



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

TECHNOLOGICKÁ ŘEŠENÍ PRO ÚSPORY ENERGIE V PRŮMYSLU

TECHNOLOGY SOLUTION FOR ENERGY SAVINGS IN INDUSTRIAL PROCESSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Antonín Cyž

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Konečná

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Antonín Cyž
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Eva Konečná
Akademický rok:	2020/21

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 bakalářské práce:

Technologická řešení pro úspory energie v průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Snižování energetické náročnosti je intenzivně řešeným tématem, v případě průmyslových provozů obzvláště. Klíčovou otázkou je vhodný výběr a zavádění úsporných opatření do provozů. Z toho důvodu je důležitá orientace v možných úsporných opatřeních a technologiích pro jejich správnou volbu pro konkrétní průmyslový proces. Cílem práce je sestavit přehled současně využívaných technických řešení (tepelné výměníky, tepelná čerpadla, izolace, akumulace apod.) pro dosažení úspor energie v průmyslových provozech.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše známých zařízení a řešení pro snižování spotřeby energie průmyslových procesech
2. Zhodnocení dostupných řešení z pohledu praktické aplikovatelnosti
3. Formulace vodítek pro správnou volbu úsporné technologie pro konkrétní typ procesu
4. Návrh možných technologických řešení pro vybraný průmyslový proces s cílem dosažení úspor energie

Seznam doporučené literatury:

MÁŠA, V. Komplexní přístup k řešení energetické efektivity objektů a procesů v průmyslové a komunální sféře: A complex approach to the energy efficiency of buildings and processes in industrial and municipal areas : zkrácená verze habilitační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2017. ISBN 978-80-214-5504-7.

JOUHARA, H., N. KHORDEHGAH, S. ALMAHMOUD, B. DELPECH, A. CHAUHAN a S. A. TASSOU. Waste heat recovery technologies and applications. Thermal Science and Engineering Progress [online]. 2018, 2018 (vol. 6), 268-289. ISSN 24519049. Dostupné z: doi:10.1016/j.tsep.2018.04.017

WANG, R.Q., L. JIANG, Y.D. WANG a A.P. ROSKILLY. Energy saving technologies and mass-thermal network optimization for decarbonized iron and steel industry: A review. Journal of Cleaner Production [online]. 2020, 2020(vol. 274), 1-28. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.122997

HE, K. a L. WANG. A review of energy use and energy-efficient technologies for the iron and steel industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews [online]. 2017, 2017(vol. 70), 1022-1039. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2016.12.007

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

Abstrakt

Tato bakalářská práce je rešerší známých technologických řešení pro úspory energií v průmyslových procesech. První část obsahuje popis metodiky pro předběžnou analýzu spotřeb energií v podniku a jisté zákonem dané povinnosti podniků v této oblasti. Následuje popis a možné využití jednotlivých technologických zařízení. Teoretická část práce pak hodnotí a popisuje možnosti ke zvýšení energetické účinnosti průmyslové prádelny. Na závěr je pak rozebrána ekonomicko – energetická bilance konkrétního provozu včetně zhodnocení finanční návratnosti investic.

Klíčová slova

úspora energie, měřicí a regulační systémy, tepelné výměníky, kogenerační jednotka, akumulace, vytápění, chlazení

Abstract

This bachelor thesis is a search of known technological solutions for energy saving in industrial processes. The first part contains a description of the methodology for the analysis of energy consumption in the company. The first part also solves some of the statutory obligations of an energetic area in companies. Then follows a description and possible use of individual technological devices. The theoretical part of the work evaluates and describes the possibilities to increase the energy efficiency of an industrial laundry. Finally, the economic – energy balance of a specific operation is analyzed, including the evaluation of the financial return on investment.

Key words

energy savings, measuring and control systems, heat exchangers, cogeneration unit, accumulation, heating, cooling

Bibliografická citace

CYŽ, Antonín. *Technologická řešení pro úspory energie v průmyslu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131695>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství, 43 s. Vedoucí práce Eva Konečná.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucí práce a že jsem použil prameny, které cituji a jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Hranicích dne 17.5.2021

.....
Antonín Cyž

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé práce paní Ing. Evě Konečné za její odborné vedení, cenné připomínky a doporučení, které mi poskytla během vypracování bakalářské práce.

Obsah

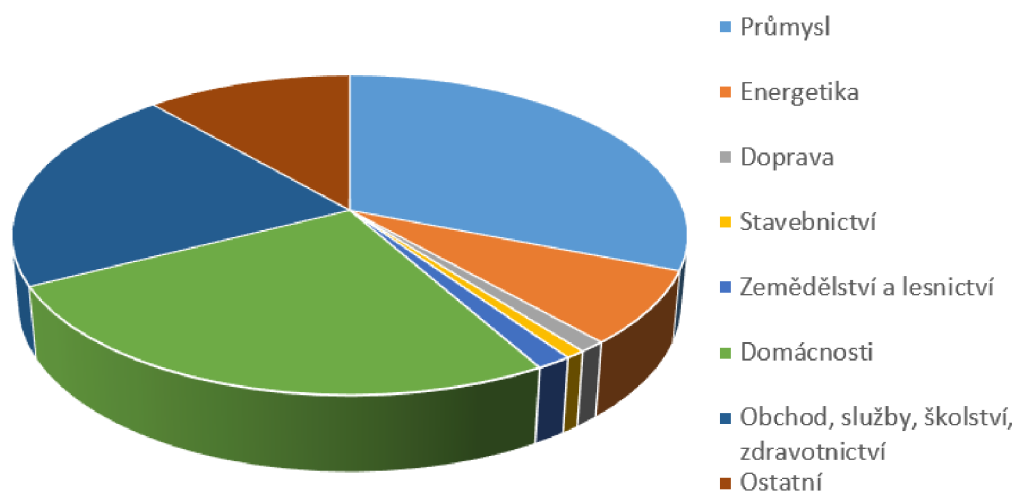
1	Úvod	9
2	Metodika efektivního postupu při řešení energetických úspor	10
2.1	Metoda celkových nákladů	13
2.2	Energetický audit	13
2.3	EPC Metoda (Energy Performance Contracting)	13
3	Technologická zařízení pro snižování spotřeby energií v průmyslových procesech	15
3.1	Měřicí a regulační systémy	15
3.2	Tepelné výměníky	17
3.2.1	Deskový výměník	18
3.2.2	Trubkový výměník	19
3.3	Průmyslové tepelné čerpadlo	20
3.4	Absorpční chlazení	21
3.5	Frekvenční měniče	22
3.6	Izolace	23
3.6.1	Druhy tepelněizolačních materiálů	25
3.7	Akumulace	25
4	Technologická řešení pro úsporu energií v průmyslové prádelně	27
4.1	Popis procesu profesní údržby prádla	27
4.2	Parokondenzátní okruh	29
4.3	Návrh vhodných technologických řešení pro úsporu energií v průmyslových prádelnách	30
4.4	Analýza spotřeb v průmyslové prádelně	32
4.5	Energeticko - ekonomická bilance	34
5	Závěr	37
6	Seznam použitých zdrojů	38
	Seznam použitých symbolů a zkratk	42
	Seznam příloh	43

1 Úvod

Téma o snižování energetické náročnosti je stále velice aktuální. Důvodem může být stále větší uvědomění lidské společnosti na dopadu vypouštění skleníkových plynů do ovzduší, ale také zvyšující se ceny energií. Vysokou cenu za energie navíc ovlivňuje i extrémní nárůst cen za emisní povolenky, které jsou spojené s ekologickou politikou Evropské unie. Zejména v domácnostech podporuje stát zvyšování energetické účinnosti prostřednictvím programu Nová zelená úsporám.

Jak je patrné na Obr. 1, průmyslové podniky jsou jeden z největších odběratelů energie a mají ve vysoké míře zájem na změně přístupu v otázce množství odebírané energie [1]. Hlavní náklady za energie a paliva tvoří výrobní zařízení, požadovaná teplota výrobního procesu a vytápění společně s chlazením výrobních prostor. Proto se mnoho technologických firem snaží vyvíjet produkty zvyšující energetickou účinnost celého výrobního procesu. Správně zvolený energetický management může efektivně monitorovat tok energií v podniku.

Spotřeba elektřiny dle sektorů národního hospodářství pro rok 2019



Obr. 1: Spotřeba elektřiny dle sektorů národního hospodářství pro rok 2019 [1]

Energetickou účinnost lze definovat jako množství energie spotřebovanou na jednotku produkce [2]. Pomocí technologických a ekonomických změn se docílí zvýšení energetické účinnosti a umožní se tak využít potenciálu investičně efektivních úspor energie ekonomicky vhodným způsobem [3].

Vhodným nástrojem pro prvotní analýzu spotřeb energií v podniku je energetický audit. Na základě vyhodnocení auditu se pak rozhoduje o vhodné implementaci technologických zařízení ve výrobním procesu.

Praktická část této práce se soustředí právě na aplikaci technologických zařízení pro určitý technologický proces, konkrétně proces profesní údržby prádla. V této kapitole se vychází z řady experimentů prováděných v Laboratoři energeticky náročných procesů na Ústavu procesního inženýrství. Cílem bylo vyhodnotit aplikaci kogenerační jednotky jako primární zdroj energie v pracovním procesu a navrhnout zařízení umožňující rekuperovat a akumulovat vzniklé odpadní teplo.

2 Metodika efektivního postupu při řešení energetických úspor

Zajištění komplexního řešení s cílem snížení energií v podniku vyžaduje jistou obecnou metodiku, která se dále individuálně modifikuje pro danou společnost či výrobní proces.

Ze zákonů termodynamiky je zřejmé, že účinnost soustavy nemůže být nikdy 100 %. Cílem ale je se tomuto číslu v rámci možností co nejvíce přiblížit. Často je tak kladena pozornost na využití odpadního tepla. Existuje ale i druhý pohled na problematiku, který nahlíží na soustavu jako objekt, do které vchází a vychází energie. Pozornost je tedy kladena na vstupní a výstupní hodnoty při různých úrovních spotřeby energie. Ne vždy je totiž udržování zařízení v chodu nutné (osvětlení hal, spuštěné motory). V některých případech je zas možné modifikovat výrobní parametry (nižší výrobní teplota, nižší dodávka stlačeného vzduchu). [2]

Proces zvyšování energetické účinnosti se neobejde bez objektivní znalosti aktuálního stavu. Stanovení aktuálního stavu je podmíněno vytvořením externí nebo interní analýzy, ve které je nezbytné prověřit:

- energetický audit
- projektovou dokumentaci
- zprávu o TZB
- protokoly z měření emisí

Předmětnou analýzu je vhodné rozdělit podle následující matice analytických činností:

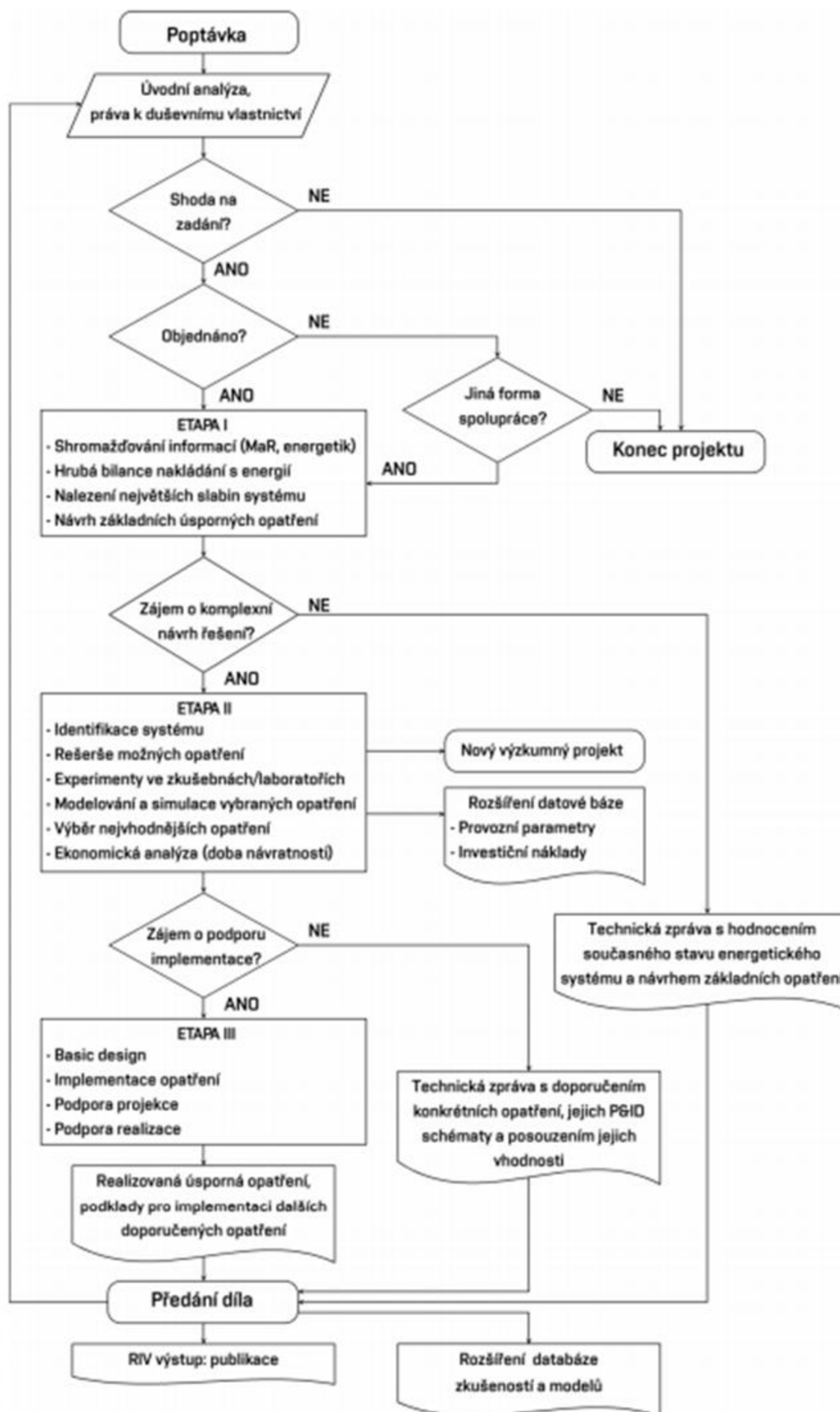
Tab 1: Matice analytických činností [2]

Fáze činnosti Systém	Výroba energie	Distribuce energie	Užití energie	Řízení systému	Ekologie
Zásobování teplem
Zásobování el. energií
Zásobování stl. vzduchem
Zásobování palivem
Zásobování chladem
Zásobování vodou

Nebývá běžné, že by naměřené hodnoty prošly matematickým modelováním či jiným náročným výpočtovým procesem. Z vysoké míry bývá kladen důraz na zkušenosti technika, který pomocí základních výpočtů zhodnotí vhodnost aplikace jednotlivých technických zařízení pro snížení energií v závislosti na ceně. Náklady na podrobnou analýzu se odvíjí od předpokládaného potenciálu úspor a velikosti podniku.

Cílem ale není vždy nahradit staré zařízení za technologicky vyspělejší (kotel, kompresor, apod.), ale optimalizovat jednotku jako celek s vědomím ekonomické a hospodárné účinnosti [2].

V případě, že se jedná o externí zakázku, ve smyslu poptávky ze strany zadavatele (průmyslový podnik, veřejný subjekt), kterou přebírá zhotovitel (podnik zabývající se energetikou), pak je dobré držet se kroků znázorněných na Obr. 2 [4].



Obr. 2: Znárodnění systematických kroků při zpracovávání projektu podle navržené metodiky [4].

2.1 Metoda celkových nákladů

Při vyhodnocování ekonomických a hospodářských opatření je potřeba brát v úvahu hospodárnou dobu životnosti zařízení, která je úzce spjatá se servisem. Hospodárná životnost končí ve chvíli, kdy náklady na servis jsou neakceptovatelné v porovnání s nákupem nového zařízení. Metoda celkových nákladů se vztahuje k výpočtovému období, které se počítá ve většině případů mezi 20 – 30 lety. Tyto náklady se dají rozdělit na investiční a obnovující a dále pak na běžné (diskontující) náklady a náklady za spotřebu energie. Do výpočtového období se započítává inflace a také vývoj cen energií a paliv. [5]

2.2 Energetický audit

Energetický audit je písemná zpráva, ve které jsou zaznamenány informace o stávajícím nebo predikovaném množství energií a energetickém hospodářství v budovách, průmyslových procesech a energetických službách. Součástí energetického auditu je také popis a určení technicky, ekologicky a ekonomicky efektivních návrhů na zvýšení úspor energie nebo zvýšení energetické účinnosti, včetně doporučení k realizaci. [6]

Zpracovávat energetický audit je povinen vlastník budovy nebo energetického hospodářství podle vyhlášky č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku v případě, že hodnota celkové spotřeby energie přesáhne 1500 GJ (417 MWh). Do energetického auditu se započítávají pouze budovy, které mají vyšší spotřebu energie než 194 MWh. Dále se audit týká dokončené výstavby nebo přestavby budov, u kterých nejsou splněny požadavky na energetickou náročnost a budov s definovanou spotřebou ve vyhlášce č. 309/2016. [7]

Energetický audit je oprávněn zpracovat energetický specialista, který musí splnit odbornou zkoušku podle nové vyhlášky č. 4/2020 Sb. o energetických specialistech [8]. Mezi auditorské společnosti v České Republice patří například Enerfis s.r.o., Porsenna o.p.s., Entech - Group s.r.o..

Důležité je také zmínit, že i když je energetický audit pro zákonem definované společnosti povinný, technologické vylepšení pro snížení energií doporučené auditem je čistě dobrovolné. Často se tak naráží na problém, kdy vlastník budovy či výrobního závodu nechce investovat do modernizačních zařízení a raději vyšší poplatky za energie zapíše do firemních nákladů. Celkově je vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku spíše koncipovaná pro stavařskou část. Tato vyhláška je opožděna před technickým vývojem zařízení pro úsporu energií v průmyslových procesech.

2.3 EPC Metoda (Energy Performance Contracting)

EPC metoda známá taky jako „Energetické služby se zárukou“, je efektivní nástroj ke snížení energií v podniku v případě nedostatku finančních prostředků. Jejím největším přínosem je financování projektů ze strany dodavatelské firmy, které se vstupní investice vrátí zpátky ve formě splátek z ušetřených výdajů za energie. Nespornou výhodou je velká motivace obou stran k dosažení co nejlepších výsledků.

EPC metoda poskytující energetické služby se uzavírá smluvně na dobu nejčastěji 4 - 10 let. Nejčastějšími žadateli EPC metody jsou instituce veřejného sektoru. Aktuálně je v ČR více

než 10 firem nabízející produkt EPC, mezi které spadá například firma Siemens, AB facility, ENESA a.s.. Jako příklad je možné uvést modernizaci technického zařízení Národního divadla v Praze. [9]



Obr. 3: Reverzní chladicí stroj Carrier využívající teplo z vltavské vody [10].

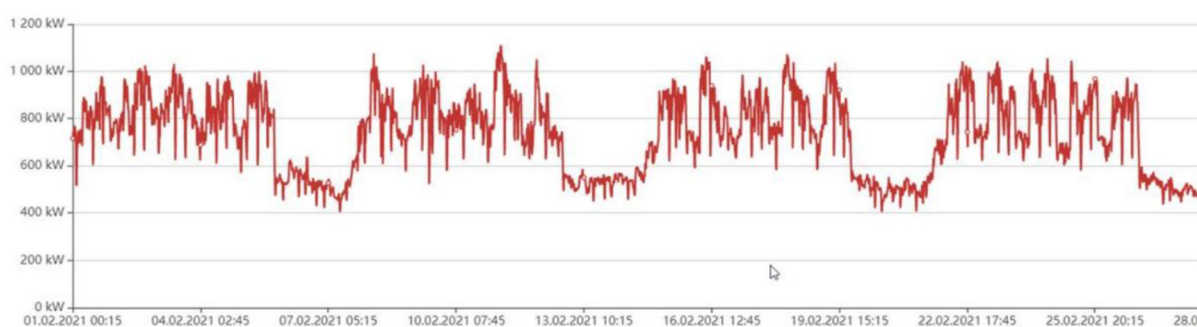
3 Technologická zařízení pro snižování spotřeby energií v průmyslových procesech

Během výrobního procesu v podniku je velká ztráta energie v důsledku odpadního tepla/chladu, škrcení plynů a par pomocí ventilů, osvětlení nevyužívaných prostor a řadě dalších faktorů. Cílem aplikace technologických zařízení je tyto ztráty potlačit, případně odpadní energie znovu využít.

V případě zájmu snížit v podniku náklady za energie, je potřeba se dívat na daný problém ze dvou úhlů pohledu. Z pohledu ekonomického a technologického. Před návrhem technických zařízení je dobré napřed optimalizovat celkové výdaje za energie. Tímto se zabývají tzv. soft metody. Na základě kvalitní analýzy provozu lze aplikovat technická řešení ve formě implementace zařízení, jako jsou tepelné výměníky, frekvenční měniče a další zařízení, které jsou uvedeny a podrobně popsány níže.

3.1 Měřicí a regulační systémy

Podniky s výrobními procesy řeší problém s výkyvy odebírané energie v době takzvaných čtvrt hodinových maxim. V tomto časovém intervalu čtvrt hodiny nesmí výrobní podnik překročit maximální sjednané množství elektrické energie. V opačném případě musí zaplatit smluvní pokutu. Tímto si distribuční společnosti zajišťují rovnoměrný odběr elektřiny. Zákazník tak neplatí jen za množství odebrané elektrické energie, ale také za nasmlouvané čtvrt hodinové maximum garantované distribuční společností. Ceny těchto tarifů lze dohledat v ceníku Energetického regulačního úřadu. Cílem měřících a regulačních systémů je optimalizovat tyto výkyvy odběru energie z hlediska nákladů dodávané energie. Na Obr. 4 lze vidět výkyvy odebrané elektrické energie v průběhu měsíce. Snahou je zploštit křivku odběrových špiček, v případě obrázku ideálně na příkon 1000 kW.



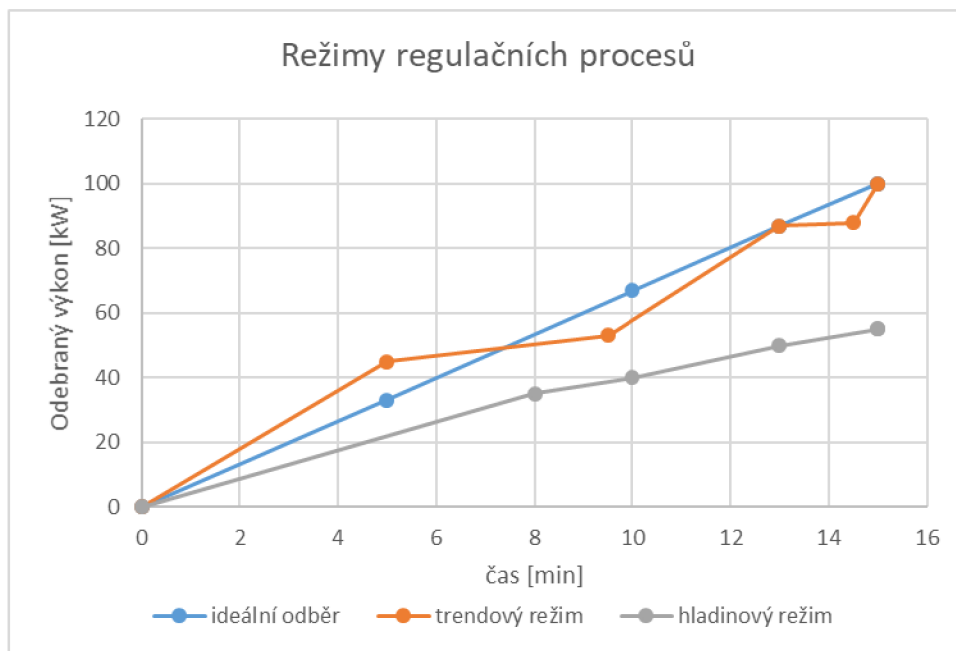
Obr. 4: Spotřeba elektrické energie výrobního automotive podniku s odlehčeným víkendovým provozem.

K efektivnímu využití nasmlouvaného příkonu a hlídání jeho překročení slouží **regulátory čtvrt hodinového maxima**. Regulační proces probíhá ve dvou základních režimech: hladinový a trendový. [11]

Hladinový režim vyhodnocuje:

- a) Odebíranou činnou elektrickou prací od začátku čtvrt hodinového intervalu. V případě dosažení nastavené hodnoty dojde k odpojení spotřebiče. Ke zpětnému připojení spotřebiče dojde až na začátku dalšího měřeného intervalu. Pořadí postupného odpojení je možné definovat podle důležitosti spotřebiče v daném procesu. [11]
- b) Střední hodnotu činného výkonu. Při poklesu výkonu pod sledovanou hladinu se stav zapojení spotřebičů vrací do původního stavu. Takové sledování může pracovat nezávisle na čtvrt hodinovém intervalu a lze ho použít jako omezovač aktuálního výkonu. [11]

Trendový režim je predikční algoritmus založen na predikci spotřeby činné elektrické energie. Tento algoritmus dopočítává spotřebu na konci regulačního intervalu a v závislosti na výsledku odpojuje a připojuje předem nadefinované spotřebiče tak, aby byla co nejméně omezena produkce. [11]



Obr. 5: Graficky znázorněné režimy regulačních procesů [11]

Jako možné pokrytí čtvrt hodinových maxim se nabízí řešení ve formě velkokapacitních bateriových akumulacních stanic. Elektřinu je tak možné akumulovat v době nižšího odběru. Takové řešení celkově zvyšuje kvalitu dodávané elektrické energie. [12]

K řešení optimalizace řízení spotřeby elektrické energie je možné také využít řadu různých IT systémů. Tyto monitorovací systémy jsou schopné efektivně cyklovat zátěž s minimálním zásahem do technologie, řízeným mikroprocesorem optimalizovat regulační režimy, efektivně navrhnout odběrový diagram a zanalyzovat předchozí odběrový diagram [11].

3.2 Tepelné výměníky

Tepelný výměník je zařízení umožňující přenos tepla mezi dvěma a více médii. Médii nemusí být vždy jen voda. Je možné docílit také výměny olej/voda využívající odpadního tepla například z kompresoru, vzduch/voda (k výměně dochází u tepelného čerpadla), nebo chladicí kapalina/voda, která má využití u chladiče. Tepelné výměníky se aplikují zejména v případech, kdy není možné přivést teplo přímo ze zdroje do spotřebiče [13]. Snahou výměníků tepla je na co nejmenším objemu mít co největší teplosměnnou plochu, přes kterou prochází teplo mezi dvěma médii. Tepelné výměníky mají široké spektrum uplatnění ať už ve strojírenských podnicích, chemických závodech, automobilech, letadlech, či rodinných domech.

Tepelný výměník je schopen dosáhnout účinnosti vyšší než 90% [14]. Rozdíl teplot mezi teplým a chladným okruhem hraje velkou roli v účinnosti. V případě velkých tepelných rozdílů přenese velký výkon i malý tepelný výměník. Naopak při nízkém teplotním spádu jsou kladeny vyšší rozměrové nároky na tepelný výměník [14]. Nejdůležitějším parametrem při sestavování ideálního výměníku je tepelný výkon \dot{Q} . Ten lze spočítat pomocí rovnice (1) [15].

$$\dot{Q} = u \cdot S \cdot \Delta T_s \quad (1)$$

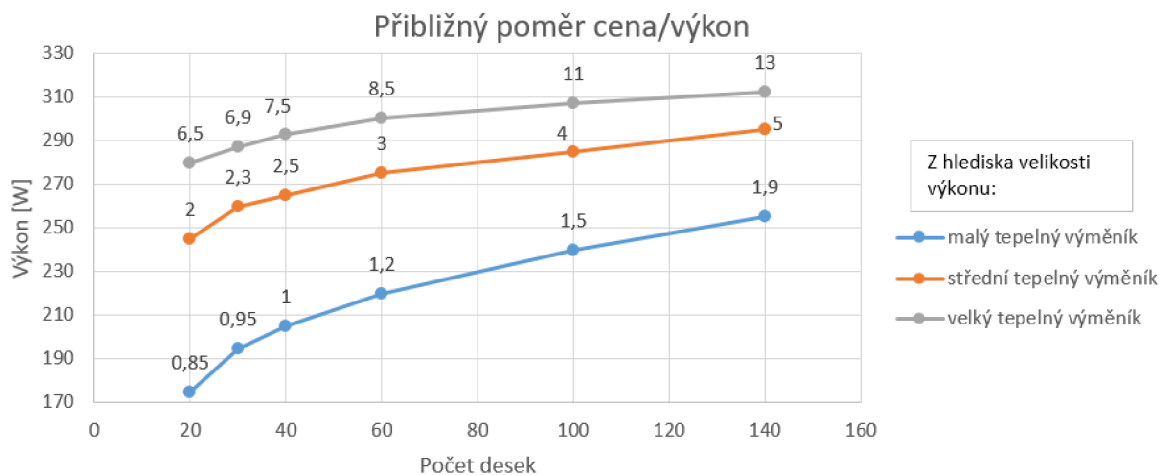
kde:

\dot{Q}	Tepelný výkon [W]
S	Teplosměnná plocha výměníku [m ²]
u	Součinitel prostupu tepla [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
ΔT_s	Střední teplotní logaritmický spád [K]

V současné době nabízí trh s tepelnými výměníky široké spektrum produktů s odlišným konstrukčním řešením a technickými parametry. Tepelné výměníky se tak dělí na deskové, trubkové, šroubové, svazkové a kotlové [16], z toho nejběžněji využívané pak jsou deskové a trubkové [13]. Mezi hlavní rozhodovací parametry při volbě tepelného výměníku se řadí:

- Tepelný výkon
- Maximální tlak
- Maximální teplota
- Maximální tlakové ztráty
- Vstupní a výstupní teploty primáru a sekundáru
- Průtok médií

Je také nutno zmínit, že čím větší je teplotní spád, tím menší jsou rozměrové požadavky na výměník. Oběhy s malým teplotním spádem tedy mohou vyžadovat násobně větší rozměry výměníků. Jako běžnou tlakovou ztrátu lze považovat 20 - 100 kPa. [13]



Obr. 6: Graf závislosti počtu desek na výkonu a ceně [14]

3.2.1 Deskový výměník

Za nespornou výhodu deskových výměníků je třeba uvést schopnost předávání tepelného výkonu, který může dosahovat až několik stovek kilowatů. V porovnání s trubkovými výměníky jsou jeho rozměry výrazně menší. Deskový výměník má i své nevýhody. Nelze použít jako integrovaný, z čehož plyne nutnost dvou čerpadel jak pro ohřívání tak i chlazené médium. To má za následek vyšší pořizovací cenu.

Standardní deskový výměník se skládá z několika za sebou uložených tenkých vrubovaných kovových desek o nejběžnější šířce 0,5 mm [14]. Jejich materiál se volí podle složení média. V případě vody se nejčastěji volí nerez. Tyto desky jsou navzájem utěsněny speciálním těsněním. Díky silnému turbulentnímu proudění se deskové výměníky nezanášejí tak často jako trubkové.

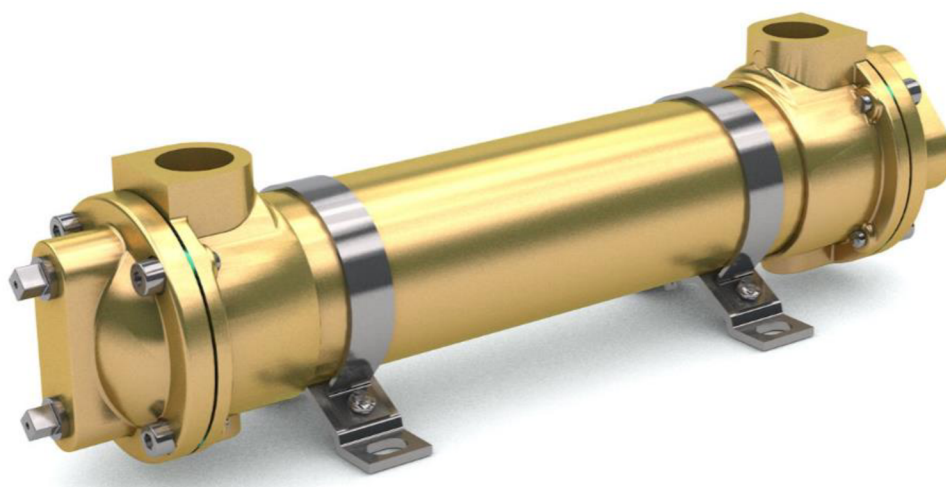
Skládané deskové výměníky jsou snadno rozebíratelné během servisu. Díky tomu je snazší údržba. Pájené deskové výměníky jsou nerozebíratelné, ale díky absenci těsnění odolávají větším teplotám a tlakům. [15]



Obr. 7: Deskový výměník od firmy alfa laval [15].

3.2.2 Trubkový výměník

Trubkové výměníky jsou jednoduchá zařízení skládající se z vnějšího pláště a vnitřních trubek. Trubkové výměníky se dělí na výměník s přímými trubkami, U-trubkami, s šroubovitě vinutými trubkami a s žebrovanými trubkami [17]. Jejich výhodou je snadnější rozebíratelnost a údržba v případě zanášení. Mezi hlavní nevýhody patří nevhodnost použití v případě malého teplotního spádu a velká přenosová plocha (velké rozměrové požadavky). Dále jsou trubkové výměníky kvůli svému konstrukčnímu řešení náchylné na teplotní dilatace. [13]

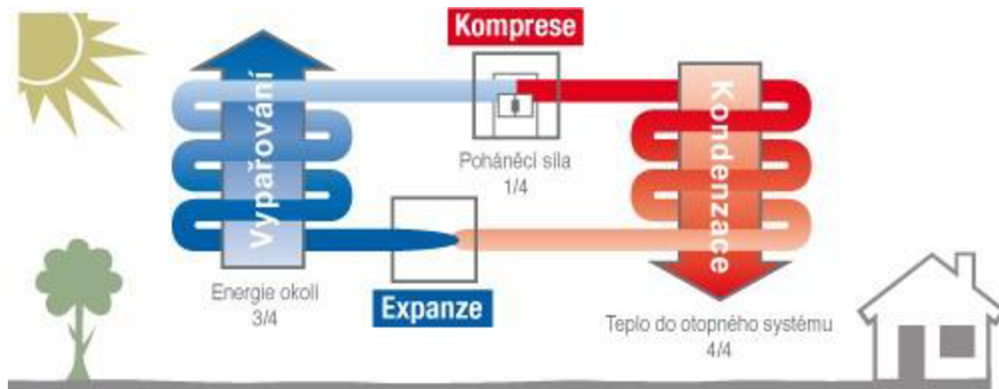


Obr. 8: Trubkový výměník tepla [18].

3.3 Průmyslové tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení, které umožňuje převést nízkopotenciální teplo k dalšímu využití. Tepelné čerpadla jsou schopné získat teplo ze vzduchu, vody, půdy. Jejich cílem je efektivně využít odpadní teplo z průmyslových výrobních procesů, ohřát užitkovou vodu, temperovat budovy.

Tato technologie pracuje na stejném principu jako chladnička akorát s opačným pracovním cyklem. Ve výparníku odebírá chladicí kapalina teplo okolnímu prostředí a vypařuje se. Toto plynné médium vchází do kompresoru, kde se stlačením zahřeje. Zahřáté chladivo předá své teplo skrze tepelný výměník ohřívavé vodě sloužící např. jako teplá užitková voda. Ochlazené a zkondenzované chladivo pak přes expanzní ventil proudí zpátky do výparníku, kde celý cyklus začíná znovu. [2]



Obr. 9: Schéma principu tepelného čerpadla [19].

Pro vhodný výběr tepelného čerpadla je nutné dobře zanalyzovat druh odpadního média.

- Jeho skupenství (vzduch, voda, jiné médium)
- Teplotní spád
- Způsob využití odpadního tepla

Některá tepelná čerpadla jsou schopna pracovat ve dvojitým režimu (topícím i chladícím), proto se často používají ve větracích a klimatizačních jednotkách vzduchotechniky. Nejčastější uplatnění této technologie má potravinářský průmysl (mlékárny, jatka), plavecké bazény, zimní stadiony, vzduchotechnika obchodních domů [2].

Mezi zařízení pracující v topícím a chladícím režimu patří také absorpční plynové tepelné čerpadlo, které z důvodu absence kompresoru je velice tiché a spolehlivé. Potřebná tepelná energie se získá spalováním zemního plynu. Technologie absorpčního plynového tepelného čerpadla je velice podobná absorpčnímu chlazení, které bude popsáno v navazující kapitole.

3.4 Absorpční chlazení

V dnešní době jsou požadovány stále větší nároky na kvalitní temperování budov. Mezi nejčastěji využívané chladicí zařízení ve vzduchotechnice patří stále kompresorové chlazení. Se stále zvyšujícími se nároky na úsporu elektrické energie přichází řešení ve formě absorpčního chlazení. Výhody a nevýhody obou variant budou rozebrány níže.

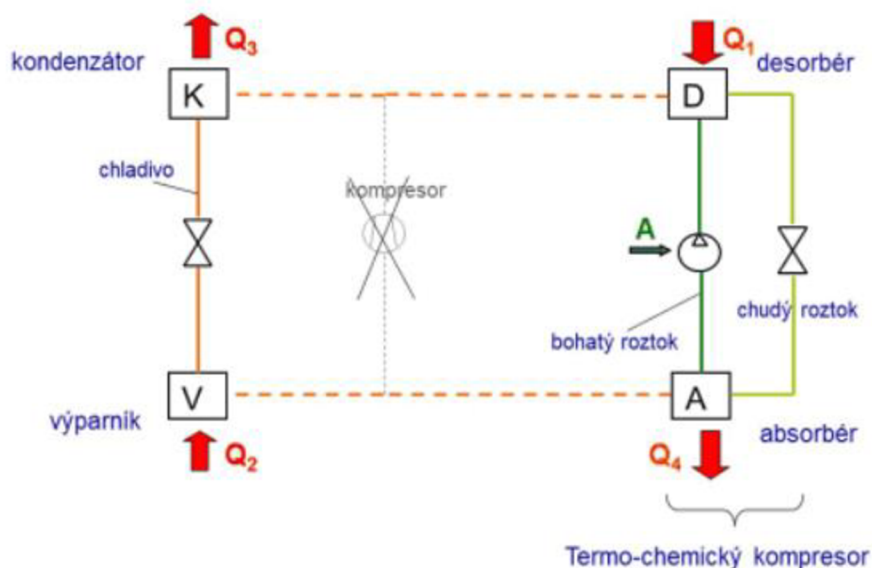
Absorpční chlazení pracuje na principu absorpčního parního cyklu, v němž pracuje dvojice látek (chladiivo – absorbent). Odebráním tepla chlazené látky se chladiivo odpaří ve výparníku. Následně se odpařené chladiivo v absorberu pohlcuje roztokem absorbentu. Takto obohacený absorbent se dopraví čerpadlem do generátoru neboli desorbéru, ve kterém se přívodem tepla chladiivo opět uvolní. [20]

Mezi nejpoužívanější dvojice patří (voda – bromid lithný), (čpavek – voda) [21]. V případě, že je potřeba dosáhnout teploty chladiiva ve výparníku pod 0 °C, je využíváno dvojice čpavek – voda. Tato dvojice ale nesmí být přítomna v obytných objektech, pouze ve vnějších prostorech kvůli přítomnosti toxického čpavku (NH₃) [22].

Absorpční chlazení se používá převážně tam, kde je velké množství odpadního tepla (průmyslová pára, spaliny kogenerační jednotky), zajišťující teplotonosnou látku která se pohybuje v rozmezí 90 – 120 °C [23].

V případě kompresorového chlazení je hnacím prvkem kompresor stlačující páry chladiiva. U absorpčního chlazení je využit tzv. „tepelný“ kompresor, využívající fázové změny chladiiva ve výparníku a kondenzátoru na základě fyzikálních vlastností chladiiva a absorbentu [20]. Tím lze dosáhnout energetických úspor až o několik desítek procent v závislosti na konkrétním případě [22]. Nevýhodou absorpčních jednotek je vysoká pořizovací cena a to až o 80 % vyšší než kompresorové chlazení. Hmotnost absorpční jednotky je až 2 krát větší oproti kompresorové jednotce a prostorové nároky jsou také o 30 % větší [20]. Jako další nevýhodou absorpční jednotky jsou vysoké požadavky na dodávku tepla.

V případě výstavby nové výrobní haly, je dobré předem promyslet řešení, jak chladit budovu zejména v letních měsících v závislosti na druhu výroby. Častým řešením v případě lehkého průmyslu, kde nedochází ve vysoké míře k tvorbě odpadního tepla, je aplikace světlíků na střeše budovy. Podnik se tak vyvaruje vysokých nákladů za chladicí zařízení.



Obr. 10: Schéma absorpčního chladicího oběhu [22].

3.5 Frekvenční měniče

Frekvenční měniče jsou zařízení, která regulují frekvenci elektrického proudu. Používají se převážně u strojů s asynchronními motory s častou změnou otáček [24]. Jejich využití je při řízeném těžkém rozběhu motoru kdy se frekvence postupně zvyšuje. Dochází tak ke snížení proudových a momentových rázů a úspoře energie (25 – 70 %), ale také k ochraně vinutí a prodloužení životnosti elektromotoru [25].

Moderní frekvenční měniče mají své postavení také v oblasti rekuperace. Postupným brzděním díky měniči je schopen dobíhající motor v případě řízeného zastavení stroje rekuperovat energii a ušetřit tak provozní náklady [25].

Mezi nákladnou komoditu v průmyslu patří stlačený vzduch. Díky frekvenčním měničům lze regulovat otáčky motoru kompresoru v závislosti na aktuální potřebě stlačeného vzduchu v pneumatických zařízeních. V případě absence frekvenčního měniče funguje kompresor v režimu odlehčeném/zatíženém, méně často se pak stlačený vzduch reguluje pomocí škrtkových ventilů, ve kterých dochází ke ztrátě energie. Aplikací frekvenčního měniče se zajistí neměnný tlak v rozvodech a navíc je umožněno instalovat menší tlakovou nádobu [26].

V případě koupě frekvenčního měniče je dobré brát v potaz jeho pořizovací cenu, která se pohybuje ve stovkách tisíc korun. V průmyslové praxi je ideální pořídit kompresor s frekvenčním měničem jako primární zdroj výroby stlačeného vzduchu. Další kompresory s absencí frekvenčního měniče by měly pokrýt výkyvy v odběru stlačeného vzduchu a ideálně by měli být navrženy tak, aby byly schopné nahradit primární kompresor v případě jeho opravy.



Obr. 11: Frekvenční měnič [24].

3.6 Izolace

Izolace rozvodů teplého média (dále jako TM) zajišťuje transport TM s co možná nejnižší tepelnou ztrátou do okolí.

Při volbě správného řešení izolace je důležité brát v úvahu:

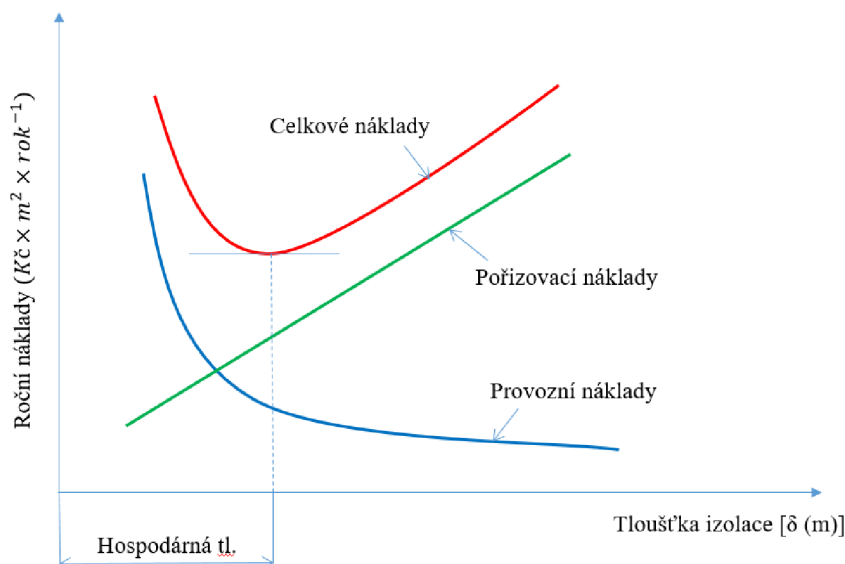
- teplotní interval mezi vnějším prostředím a teplotou rozváděného média
- prostředí, v němž se rozvody nacházejí (uvnitř budovy, vně budovy)
- náročnost na bezpečnost (ochrana před mrazem, ochrana osob před popálením)
- délku a průměr potrubí
- ekonomiku projektu (investiční náklady, návratnost, životnost)

Výrobce izolací by měl vždy uvést základní fyzikální, tepelné a protipožární parametry produktu.

Mezi důležité parametry izolace patří:

- objemová hmotnost
- teplotní odolnost
- nasákavost
- odolnost před chemickými látkami
- tepelná vodivost
- nejvyšší možná teplota na vnější straně izolace
- teplota tání
- reakce na oheň

Nebývá nezvyklé, že rozvody TM ve velkých výrobních halách či bytových komplexech jsou dlouhé a jejich izolace finančně nákladné. Je proto vhodné zvolit izolaci s **hospodárnou tloušťkou**. Tloušťka izolace není přímo úměrná vzhledem k tepelným ztrátám. Z tohoto důvodu se určuje hospodárná tloušťka jako hranice, na které je součet pořizovacích nákladů za izolaci a provozních nákladů za rozvod média nejmenší, jak je patrné na Obr. 12. [27]



Obr. 12: Obecný graf závislosti nákladů na tloušťce izolace [28].

Mezi důležité technické parametry izolace řadíme součinitel prostupu tepla často označován jako k nebo u , který vyjadřuje intenzitu přenosu tepla daným prostředím při prostupu tepla. Jelikož izolace rozvodů má nejčastěji kruhový průřez a je tvořená z více materiálu, používá se výpočet součinitele prostupu tepla podle rovnice (2) [29].

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right) \frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2 r_{i+1}}} \quad (2)$$

Tepelný tok se pak vypočítá jako součin součinitele prostupu tepla a rozdílu teplot tekutin.

$$\dot{Q} = L \cdot k \cdot \Delta T \quad (3)$$

kde:

- k Součinitel prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- α Součinitel přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- r Poloměr potrubí [m]
- λ Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- \dot{Q} Tepelný tok [W]
- L Délka potrubí [m]
- ΔT Rozdíl teplot vnější a vnitřní strany potrubí [K]

3.6.1 Druhy tepelněizolačních materiálů

Volba daného materiálu závisí na teplotě TM a prostředí, ve kterém se rozvody nacházejí. Mezi nejpoužívanější materiály patří pěněný polyetylen a minerální izolace, která se dělí na skelnou a kamennou. Dále se také používá kaučuk a polyuretanová pěna [27].

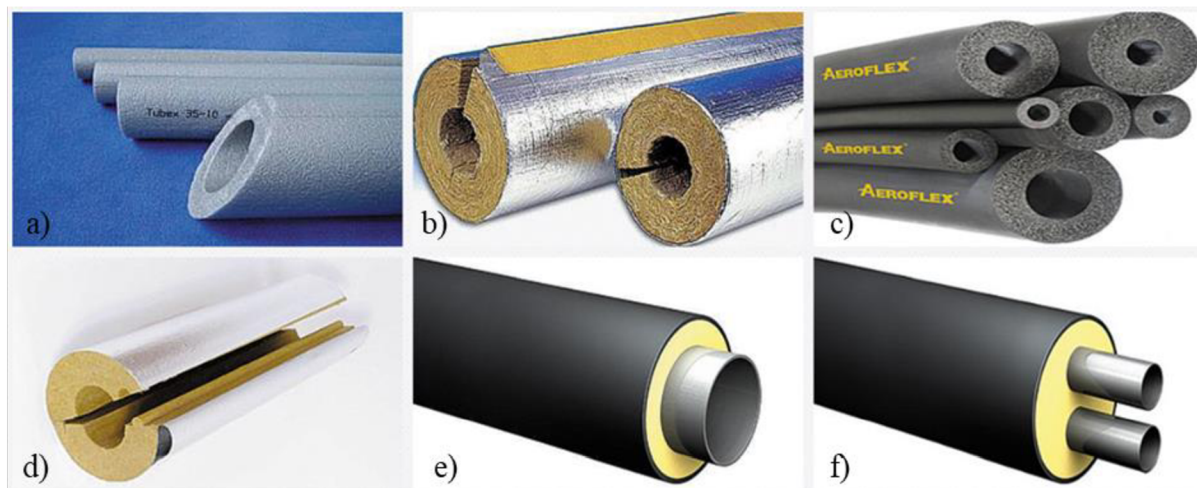
Pěněný polyetylen se vyrábí z ropy a je recyklovatelný. Patří mezi nejlevnější izolace. Jeho největší nevýhodou je velmi nízká teplotní odolnost (do + 90 °C). Pěněný polyetylen je dobře zpracovatelný a dobře se lepí. Lze dodat i s povrchovou úpravou, jako je například hliníková folie. [27]

Kamenná vlna má vysokou ochranu proti šíření plamene, vysokou odolnost proti navlhnutí a rozměrovou a tvarovou stálost za zvýšených teplot [27].

Skelná vata má obdobné vlastnosti jako kamenná vata. Navíc má skelná vata antibakteriální vlastnosti a zabraňuje šíření hub. Je chemicky neutrální a nevyvolává korozi. [27]

Syntetický kaučuk (EPDM) se vyznačuje jako materiál zabraňující difuzi vodní páry, je ohebný a má nízkou tepelnou vodivost. Materiál kaučuku je bezprašný, a tak je vhodný pro použití v prostorech se zvýšenou hygienou. Kaučuk se používá především na rozvodech ve venkovních prostorech. Uvnitř budov se používá spíš výjimečně. [27]

Polyuretanová pěna je po vakuu nejlepším tepelným izolantem a je zdravotně nezávadná. Často se používá jako foukaná izolace podkroví bytů. V průmyslové praxi je používaná spíše v menší míře. [27]



Obr. 13: a) nejpoužívanější tepelněizolační potrubí z pěněného polyetylemu, b) pouzdro z minerální vlny s ochrannou hliníkovou vrstvou, c) izolační trubka z kaučuku, d) pouzdro ze skelné vaty s hliníkovou ochrannou vrstvou, e), f) předizolované potrubí z polyuretanové pěny [27]

3.7 Akumulace

Akumulace energie je v dnešní době velké téma. Může se jednat o akumulaci energie k pozdějšímu využití, nebo čistě k dosáhnutí stability elektrizační soustavy. Jako podporu

těchto akumulčních zařízení lze využít státní dotace Nová zelená úsporám, nebo Operační program pro podnikání a inovace [30].

S čím dál větší poptávkou po kvalitní elektrické energii přichází do popředí řešení ve formě bateriových akumulčních stanic. Tyto stanice se dodávají do podniků nejčastěji v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou. Naakumulovaná elektrická energie nevykřívá pouze výkyvy v odběru energie, ale také ji je možné využít pro ohřev TUV.

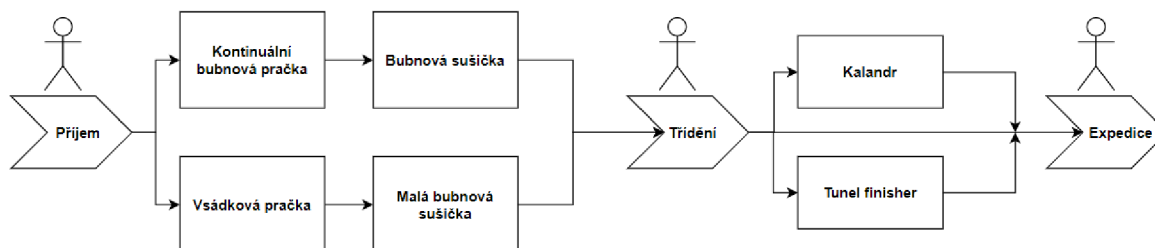
Do popředí se také dostává akumulace odpadního tepla, které vzniká ve výrobních procesech především v kompresorech a hydraulických strojích. V případě kompresoru se až 90 % elektrické energie přemění na teplo [31]. Při lisování se hydraulický olej zahřívá až na teplotu 42 °C [32]. Tato forma tepla se dále využívá pro ohřev TUV a vytápění a uskladňuje se ve formě teplotnosného média v akumulčních nádržích. Tyto nádrže mají svou izolaci zabraňující tepelným ztrátám. Mezi tradiční akumulční materiály patří voda, šterk, písek [33]. Jako vhodné teplotnosné médium lze také uvažovat termoolej. Nespornou výhodou termooleje je nízká viskozita a vysoký součinitel přestupu tepla [34].

4 Technologická řešení pro úsporu energií v průmyslové prádelně

Proces profesní údržby prádla se zařazuje mezi energeticky náročné procesy s velkou spotřebou energie a vody. Z tohoto důvodu je tento proces zajímavý pro energetickou bilanci, její optimalizaci a návrh technologických zařízení pro snížení energetické náročnosti. Tyto poznatky se modifikacemi aplikují i v dalších průmyslových odvětvích. Návrh úsporných opatření pro prádelenské provozy je dlouhodobým výzkumným záměrem Laboratoře energeticky náročných procesů v rámci NETME Centre.

4.1 Popis procesu profesní údržby prádla

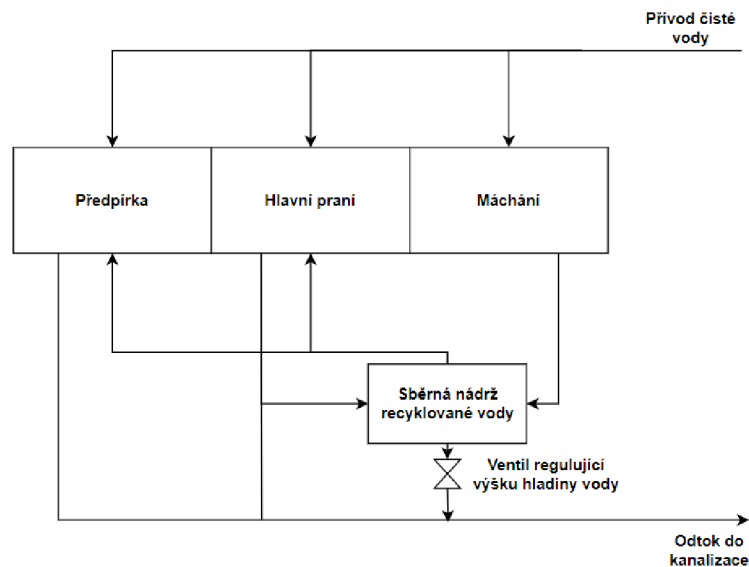
Profesní údržba prádla nespočívá pouze v praní znečištěného prádla. Celý proces je založen na maximálním uspokojení potřeb zákazníka z pohledu kvality, času a ceny vyprání. Profesní údržba prádla se skládá z praní, sušení, žehlení a často i dopravy prádla a drobných oprav. Oproti běžné domácnosti se zpracování prádla v průmyslové prádelně liší v objemu přijímaného prádla, dále pak v požadavcích na kvalitu a energetických a časových nárocích.



Obr. 14: Schéma toku prádla procesem profesní údržby prádla [35]

Průmyslové prádelny perou prádlo z nemocnic, ubytovacích zařízení, restaurací a dalších velkých institucí. To obnáší zpracování prádla ve velkém množství najednou. Proto je nejpoužívanějším pracím zařízením kontinuální bubnová pračka.

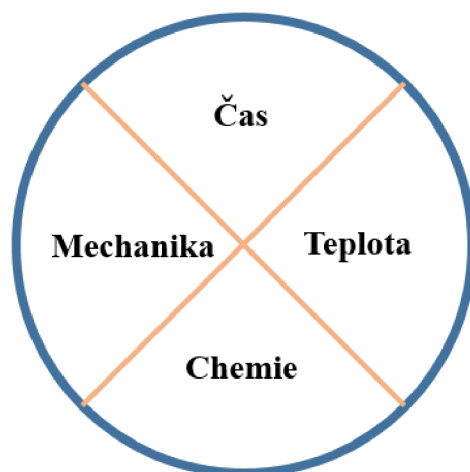
Kontinuální bubnová pračka je velkokapacitní pračka rozdělena do několika komor a sekcí. Mezi hlavní sekce patří předpírka, do které se přidávají prací prostředky sloužící k zbavení nejvíce nečistot z prádla. Takto znečištěná voda již nelze dále použít. Následuje hlavní praní a jako poslední sekce je máchání, ve kterém se prádlo mechanicky zbaví části vlhkosti na základě tlakové nebo odstředivé síly. Vodu ze sekce máchání lze recyklovat a znovu použít jako napájecí vodu pro sekci předpírky jak je znázorněno na Obr. 15. Vodu z hlavní prací sekce lze takto recyklovat v případě, že je eliminováno riziko infikování (zdravotnický oděv a lůžkoviny) prádla v sekci předpírky. Voda přivedená do bubnové pračky musí být měkká. Z tohoto důvodu řeší prádelny často problém s úpravou tvrdé vody, která obsahuje řadu anorganických sloučenin zejména pak uhličitan vápenatý, který následně vytváří na stěnách bubnu vodní kámen [36]. Problém s tvrdou vodou lze vyřešit pomocí speciálních změkčovačů vody. [35]



Obr. 15: Schéma toku vody v kontinuální bubnové pračce [35]

Z energetického hlediska je několik možností jak vytvořit teplo v pracím procesu. Prací médium uvnitř pracího bubnu je možné ohřát pomocí páry vytvořené v parním kotli nebo parním vyvíječi. Dále pak čistě pomocí ohřevu teplé vody vstupující do bubnu pračky. V závislosti na velikosti prádelny a počtu zařízení má pak buď každé zařízení svůj vlastní ohřev, nebo je instalován jeden centrální. Nejběžnější ohřev je centrální parní. [35]

Účinnost pracího cyklu lze definovat jako podíl množství vypraného prádla a času. Mezi základní faktory v pracím procesu patří teplota, čas, mechanika a chemie. Vzájemná propojenost těchto složek bývá často znázorněna v tzv. Sinnerově diagramu. Tento diagram poukazuje na fakt, že pokud se zvětší jeden z faktorů, musí se ostatní faktory zmenšit.



Obr. 16: Sinnerův diagram [37]

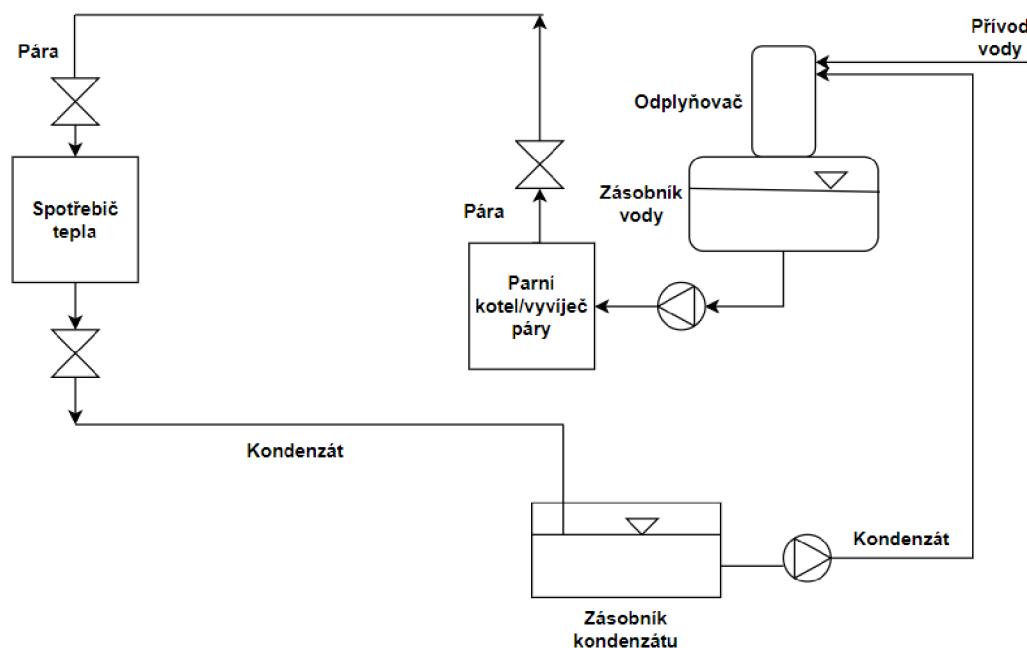
Bubnová sušička je dalším vysoce energeticky náročným zařízením v průmyslové prádelně. Tepelná energie se do bubnu sušičky přivádí nejčastěji ve formě páry. Přivedené teplo se z drtivé většiny využije k odpaření vlhkosti z prádla a to množstvím energie přibližně 2500 kJ na litr odpařené vody v závislosti na materiálu sušeného prádla [35]. Oproti tomu je

potřeba energie na ohřev sušeného prádla pouze okolo 75 kJ na kilogram prádla ohřátého o 60 °C [35].

4.2 Parokondenzátní okruh

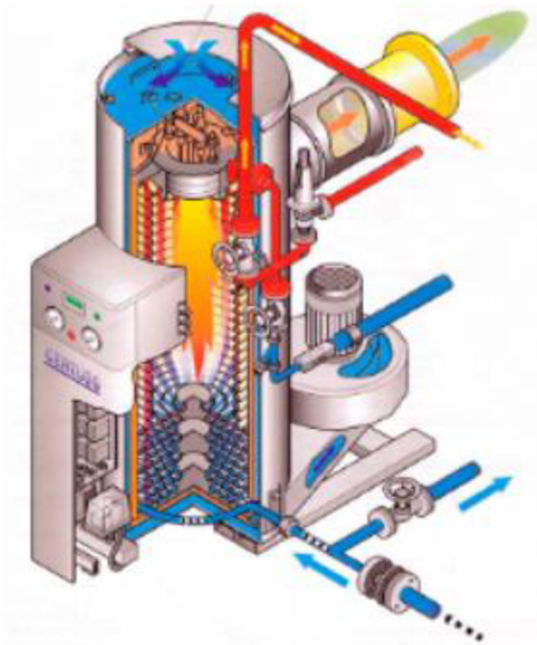
V průmyslových prádelnách slouží vysokotlaká pára jako ohřev prací lázně, ale také v dalších následných operacích jako je sušení, kalandrování a dokončovací operace. Aby dodávka páry byla co nejvíc kontinuální a efektivní, je zapotřebí důmyslně sestavit parokondenzátní okruh.

Celková koncepce parokondenzátního okruhu se skládá ze čtyř základních částí: zdroje páry, rozvodného potrubí páry, parního spotřebiče a kondenzátního potrubí pro vrácení kondenzátu do zdroje páry. [38]



Obr. 17: Schéma parokondenzátního okruhu [39]

Zdrojem páry může být parní kotel nebo parní vyvíječ. Princip fungování parního vyvíječe má oproti parnímu kotli svá specifika. Tělo parního vyvíječe je tvořeno šroubovitě vinutým potrubím, které je vedené ve směru proudu spalin hořáku. Proud spalin proudí mezi pláštěm vyvíječe a šroubovitě vinutým potrubím a ohřívá v ní vodu, která se mění v páru. V potrubí se nachází malé množství vody, a tak celý náběh procesu výroby páry je za studeného stavu daleko rychlejší než jak tomu bývá u parního kotle. [38]



Obr. 18: Vyvíječ páry od firmy Certuss [40].

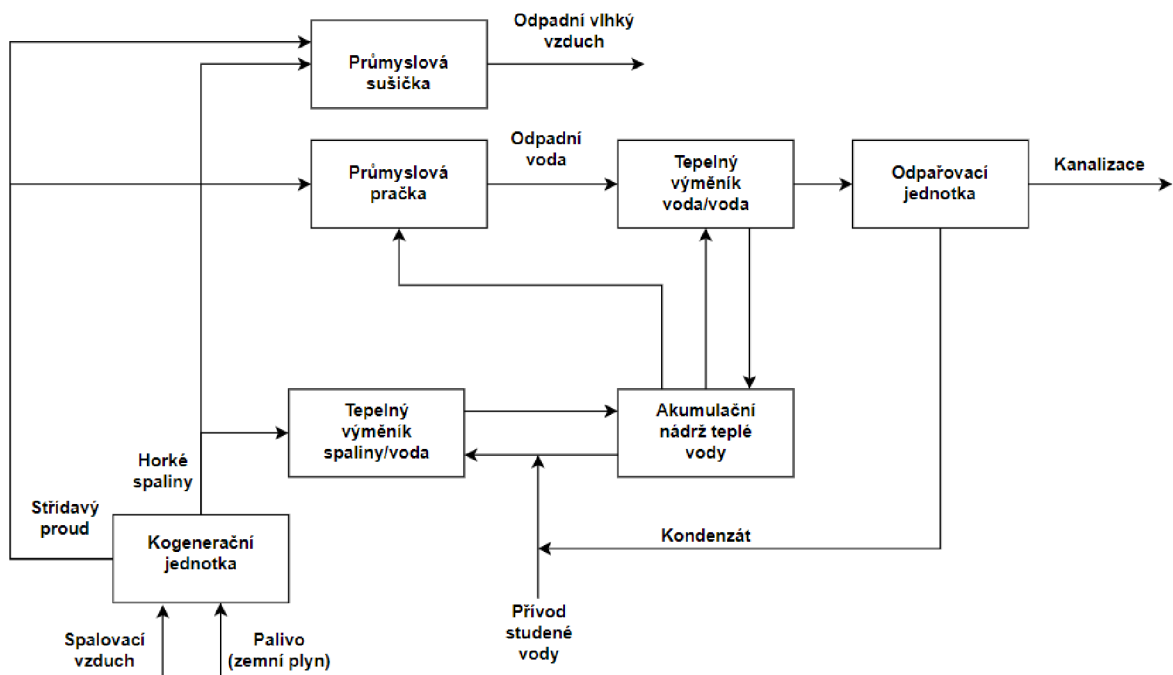
Konstrukce parního kotle je v porovnání s vyvíječem páry jednodušší. Jedná se o tlakovou nádobu naplněnou vodou, které se dodává teplo spalováním fosilních paliv nebo pomocí elektrické energie. Z takto zahřáté vody vzniká pára, která je využita parním zařízením nebo pro ohřev TUV.

Při návrhu potrubí je důležité klást důraz na mechanické odstranění kapek vody separátorem a odvodnění kondenzátu z potrubí. V případě zaplavení celého průřezu potrubí kondenzátem vznikne vodní zátka a v místech změny proudění pak dochází k tzv. vodním rázům. Nejběžnější místa, ve kterých dochází k hromadění kondenzátu a kde je tak nutné provést odvodnění jsou: uzavírací a regulační ventily a paty stoupaček. [38]

Při provozu parních zařízení dochází k vylučování parního kondenzátu, který je vhodný pro znovupoužití jako napájecí voda ve vyvíječi páry. Takto čistý kondenzát lze získat například odvodem parního kondenzátu z parního potrubí díky odvaděči kondenzátu. Při pracích procesech přichází parní kondenzát do styku s různými pracovními materiály. Takto znečištěná odpadní voda o určité teplotě může před vstupem do kanalizace projít odpařovací jednotkou, ve které se dá část odpadní vody odpařit na vodu čistou, která pak putuje spolu s parním kondenzátem zpátky do vyvíječe páry.

4.3 Návrh vhodných technologických řešení pro úsporu energií v průmyslových prádelnách

Předchozí kapitoly 4.1 a 4.2 obecně popisovaly prádelenský proces. V této kapitole budou popsána technologická řešení snižující spotřeby energií. Jeden z hlavních bodů bude rozbor vhodnosti využití kogenerační jednotky jakožto zdroje elektrické a tepelné energie v prádelenském průmyslu, což zatím v průmyslové praxi není zdaleka běžné.



Obr. 19: Návrh možných úsporných opatření pro prádelenský proces

Kogenerační jednotka: Využitím kogenerační jednotky se dá ušetřit za vstupní média jako je elektrina a palivo. Kogenerační jednotka využívá jako vstupní médium plynná (zemní plyn, bioplyn), kapalná (nafta, bionafta, letecký petrolej), nebo pevná paliva [41], jejímž spalováním vyrobí díky plynové turbíně elektrickou energii a zároveň odpadní teplo. Odpadní teplo ve formě horkých spalin vycházejících z turbíny je možné rekuperovat pomocí tepelného výměníku spaliny/voda. Dalším možným využitím je přímý vstup horkých spalin do bubnu sušiče. Díky vysoké teplotě vstupujících spalin je možné odpařit vlhkost ze sušeného prádla.

Tepelný výměník: Odpadním teplem z kogenerační jednotky lze skrze tepelný výměník (spaliny/voda) ohřát vodu potřebnou v pracím procesu. Takto rekuperovaná teplá voda se uskládá v akumulaci nádrži, ve které je připravena na další použití. Tímto ohřevem je ušetřeno za přehřev vody vstupující do vyvíječe páry, nebo přímo do bubnu pracího zařízení. Další uplatnění tepelného výměníku je v případě využití teplé odpadní vody vytékající z bubnu pracího zařízení. Zde je vhodný deskový skládaný výměník vzhledem k nízkým tlakům média, rozměrům a dobré rozebíratelnosti vzhledem k častému zanášení.

Izolace: Vzhledem k velkému počtu rozvodů TM je vhodné navrhnout správnou hospodárnou tloušťku izolace. Tím se docílí jednak snížení tepelných ztrát, ale také přehřívání budovy.

Chlazení/vytápění budovy: Jelikož odpadního tepla je v procesu profesní údržby prádla dostatek, stojí za zvážení aplikace absorpčního chlazení. Dále je zde také předpoklad, že tyto produkční procesy vytopí svým odpadním teplem budovu i při nízkých venkovních teplotách, tudíž náklady na její vytápění v zimě jsou minimální. Administrativní část s příjmem a výdejem zboží je možné vytopit TUV ohřátou pomocí tepelných výměníků.

Softwarové optimalizace: Nedílnou součástí pracího cyklu je správné navržení pracích programů. Pomocí chytrých počítačových softwarů je v dnešní době možné správně

nadefinovat program podle typu a objemu praného materiálu. Lze tak upravit otáčky bubny, množství přivedené vody, páry a pracích chemikálií v závislosti na materiálu a znečištění.

4.4 Analýza spotřeb v průmyslové prádelně

Následující analýza naměřených dat probíhala za účelem vyhodnocení ekonomické a energetické udržitelnosti navržených opatření pro úsporu energií. Jedná se primárně o zhodnocení kogenerační jednotky jako primárního energetického zdroje a také aplikaci tepelných výměníků. Veškeré výpočty pak jsou uvedené v příloze 1.

Jako první zde bude rozebráno měření kogenerační jednotky, ve kterém je kladena pozornost zejména na reálný výkon, teplotu spalin a spotřebu plynu.

Tab. 2: Naměřené hodnoty při ustáleném teoretickém výkonu 30kW [42]

Výkon [kW] - reálný	22,92
Teplota spalin na výstupu z turbíny [°C] – měřeno přesnějším platinovým teploměrem	307,6
Spotřeba plynu [m ³]	3,8
Čas [s]	1100
Průměrná spotřeba plynu [m ³ ·hod ⁻¹]	12,44
Diferenční tlak [Pa]	13,77
Hustota spalin [kg·m ⁻³]	0,53
Rychlost proudění spalin [m·s ⁻¹]	6,87
Objemový průtok spalin [m ³ ·s ⁻¹]	0,49
Hmotnostní průtok spalin [kg·s ⁻¹]	0,28
Příkon [kW]	117,75
Účinnost [%]	19,46

Tímto měřením byl zjištěn elektrický výkon 22,9 kW. K zvýšení účinnosti je zapotřebí využít také tepelnou energii obsaženou ve spalinách, kterou je možné rekuperovat pomocí tepelného výměníku spalin/voda nebo přímo využít v sušiči Primus DX55.

Pro výpočet teoretického tepelného výkonu spalin je zapotřebí určit hodnotu rosného bodu spalin zemního plynu. Tato hodnota je minimální možnou teplotou vycházející z tepelného výměníku spaliny/voda, protože při nižších teplotách dochází k nežádoucí kondenzaci, která zapříčiňuje následnou korozi. Hodnota rosného bodu se odvíjí od množství CO₂, SO₂ a NO_x oxidů, dusíku, kyslíku a především vodní páry obsažené ve spalinách. Teplota rosného bodu byla stanovena na 31,9 °C. [42]

Tepelný výkon spalin lze spočítat pomocí rovnic (4) a (5):

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1 - t_2) \quad (4)$$

$$\dot{Q} = 0,283 \cdot 1015,43 \cdot (307,6 - 31,9) = 79,23 \text{ kW} \quad (5)$$

kde:

- \dot{Q} Tepelný výkon spalin [kW]
- \dot{m}_1 Hmotnostní průtok spalin [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
- c_{p1} Střední měrná tepelná kapacita spalin [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] [43]
- t_1 Teplota spalin na výstupu z turbíny [$^{\circ}\text{C}$]
- t_2 Teplota rosného bodu [$^{\circ}\text{C}$]

Pro výpočet tepelného výkonu spalinového výměníku byly naměřeny vstupní parametry spalin a vody. Voda vstupující do výměníku je předehřátá z důvodů zamezení kondenzace horkých spalin vstupujících do výměníků.

Tab. 3: Vstupní parametry vody [44]

Hmotnostní průtok vody [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,09
Vstupní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	40,8
Výstupní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	53,1

Tab. 4: Vstupní parametry spalin [44]

Hmotnostní průtok spalin [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,27
Vstupní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	294,6

Tab. 5: Technické parametry spalinového výměníku [44]

Celková teplosměnná plocha [m^2]	4,2
Součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	76,3

Pro určení teploty spalin na výstupu z výměníku byla použita rovnice tepelné bilance. Teplota spalin na výstupu byla vypočtena na $96,36^{\circ}\text{C}$.

Pro spočítaný tepelný výkon a změřený hmotnostní průtok spalin je možné uvažovat jako jednu z možností spalinový tepelný výměník s protiproudým zapojením od firmy Vakading spol. s.r.o. typu VAKVALAS 360x425-8-Ž-6 pass. Technické parametry jsou uvedené v tab 5. [44]

Pomocí rovnice (6) pak lze spočítat tepelný výkon spalinového výměníku.

$$\dot{Q} = u \cdot S \cdot \Delta T_s \quad (6)$$

$$\Delta T_s = \frac{(t_{11} - t_{22}) - (t_{12} - t_{21})}{\ln \frac{(t_{11} - t_{22})}{(t_{12} - t_{21})}} = \frac{(294,6 - 53,1) - (96,4 - 40,8)}{\ln \frac{(294,6 - 53,1)}{(96,4 - 40,8)}} = 126,5^{\circ}\text{C} \quad (7)$$

$$\dot{Q} = 76,3 \cdot 4,2 \cdot 126,5 = 40,6 \text{ kW} \quad (8)$$

kde:

\dot{Q}	Tepelný výkon [W]
t_{11}	Vstupní teplota spalin do výměníku [°C]
t_{12}	Výstupní teplota spalin z výměníku [°C]
t_{21}	Vstupní teplota vody do výměníku [°C]
t_{22}	Výstupní teplota vody z výměníku [°C]
u	Součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
S	Celková teplosměnná plocha [m^2]
ΔT_s	Střední teplotní logaritmičeský spád [K]

Jako další možný způsob využití odpadního tepla se nabízí rekuperace odpadní vody z průmyslové pračky.

Pro posouzení vhodnosti zapojení tepelného výměníku voda/voda bylo zapotřebí získat data teplot odpadní vody z jednotlivých pracích sekcí. Měření bylo provedeno na průmyslové vsádkové pračce Primus FX 240. Krok 1 popisuje předpírku. Krok 2 a 3 znázorňuje hlavní praní a kroky 4 a 5 máchání. Krok 6 je pak finální odstředění. [45]

Tab. 6: Hmotnost a teplota odpadní vody proudící do kanalizace [45]

Krok	Hmotnost [kg]	Teplota [°C]
1	43,3	56,6
2	66,8	82,4
3	54,9	57
4	69,4	30,3
5	69,9	20,2
6	79,1	16,9

Za předpokladu, že odpadní voda ze sekce máchání a odstředění bude znovu použita v předchozích sekcích předpírky a hlavního praní, bude počítáno pouze s odtokem vody z kroku 1,2 a 3. Celková hmotnost odpadní vody jdoucí na kanál je 165 kg s průměrnou teplotou 67,18 °C. Průměrná teplota odpadní vody je dostatečně vysoká ke zvažování zakoupení tepelného výměníku voda/voda a využití tak tepelného potenciálu pro ohřev vody v pracím procesu.

4.5 Energeticko - ekonomická bilance

V této kapitole bude zhodnoceno využití zejména kogenerační jednotky, která zatím není v průmyslových prádelnách běžná a dále využití tepelných výměníků. U nákladů za elektrickou energii a zemního plynu se v práci vycházelo z průměrných cen na trhu. Cena za jednu kilowatthodinu se tak uvažuje na 4,83 Kč a cena za 1 m³ zemního plynu na 6,42 Kč [46].

Při počítání ekonomické návratnosti energetických zařízení byl uvažován provoz 250 dní v roce po osmihodinových směnách s maximálním teoretickým výkonem turbíny 30 kW v kogenerační jednotce.

Jako pokrytí provozu mikroturbínou je uvažováno zajištění elektrické energie pro veškerá zařízení a tepelné energie pro sušič DX55 sušící prádlo pomocí horkých spalin

z mikroturbíny. Průměrná délka pracího cyklu (elektrický ohřev) je 1,97 hodiny [47]. Ve výpočtu spotřeb se tak vychází z předpokladu, že během jedné pracovní směny je možné teoreticky provést 4 prací cykly, ale vzhledem k nutnosti prádlo i usušit v rámci stejné směny se počítá s dvěma pracími cykly u každé pračky. Sušiče se spustí po dokončení prvního pracího cyklu a skončí hodinu před koncem směny, aby žehliče stihly prádlo vysušit. Dále se pak předpokládá s prací žehliče I 33 (G) 5 hodin za pracovní směnu.

Tab. 7: Zapojení a spotřeby zařízení v laboratoři [48]

Zařízení	El. pohony		Ohřev	
	Elektrina	Elektrina	Zemní plyn	Spaliny z mikroturbíny
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Pračky				
FX 240 (E+S)	1,2	13,65		
FX 240 (E+S)	1,2	13,65		
FX 180 (E+S)	1,2	10,24		
FX 180 (E+S)	1,2	10,24		
Sušiče				
DX55 [44]	2,2			27,23
T 24 (G)	0,8		33	
T 24 (S)	0,8			
Žehliče				
I 33 (G)	0,26		23	

Tab. 8: Celkové spotřeby energií zařízení za jednu pracovní směnu

Elektrická energie [kWh]	Tepelná energie [kWh]
227,6	257,4

Tab. 9: Množství vyrobené energie mikroturbínou Capstone C30 za jednu pracovní směnu

Množství vyrobené elektrické energie mikroturbínou za jednu pracovní směnu [kWh]	Množství vyrobené tepelné energie mikroturbínou za jednu pracovní směnu [kWh]
183,2	633,8

Z Tab. 8 a Tab. 9 vyplývá, že množství vyrobené elektrické energie nepokryje spotřebu prádelenského zařízení. Je ale nutné zmínit, že tento výpočet celkových spotřeb elektrické energie je velmi orientační. Výpočet nezahrnuje možnost využití naakumulované teplé vody, která snižuje dobu a energetickou náročnost ohřevu. Dále se v práci počítá s kontinuálním ohřevem vody po celou dobu praní, což neodpovídá skutečnému provozu. Skutečný provoz ohřívá vodu jen v určitých pracích krocích, kdy například během kroku odstředění není důvod k ohřevu. V práci také není řešen vliv materiálu praného prádla a možnost volby pracího režimu s odlišnými tepelnými požadavky. Lze tedy předpokládat, že při mírné modifikaci pracího procesu by bylo možné dosáhnout plného pokrytí elektrickou energií skrze zmiňovanou kogenerační jednotku Capstone C30.

Proud spalin plně pokryje tepelnou spotřebu sušiče řady DX55. Vzhledem k chodu sušiče 5 hodin během pracovní směny je možné v rámci zbylých 3 hodin pustit spaliny do spalinového výměníku. Díky spalinovému výměníku je tak možné tepelnou energii spalin rekuperovat a následně akumulovat ve formě teplé vody.

Výkonnější model Capstone C65 je schopný pokrýt elektrickou energii celý prádelenský proces a zbylou elektrickou energii je možné využít pro napájení a osvětlení kancelářských prostor a zázemí provozu.

Tab. 10: Ekonomická bilance mikroturbíny Capstone C30 společně se spalinovým výměníkem

Elektrický výkon mikroturbíny	22,9	[kW]
Tepelný výkon mikroturbíny	79,23	[kW]
Průměrná spotřeba plynu	12,44	[m ³ /hod]
Cena mikroturbíny + výměník spalin/voda	cca 2 000 000 [42]	[Kč]
Počet hodin v provozu	2000	[hod]
Cena elektřiny z distribuční sítě	4,83	[Kč/kWh]
Cena plynu z distribuční sítě	6,42	[Kč/m ³]
Ušetřené náklady za výrobu elektřiny	221 214	[Kč]
Ušetřené náklady za výrobu tepelné energie	96 878	[Kč]
Cena spotřebovaného zemního plynu	159 678	[Kč]
Celková ekonomická bilance	158 414	[Kč]

Z Tab. 10 vyplývá přibližná návratnost investic zakoupení mikroturbíny Capstone C30 a spalinového výměníku za přibližně 12,5 let. Tento odhad nezahrnuje ekonomické faktory, mezi které patří například NPV nebo IRR [49]. Dále zde nebyly zahrnuty servisní náklady zmíněných zařízení. Data vyplývají z předpokladu, že podnik využije 100 % vyrobené elektrické a tepelné energie.

Životnost kogenerační jednotky se uvádí na 20 let [43]. Pro většinu podniků je ale kritická hranice návratnosti 5 – 7 let v závislosti na výši investice. Obzvláště v dnešní době je pro podniky pohybující se v odvětví průmyslových prádelen náročné predikovat vlastní vývoj na tak dlouhou dobu dopředu.

V případě tepelného výměníku voda/voda není možné určit finanční návratnost vzhledem k nedostatečnému množství dosažených výsledků. Nicméně v poslední době už bývá v průmyslové praxi běžná jejich aplikace. Cenová návratnost se pak běžně pohybuje do 7 let od zakoupení. V případě průmyslové prádelny se toto řešení vzhledem k vysoké teplotě odpadní vody nabízí jako výhodné.

5 Závěr

Zvyšující se ceny energií nutí průmyslové podniky stále častěji řešit opatření ke snížení její spotřeby. Správnou cestou k efektivnímu docílení změn je dobře nastavený energetický management, který z větší části vychází z výsledků energetického auditu.

Energetickou účinnost výrobního procesu ovlivňuje ve vysoké míře množství využitého odpadního tepla. Z tohoto důvodu jsou kladeny vysoké požadavky na technické zařízení umožňující rekuperaci a akumulaci takto získaného tepla.

Kapitola 3 je rešerší známých technologických řešení snižující spotřeby energií v průmyslových procesech. Jsou zde uvedeny dva hlavní směry, jak docílit snížení spotřeby energií v podniku. Takzvané „soft metody“, které pomocí měřících a regulačních systémů optimalizují a analyzují tok energií v podniku jako celku. Na základě analýzy je pak možné realizovat řešení v podobě aplikace technologických zařízení pro jednotlivé výrobní procesy. Jsou zde popsány tepelné výměníky, průmyslová teplená čerpadla, absorpční chlazení, frekvenční měniče, izolace a v neposlední řadě akumulace.

V praktické části práce byla ověřena aplikace kogenerační jednotky jako primárního zdroje energie v prádelenském procesu. Dalším cílem pak bylo zvolit vhodná technická řešení pro využití odpadního tepla.

Elektrická účinnost kogenerační jednotky je při plném výkonu 19,46 %. Ke zvýšení celkové účinnosti jednotky je zapotřebí rekuperovat odpadní teplo ve formě horkých spalin. Jako jedna z možností je přímé použití spalin pro sušiče Primus DX55. Další způsob využití odpadního tepla umožňuje aplikování spalínového výměníku typu VAKLAVAS od firmy Vakading spol. s.r.o.

Návratnost kogenerační jednotky Capstone C30 společně se spalínovým výměníkem byla zjištěna na 12,5 let. To představuje velkou překážku k zakoupení zařízení vzhledem k odhadované životnosti 20 let. Obecně totiž v průmyslové praxi platí, že investor očekává návrat investice v jednotkách let.

Z výpočtů bylo zjištěno, že kogenerační jednotka Capstone C30 není plně schopná pokrýt vyrobenou elektrickou energií takto navržený prádelenský proces. Nicméně je nutné podotknout, že vzhledem k velkému množství proměnných parametrů v prádelenském procesu je velice obtížné určit celkovou spotřebu energií.

Kogenerační jednotky jsou vhodné na místech s vysokými nároky na odběr tepelné energie. Své uplatnění naleznou zejména v lokálních výtopnách, hotelech, nemocnicích či veřejných plovárnách.

Vzhledem ke stále se zvyšující pozornosti v otázkách ekologie lze předpokládat nárůst zájmu investorů o zařízení snižující spotřebu energií. Nicméně v případě odvětví průmyslových prádelen je uplatnění kogenerační jednotky dost sporadické a její ekonomický přínos bude platit pouze v individuálních případech.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Energetický regulační úřad: Roční zprávy o provozu elektrizační soustavy* [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2020 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>
- [2] Doc. Ing. Roman Povýšil, CSc. a kol. ZPRACOVÁNÍ VYBRANÝCH VZOROVÝCH PROJEKTŮ ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI UŽITÍ ENERGIE PŘI VÝROBĚ A DISTRIBUCI ENERGIE V MALÝCH A STŘEDNÍCH PODNICÍCH. *Www.mpo-efekt.cz: programy - podpory* [online]. Na Březince 930/6 150 00 Praha 5: ENERGO-ENVI, 2013, 12/2013 [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/programy-podpory/efekt/publikace/48546>
- [3] *Ministerstvo životního prostředí: Energetická efektivita a úspory energie* [online]. Praha [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/energeticka_efektivita_uspory_energie
- [4] MÁŠA, Vítězslav. Komplexní přístup k řešení energetické efektivity objektů a procesů v průmyslové a komunální sféře = A complex approach to the energy efficiency of buildings and processes in industrial and municipal areas: zkrácená verze habilitační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2017, 35 stran : ilustrace. ISBN 978-80-214-5504-7.
- [5] Ing. Karel Mrázek. Ekonomické posouzení energeticky úsporných opatření v BD – soustavy TZB. *Tzb-info.cz* [online]. 2018, 5.2.2018 [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/16901-ekonomicke-posouzeni-energeticky-uspornych-opatreni-v-bd-soustavy-tzb>
- [6] Energetický audit. *Aea.cz* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.aea.cz/energeticky-audit>
- [7] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Efekt: energie efektivně. *www.mpo-efekt.cz: zvyšování energetické účinnosti* [online]. Praha: MPO, 2008 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/zvysovani-energeticke-ucinnosti/energeticky-audit-a-energeticky-posudek/energeticky-audit>
- [8] Vyhláška č. 4/2020 Sb., o energetických specialistech. *Zakonyprolidi.cz* [online]. 10.1.2020 [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-4>
- [9] SOCHOR, Vladimír. Metoda EPC a její uplatnění. *Tzb-info.cz* [online]. 2010, 15.2.2010 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/uspory-vytapani/6250-metoda-epc-a-jeji-uplatneni-i>
- [10] ENESA a.s. *Www.enesa.cz: enesa-prospekt-epc-nd-2008* [online]. 2008 [cit. 2021 - 02 - 09]. Dostupné z: www.enesa.cz
- [11] MAJDA, František. Čtvrthodinové maximum. *Odbornecasopisy.cz: elektro* [online]. FCC Public, 2008, 12/2008 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/ctvrthodinove-maximum--12120>
- [12] Bateriové akumulární stanice firmy AERS pronikají do průmyslu i domácností. *Azcasopis.cz: energetika* [online]. VELESLAVÍNSKÁ 48/39, 162 00 PRAHA 6: GIVERSDON, 2021, 13.1.2021, 12 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z:

<http://www.azcasopis.cz/energetika-elektrotechnika/bateriove-akumulacni-stanice-firmy-aers-pronikaji-do-prumyslu-i-domacnosti>

[13] Výměníky tepla. *Regulus.cz: vymeniky tepla* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla>

[14] *Vymeniky-tepla.cz* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.vymeniky-tepla.cz/princip/>

[15] *Esl.cz* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.esl.cz/>

[16] ZEMACH, Vít. *Tepelně-hydraulický výpočet výměníku tepla*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Pavel Milčák.

[17] KOPŘIVOVÁ, Anna. *Návrh výměníku tepla*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Pavel Milčák.

[18] SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS. *Funke.de* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.funke.de/en-gb/produkte-en-gb/rohrbuendelwaermetauscher-en-gb/rohrbuendelwaermetauscher-serie-en-gb.html>

[19] *Tepelná - čerpadla- mach.cz* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/princip-tepelneho-cerpadla.php>

[20] KOTEK, Petr. Absorpční/adsorpční chlazení. *Kataloguspor.cz: Absorpční/adsorpční chlazení* [online]. Čs. armády 785/22 Praha 6 Bubeneč 160 00: Asociace energetických specialistů, z.s, 21.8.2018 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <http://www.kataloguspor.cz/Absorpcni-adsorpcni-chlazení.html>

[21] ABSORPČNÍHO CHLAZENÍ – 1. DÍL HISTORIE, OBECNÝ POPIS. *Tigemma-engineering.cz* [online]. Masarykovo náměstí 122 Hranice 753 01, 2020, 28.7.2020 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://tigemma-engineering.cz/o-nas/blog-z-firmy/195-absorpcni-chlazení-1>

[22] POSPÍŠIL, Jiří. Chladicí oběhy, trigenerace, dálkové chlazení. *Tzb-info.cz: větrání/klimatizace* [online]. 2011, 10.10.2011 [cit. 2021-03-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7910-chladici-obehy-trigenerace-dalkove-chlazení>

[23] BEJČEK, Michal, Miroslav URBAN a Martin KNY. Případová studie systému absorpčního solárního chlazení. *Tzb-info.cz: větrání/klimatizace* [online]. 2015, 25.5.2015 [cit. 2021-03-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/12758-pripadova-studie-systemu-absorpcniho-solarniho-chlazení>

[24] Elektromotory.cz: frekvenční-měníče. *Elektromotory.cz: frekvenční-měníče* [online]. 2021 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/frekvenčni-menice>

[25] *ElektroPrůmysl.cz: zpravodajství* [online]. [cit. 2021-02-23]. ISSN 2571-0761. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/11-vyhod-frekvenčních-menicu-v-aplikacích>

- [26] PROCHÁZKA, Jaromír. Kompresory s frekvenčním měničem – trend nové doby. *Mmspektrum.com* [online]. 2008, 3.9.2008 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kompresory-s-frekvencnim-menicem-trend-nove-doby>
- [27] DUFKA, Jaroslav. Tepelné izolace potrubí v nevytápěných prostorech - 1. část. *Topenářství instalace* [online]. Na Břevnovské pláni 1363/71 169 00 Praha 6, 2016, 5.11.2016 [cit. 2021-02-23]. ISSN 2336-4718. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/tepelne-izolace-potrubu-v-nevytapenych-prostorech-1-cast-detail-1246>
- [28] PROKOP, Jiří. Výpočet hospodárné tloušťky tepelné izolace. *Vytápění, větrání, instalace* [online]. Společnost pro techniku prostředí, 2012, 2/2012, **21**(2), 80-85 [cit. 2021-03-08]. ISSN 1210-1389. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/cz/cislo-2-2012>
- [29] ZEMAN, Radek. *Onlineschool.cz: termomechanika* [online]. 2020 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://onlineschool.cz/termomechanika/prostup-tepla/>
- [30] DOUCHA, Pavel. Možnosti využití akumulčních zařízení v české elektroenergetice. *Tzb-info.cz: obnovitelná energie* [online]. 2019, 28.2.2019 [cit. 2021-03-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/18702-moznosti-vyuziti-akumulacnich-zarizeni-v-ceske-elektroenergetice>
- [31] HOŠÁK, Jaromír. *Využití odpadního tepla z kompresoru stlačeného vzduchu* [online]. 3.11.2014 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/vyuziti-odpadniho-tepla-z-kompresoru-stlaceneho-vzduchu-detail-4926>
- [32] JELÍNEK, Vladimír, Vladimíra LINHARTOVÁ a Jiří DRAŠAN. Případová studie využití odpadního tepla z technologického procesu. *Tzb-info.cz* [online]. 2015, 6.4.2015 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/uspory-vytapani/12524-pripadova-studie-vyuziti-odpadniho-tepla-z-technologickeho-procesu>
- [33] ŠTEFÁNEK, Stanislav. *VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA ZE SPALOVNÝ NEBEZPEČNÉHO ODPADU*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Marek Baláš.
- [34] BEDNÁŘ, F. Analýza možností akumulční tepelné elektrárny v podmínkách ČR. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 106 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Škorpík, Ph.D..
- [35] BOBÁK, Petr. *Systém pro hodnocení energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.
- [36] *Profivoda.cz* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.profivoda.cz/uvod/uprava-vody/zmekceni-tvrde-vody>
- [37] VAŠÍČEK, Radek. Budoucnost prádelství. *Cistirna-kvalitne.cz: budoucnost-pradelstvi* [online]. 16.9.2019 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://cistirna-kvalitne.cz/budoucnost-pradelstvi/>
- [38] NEUŽIL, Martin. Parní zvlhčovače a celková koncepce parokondenzátního okruhu. *Tzb-info.cz* [online]. Spirax Sarco spol. s r.o., 2002, 21.8.2002 [cit. 2021-03-22].

Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1078-parni-zvlhcovace-a-celkova-koncepce-parokondenzatniho-okruhu>

[39] ŠAREVSKI, Milan a Vasko ŠAREVSKI. *Sciencedirect.com* [online]. Elsevier B.V. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/steam-condensate>

[40] *Bacik-ts.cz* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.bacik-ts.cz/vyvijecepary-certuss/>

[41] SZKANDERA, Radim. *Úprava stávajícího parního zdroje doplněním o mikroturbínu Capstone*. VŠB - TU Ostrava, 2014. Diplomová práce. VŠB - TU. Vedoucí práce Ing. Marek Velička, Ph.D.

[42] VILDA, Dalibor. *SYSTÉM PRO VYUŽITÍ TEPLA SPALIN PLYNOVÉ MIKROTURBÍNY*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.

[43] SLOVÁK, Rostislav. *TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ SYSTÉMU PRO VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA Z PLYNOVÉ MIKROTURBÍNY*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.

[44] BUŘIL, Lukáš. *Experimentální ověření kogeneračního systému na bázi plynové mikroturbíny*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.

[45] SVOBODA, Adam. *Odpadní teplo v rámci průmyslové prádely*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Petr Bobák, Ph.D.

[46] *Energie123.cz* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/plyn/ceny-plynu/cena-1-m3/>

[47] BARABÁŠOVÁ, Iveta. *PRACÍ PROCES A JEHO NÁROKY NA ENERGIÍ A VODU*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Petr Bobák, Ph.D.

[48] TOFEL, Jan. *INTEGRACE PLYNOVÉ MIKROTURBÍNY DO ENERGETICKÉHO SYSTÉMU PRÁDELNY*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Petr Bobák, Ph.D.

[49] CHADIM, Tomáš. Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC. *Tzb-info.cz* [online]. Praha: FEL ČVUT, 2005, 17.10.2005 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>

Seznam použitých symbolů a zkratk

Zkratka	Popis
CO ₂	Oxid uhličitý
ČR	Česká republika
EPC	Energy performance contracting (energetické služby se zárukou)
IRR	Vnitřní výnosové procento
IT	Informační technologie
NO _x	Oxidy dusíku
NPV	Čistá současná hodnota
SO ₂	Oxid siřičitý
TM	Teplé médium
TUV	Teplá užitková voda
TZB	Technické zařízení budov

Symbol	Jednotka	Popis
\dot{Q}	[W]	Tepelný výkon
S	[m ²]	Teplosměnná plocha tepelného výměníku
u	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Součinitel prostupu tepla
ΔT_s	[K]	Střední teplotní logaritmický spád
k	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Součinitel prostupu tepla
α	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Součinitel přestupu tepla
r	[m]	Poloměr potrubí
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Součinitel tepelné vodivosti
L	[m]	Délka potrubí
ΔT	[K]	Rozdíl teplot
\dot{m}	[kg·s ⁻¹]	Hmotnostní průtok
c_p	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Střední měrná tepelná kapacita
t	[°C]	Teplota

Seznam příloh

Příloha 1 BP_2021_Cyz_Antonin_208462.xls