	17.05.2017 07:07:01		2989.0GJ	61210.0m3				
	74.7°C	69.7°C	82000.0W	14.5m3/h				

Sahary							17.05.2017 7:46:00	
VS TUV	55.0°C	51.8°C	55.7°C	8.0%	● ●			
VS1 Expedice	0.0°C	28.3°C	0.0%	● ● ●				
VS2 Loď 4, 5	0.0°C	30.9°C	0.0%	● ●				
A1 Jižní příst.	0.0°C	23.0°C	0.0%	●				
A1/1 záp. příst.	0.0°C	22.5°C	0.0%	●				
B1 loď 1,2,3	0.0°C	19.4°C	0.0%	● ● ●				
B2 Sev příst.	0.0°C	19.5°C	0.0%	●				
C1 řezáma	0.0°C	17.5°C	0.0%	● ● ●				
C2 Hala GE	0.0°C	18.0°C	0.0%	● ● ●				
Venk./Prostor	17.5°C	20.8°C	19.9°C	21.5°C				
Pískovačka	15.0°C	21.4°C	●					
Tlak A1	1.5bar	Tlak A1/1	2.2bar	LÉTO				
Tlak přívod sahary	707.3kPa	649.5kPa	58.1kPa					
Tlak přívod administrativa	712.2kPa	649.4kPa	62.6kPa					
Měňč	78.4°C	27.5°C	51.0°C	0.0m3				
	0.0kW	212992.0m3	32236.0GJ					