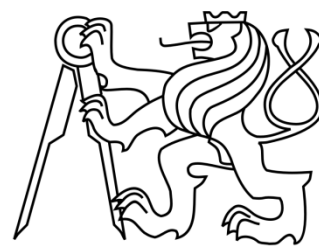


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

K13115 – Katedra elektroenergetiky



ENERGETICKÝ AUDIT V PRŮMYSLU

INDUSTRIAL ENERGY AUDIT

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Musálek

Praha 2014

Vypracoval:

Vladimír Malý

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

5. května 2014

.....
Vladimír Malý

ANOTACE: Tato práce je studií potenciálu úspor energie v průmyslu. Podává přehled o legislativě ve vztahu k hospodaření energií. Zejména o energetickém auditu jako nástroji diagnostiky energetické účinnosti technologických procesů. Shrnuje některé studie z předchozích let. Ze statistik již provedených energetických auditů prezentuje aplikovaná opatření a jejich výsledky a náklady na daná opatření. Pro vysoký potenciál energetických úspor opětovného využití technologického odpadního tepla se dále zabývá tímto opatřením. Závěrem je zpracován energetický audit zadaného průmyslového podniku.

ABSTRACT: This work is a case study of energy savings potential in the industry sector. It gives overview of legal requirements of energy usage. It shows energy audit as diagnostic tool for evaluation of energetic efficiency of technological processes. It sums up previous studies and presents results of already performed energy audits in industry based on common statistics. Due to high energy savings potential deals mainly with reuse of technological waste heat. Finally is presented energy audit of industrial plant.

KLÍČOVÁ SLOVA: energetický audit, účinnost, energetika, využití odpadního tepla

KEYWORDS: energy audit, efficiency, energetics, waste heat recovery

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MALÝ, V. *Energetický audit v průmyslu*. Praha:

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2014. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Musálek.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Lubomíru Musálkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. ENERGETICKÝ AUDIT A LEGISLATIVA	10
2.1. Energetický audit.....	10
2.2. Legislativa ve vztahu k energetickému auditu	11
2.3. Energetický audit.....	12
2.4. Náležitosti energetického auditu.....	12
2.5. Provádění energetického auditu.....	13
3. POTENCIÁL ÚSPOR ENERGIE V PRŮMYSLU ČR.....	16
3.1. Spotřeba energie v jednotlivých podsektorech	16
3.2. Opatření ke zvýšení efektivity využití energie v průmyslu.....	17
3.3. Výsledky analýz potenciálu energetických úspor v průmyslu ČR.....	18
3.4. Aplikovatelná opatření ke snížení energetické náročnosti.....	20
3.4.1. Organizační opatření a energetický management	21
3.4.2. Využití odpadního tepla.....	21
3.4.3. Snižování ztrát v pohonech.....	22
3.4.4. Zvýšení energetické efektivity výroby, distribuce a spotřeby energie	22
4. ODPADNÍ TEPLA	24
4.1. Zdroje odpadního tepla.....	25
4.2. Technologie využití odpadního tepla.....	27
4.3. Faktory ovlivňující využití odpadního tepla.....	27
4.3.1. Množství tepla	27
4.3.2. Kvalita tepla.....	28
4.3.3. Maximální teoretická účinnost.....	29
4.4. Konvenční technologie pro využití odpadního tepla.....	29
4.4.1. Tepelné výměníky	30
4.5. Technologie pro využití nízkopotenciálního odpadního tepla.....	31
4.5.1. Nízkoteplotní ekonomizéry.....	31
4.5.2. Kondenzační jednotky s nepřímým kontaktem	32
4.5.3. Kondenzační jednotky s přímým kontaktem	32
4.5.4. Kondenzátory s transportní membránou	32
4.5.5. Tepelná čerpadla.....	32
5. NÁVRH VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA V ZADANÉM PODNIKU.....	35
6. ZPRÁVA Z ENERGETICKÉHO AUDITU ZADANÉHO PODNIKU.....	36
6.1. Identifikační údaje.....	39
6.1.1. Zadavatel.....	39
6.1.2. Zpracovatel	39
6.1.3. Předmět energetického auditu.....	39
6.2. Popis stávajícího stavu předmětu EA.....	40

6.2.1.	Výčet energeticky významných technologií	40
6.2.2.	Situační plán	41
6.2.3.	Energetické vstupy.....	42
6.2.4.	System zásobování teplem.....	42
6.2.5.	System zásobování elektřinou	45
6.2.6.	System zásobování stlačeným vzduchem	46
6.2.7.	Tepelně technické vlastnosti budov	46
6.2.8.	System managementu hospodaření s energií	49
6.3.	Vyhodnocení stávajícího stavu předmětu EA	50
6.3.1.	Teplo	50
6.3.2.	Elektřina.....	52
6.3.3.	Vyhodnocení tepelně technických vlastností konstrukcí	56
6.4.	Návrh a popis opatření ke zvýšení účinnosti využití energie	57
6.4.1.	Beznákladová opatření.....	58
6.4.2.	Nízkonákladová opatření	60
6.4.3.	Vysokonákladová opatření	63
6.5.	Souhrn hodnocených projektů.....	66
6.6.	Návrh variant a ekonomické vyhodnocení.....	67
6.6.1.	Ekologické vyhodnocení.....	67
6.6.2.	Výsledky vyhodnocení	68
6.7.	Výběr optimální varianty	69
6.7.2.	Výsledky výpočtu ekonomické efektivnosti variant.....	71
6.8.	Doporučení	71
6.9.	Evidenční list energetického auditu a oprávnění.....	72
7.	ZÁVĚR	73
	Použitá literatura.....	75
	Seznam obrázků	76
	Seznam tabulek	76
	Seznam příloh.....	77

1. ÚVOD

Nejlevnější a nejekologičtější forma energie je ta, která se nespotřebuje. Přesto stále platí, že globální potřeba energie roste napříč všemi sektory hospodářství. Proto efektivnější využívání energie jak v domácnostech, tak v průmyslu je zřejmým krokem k získání vyšší nezávislosti na omezených zdrojích energie, jako jsou fosilní paliva a to nejen ve formě importovaných komodit.

Budovy se na celkové spotřebě energie podílejí zhruba 40 % a stejně tak na emisích CO₂. Tudiž snížení spotřeby energie budov bude klíčovou prioritou. S dnešními technologiemi je možné snížit spotřebu energie v budovách min. o 50%. Tyto obrovské úspory mohou být dosaženy opatřeními, jako jsou energeticky efektivní okna, aplikací izolačních materiálů, inteligentní regulací vytápění, větrání a osvětlení.

Průmyslové procesy se na celkové spotřebě energie podílejí zhruba 30%. Optimalizací průmyslových procesů a zařízení lze dosáhnout podstatných snížení spotřeby energie. Řešení pro energetickou optimalizaci průmyslových procesů jsou náplní této práce. Potenciál snížení energetické náročnosti se pro jednotlivé sektory průmyslu liší. Ze statistiky již provedených energetických auditů v průmyslu vyplývá, že časté potenciály ke zvýšení energetické efektivity jsou: zavedení energetického managementu, zlepšení energetické efektivity výroby a distribuce energie, snížení ztrát v pohonech, implementace moderních svítidel a využití odpadního tepla.

Avšak průmyslové podniky nejsou vždy o potenciálu zvýšení energetické účinnosti informované. Provedení energetického auditu (EA) je prvním krokem k identifikaci těchto potenciálů.

2. ENERGETICKÝ AUDIT A LEGISLATIVA

2.1. Energetický audit

Energetický audit je definován zákonem č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů a návaznou vyhláškou č. 480/2012 Sb. Cílem energetického auditu je zhodnotit současný stav užití energií v budovách nebo jiných energetických systémech a identifikovat optimální

způsob dosažení energetických úspor z hlediska technického, ekonomického a ekologického.[15]

Zpracování energetického auditu je podle zákona č. 406/2000 Sb. povinné za podmínek:

(1) Hodnota celkové spotřeby energie, od níž vzniká fyzickým a právnickým osobám povinnost zpracovávat pro své budovy nebo energetická hospodářství energetický audit se, stanoví ve výši 35 000 GJ za rok jako součet za všechny budovy a energetická hospodářství uvedené osoby a týká se pouze jednotlivých budov nebo jednotlivých energetických hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ za rok.

(2) Hodnota celkové spotřeby energie, od níž vzniká organizačním složkám státu, organizačním složkám krajů a obcí a příspěvkovým organizacím povinnost zpracovávat pro své budovy nebo energetická hospodářství energetický audit se, stanoví ve výši 1 500 GJ za rok jako součet za všechny budovy a energetická hospodářství uvedené osoby a týká se pouze jednotlivých budov nebo jednotlivých energetických hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ za rok.

(3) Pro určení celkové roční spotřeby energie v případě pevných, kapalných a plyných paliv se použije výhřevnost udávaná jejich dodavatelem při obchodním styku.

Energetický audit může zpracovat pouze energetický specialista, který získal osvědčení Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a je zapsán v Seznamu energetických specialistů.

2.2. Legislativa ve vztahu k energetickému auditu

Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií stanovuje opatření pro zvyšování hospodárnosti využití energie a práva a povinnosti při nakládání s energií a energetickými zdroji. Jako základní koncepce pro efektivní využívání energie určuje Státní energetickou koncepci, územní energetické koncepce a Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie. Zákon dále stanovuje minimální energetickou účinnost pro výrobu energie, ukazatele pro energetickou náročnost budov, vytápění a přípravu teplé vody a zavádí povinnost provedení energetického auditu pro větší spotřebitele energie a také zpracování průkazů energetické náročnosti budov pro všechny novostavby a opravy větších

budov. Elektrospotřebiče jsou podle tohoto zákona povinně označovány energetickými štítky a jejich konstrukce podléhá požadavkům na ekodesign. [15]

Související předpisy:

Zákon č. 318/2012 Sb. o hospodaření energií v platném znění, vydaný Ministerstvem průmyslu a obchodu s platností od 1. ledna 2013, mění předchozí Zák. č. 406/2006 Sb.

Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, vydaná Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR s platností od 20. prosince 2012, upravuje předchozí Vyhl. 425/2004 Sb.

Vyhláška č. 148/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách, vydaná Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR ze dne 18. června 2007

Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách, vydaná Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR ze dne 29. března 2013

Vyhláška MPO č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu

Vyhláška MPO č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům.

2.3. Energetický audit

2.4. Náležitosti energetického auditu

Písemná zpráva energetického auditu je předepsána podle Vyhlášky č. 480/2012 Sb. a obsahuje :

1. hodnocení současné úrovně energetické náročnosti provozovaného energetického hospodářství

- identifikační údaje
 - popis výchozího stavu
 - zhodnocení výchozího stavu
2. návrh energeticky úsporných opatření ke snížení spotřeby energie posuzovaného energetického hospodářství
- specifikace energeticky úsporných opatření
 - varianty energeticky úsporných opatření
3. návrh vybrané varianty doporučené k realizaci energeticky úsporných opatření posuzovaného energetického hospodářství
- ekonomické vyhodnocení vybrané varianty
 - environmentální vyhodnocení vybrané varianty
4. závěrečný posudek
- výstupy energetického auditu
 - evidenční list energetického auditu

2.5. Provádění energetického auditu

Energetický audit je klíčem ke správnému rozhodnutí v oblasti energetického managementu. Při energetickém auditu se sestavuje bilance všech energetických vstupů a jejich využití. EA slouží jak k identifikaci všech toků energie v průmyslovém podniku tak je i efektivním nástrojem k prosazení energetického managementu. Obecně tři největší složky nákladů jsou tvořeny energií (elektrickou a termální), pracovní silou a materiálovými vstupy. [14]

Základním účelem energetického auditu je určit možnosti snížení spotřeby energie na jednotku produktu nebo snížit provozní náklady. Energetický audit je referenční bod pro posouzení a řízení užití energie napříč společnostmi. Přesně ve smyslu hesla co neměříš, nemůžeš zlepšit!

Zaměření energetického auditu určuje:

- druh průmyslu
- hloubka do jaké je energetický audit požadován
- velikost požadovaných úspor

Druhy energetických auditů můžeme rozdělit na:

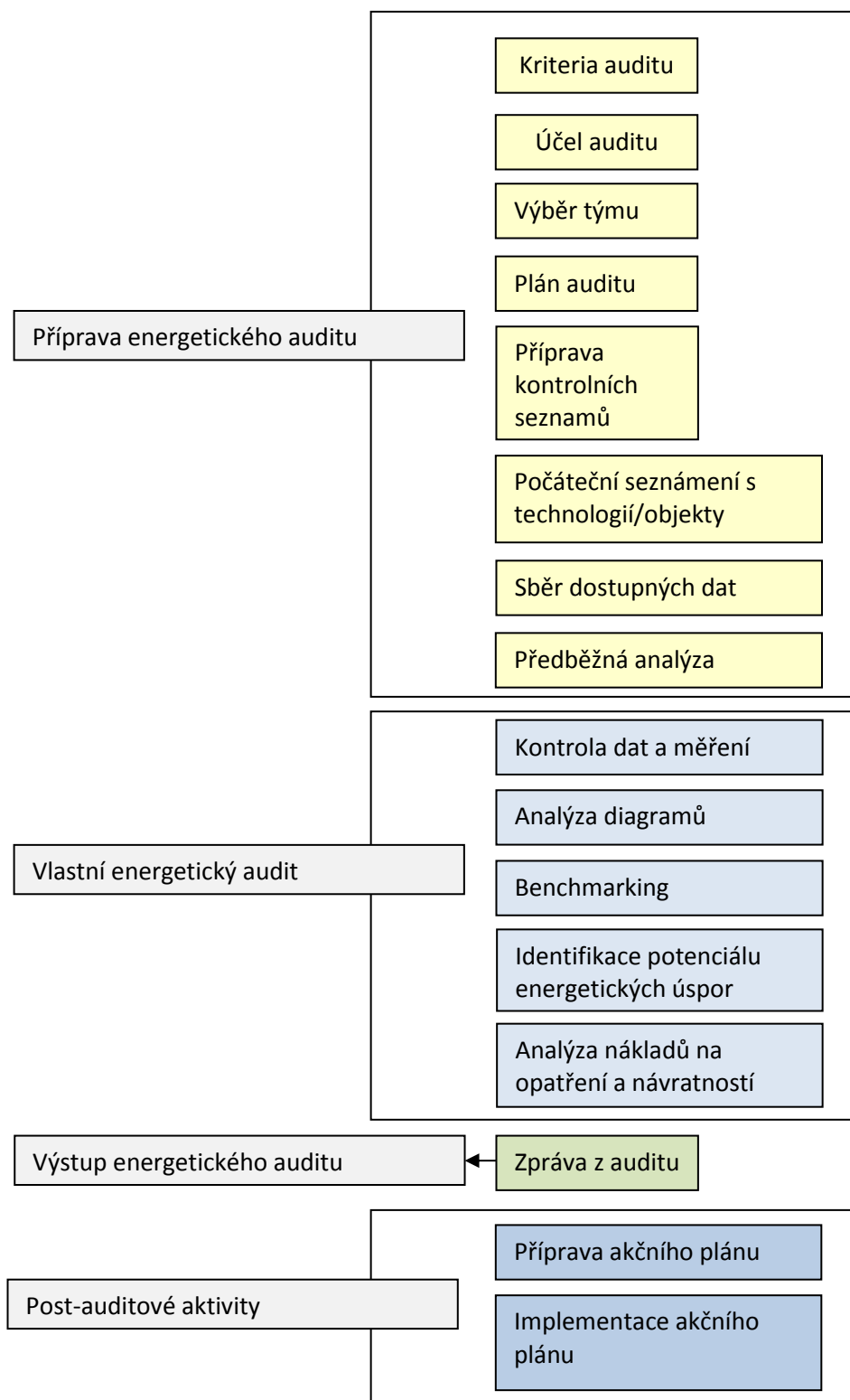
- předběžný audit
- detailní audit

Předběžný audit používá existující nebo jednoduše získatelná data pro:

- Určení celkové spotřeby
- Odhad rozsahu možných úspor
- Určení oblastí pro detailní EA
- Určení okamžitých beznákladových/nízkonákladových opatření
- Určení oblastí pro měření a následnou analýzu

Detailní energetický audit představuje komplexní plán energetického projektu. Tento druh auditu nabízí nejpřesnější odhady úspor energie a nákladů. Obsahuje přehled výroby a spotřeby energie všech hlavních zdrojů a spotřebičů. Bere v úvahu vzájemné účinky všech opatření, a obsahuje detailní kalkulace navrhovaných úspor energie a nákladů na jejich realizaci.

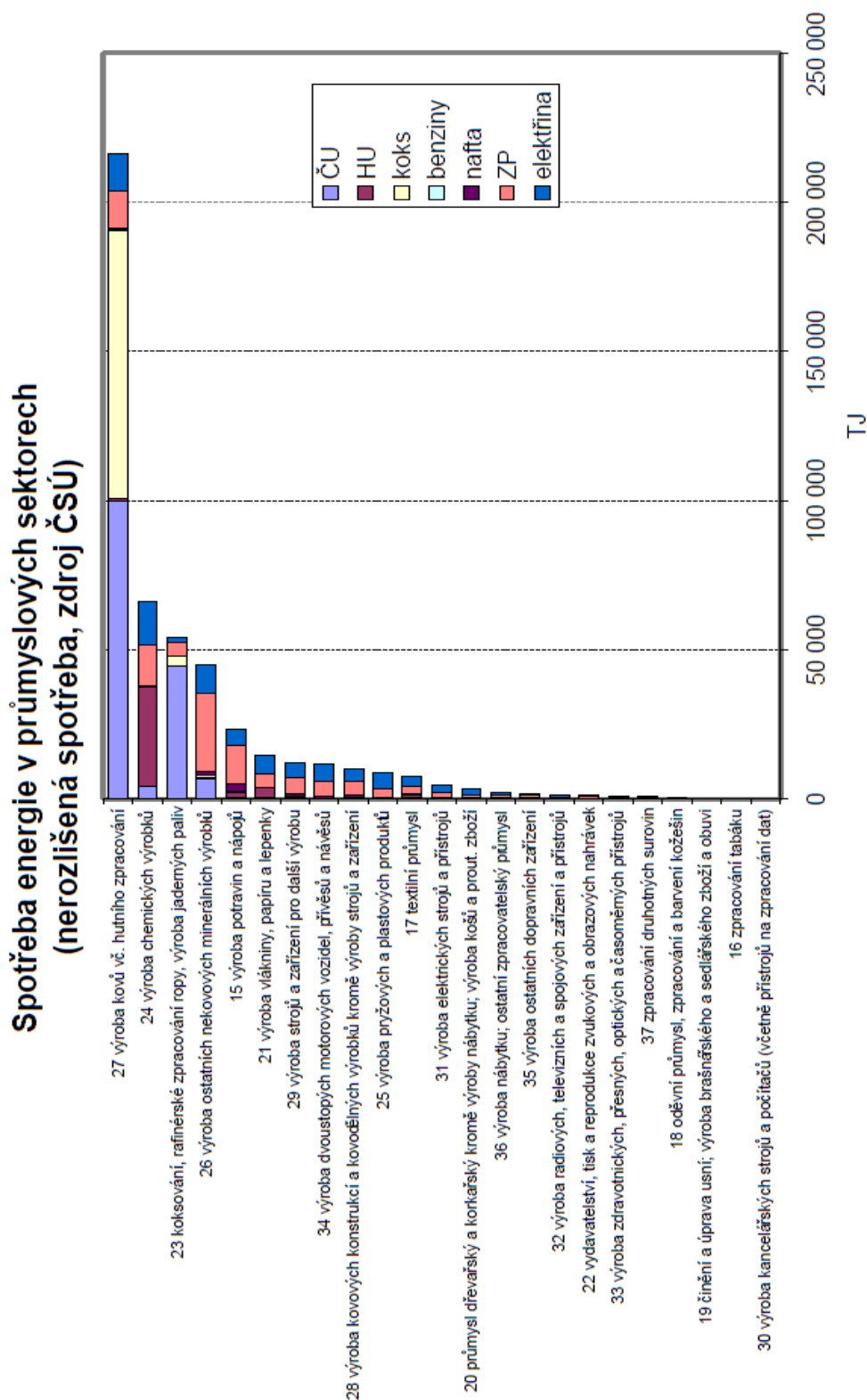
Klíčovým prvkem detailního auditu je energetická bilance. Ta je založena na výčtu spotřebičů energie s přihlédnutím k jejich provozním podmínkám a vyčíslení jejich spotřeby. Takto odhadnutá spotřeba je poté porovnána se známými reálnými náklady.



Obrázek 1 Postup energetického auditu v průmyslu[14]

3. POTENCIÁL ÚSPOR ENERGIE V PRŮMYSLU ČR

3.1. Spotřeba energie v jednotlivých podsektorech



Obrázek 2 Spotřeba energie v průmyslových sektorech 2005 [TJ] [10]

3.2. Opatření ke zvýšení efektivity využití energie v průmyslu

Zatímco sektor dopravy a oblast budov vystačí s omezeným počtem energeticky úsporných opatření, která mohou být široce aplikována, zpracovatelský průmysl vyžaduje zaměřit se na opatření specifická pro jednotlivá průmyslová odvětví. Technologie, které jsou společné pro celý průmysl představují pouze část spektra možností úspor energie. [10] [15]

Nejběžnější typy energeticky úsporných opatření pro zpracovatelský průmysl, s nejvyšším potenciálem úspor je možno kategorizovat následovně:

- Organizační opatření a energetický management
(organizační opatření, instalace nebo zdokonalení řídicích systémů a systémů monitoringu, systémů pro regulaci zátěže, energetického řízení, apod.)
- Zlepšení energetické efektivity výroby a distribuce tepla
(účinné kondenzační kotle, kotle s vysokou účinností, instalace ekonomizérů atd., rekonstrukce rozvodných sítí, oprava netěsností, odvaděče kondenzátu, fázové zpoždění atd.).
- Snížení tepelných ztrát v průmyslových budovách.
- Zlepšení energetické efektivity chladírenských, klimatizačních a tlakovzdušných systémů.
- Energeticky úsporné osvětlovací soustavy a motorové pohony s vysokou účinností
(energeticky účinné elektromotory EEM, regulace elektrických pohonů apod.).
- Efektivní využití odpadního tepla z technologií.
- Energeticky efektivní opatření v technologických procesech
(základní technologické úpravy, obnova výrobní technologie, změna konfigurace zařízení, decentralizace, optimalizace technologických procesů, recyklace materiálů apod..)

Výše uvedené typy opatření zahrnují konkrétní soubory beznákladových a investičních, (nízkonákladových a vysokonákladových) opatření, která jsou pro každé odvětví i konkrétní průmyslový podnik specifické.

Průmyslová odvětví s největší konečnou spotřebou, mezi které patří především sektory hutnictví železa a nekovových výrobků, chemické výroby a potravinářského průmyslu, jsou potenciálními sektory s největším absolutním potenciálem úspor.

K obnově výrobní technologie za moderní a úspornou dochází především z důvodů modernizace, rozšiřování nebo zavádění nové výroby v podnicích, což je dlouhodobý proces a k realizaci potenciálu úspor dochází pozvolným nárůstem. [12]

3.3. Výsledky analýz potenciálu energetických úspor v průmyslu ČR

Celkový ekonomický potenciál ve zpracovatelském průmyslu stanovený v rámci *Národní studie energetické efektivity pro období 1995 – 2010* je značný - 26,5 % celkové spotřeby energie. Největší tržní potenciál, a to jak v absolutním, tak i relativním vyjádření, byl nalezen v kategorii zlepšení energetické efektivity systémů vytápění, a dále pak ve zlepšení technologických procesů. Ve skupině opatření "tepelná izolace budov" nebyl vzhledem k dlouhodobé návratnosti opatření nalezen žádný tržní potenciál úspor energie. [10]

V rámci podkladových analýz pro přípravu *Národního programu hospodárného nakládání s energií a využíváním jejich obnovitelných a druhotných zdrojů pro období 2006 – 2009* byl ekonomicky nadějný potenciál energetických úspor ve zpracovatelském průmyslu odhadnut na cca 3 700 TJ ročně a za celé období cca ve výši 14 830 TJ. [10] [9]

V rámci *Studie potenciálu úspor energie ve velkých podnicích pro programovací období 2007-2013, zpracované společností ENVIROS, s.r.o. pro MPO* byl analyzován potenciál energetických úspor ve velkých podnicích zpracovatelského průmyslu. Potenciál za období 2007-2013 celkem byl pro tento časový horizont stanoven odborným odhadem na cca 12 000 – 20 000 TJ při uvažování průměrného potenciálu úspor ve výši cca 8%. Celkové náklady na realizaci potenciálu úspor ve zpracovatelském průmyslu, v podnicích nad 250 zaměstnanců byly zhruba odhadnuty na cca 18 – 44 mld. Kč celkem. [8] [12]

Ze *Studie možností úspor energie v českém průmyslu*, zpracované společností Ekowatt, o. s. pro společnosti Hnutí duha a Greenpeace v roce 2008 vyplývají tři skupiny energeticky úsporných opatření: [10]

1. Energetický management, organizační a další beznákladová a nízkonákladová opatření (váha 100%);
2. Energetické úspory v systémech vytápění a klimatizace, výroby a distribuce tepla - zlepšení účinnosti výroby, distribuce tepla, TUV, malá KVET, atd.. (váha 35%);
3. Energetické úspory v průmyslových budovách - zlepšení tepelně technických vlastností budov (váha 15%);
4. Úspory elektrické energie v pohonech, osvětlovacích soustavách, systémech stlačeného vzduchu a chlazení (váha 10%);
5. Využití odpadního tepla, energetické úspory ve výrobních průmyslových technologiích (váha 40%).

Dílejší závěry ze zpracovaných studií, především ze *Studie možností úspor energie v českém průmyslu, vypracované společností Ekowatt, o.s. jsou:* [10]

- Celkový technický potenciál úspor energie vztažený ke konečné spotřebě energie ve zpracovatelském průmyslu se pohybuje ve výši cca 23% konečné spotřeby energie.
- Hlavní oblastí realizace úspor s nejlepšími ekonomickými ukazateli jsou především v beznákladových a nízkonákladových opatřeních, mezi které patří hlavně organizační opatření ve výrobě a důsledný energetický management a dále energeticky úsporná opatření v oblasti decentralizované výroby a distribuce tepla a chladu, klimatizace a vytápění. Obě dvě skupiny opatření vykazují srovnatelný potenciál ve výši cca 7,5% celkové konečné spotřeby ve zpracovatelském průmyslu.
- Nejnižší potenciál v porovnání s celkovou konečnou spotřebou mají opatření související s úsporou elektrické energie (energeticky účinné pohony, systémy stlačeného vzduchu, chlazení).
- Velikost potenciálu úspor vztažená k celkové konečné spotřebě energie v jednotlivých průmyslových podsektorech zhruba odpovídá jejich podílu na konečné spotřebě. Potenciál úspor vztažený ke konečné spotřebě v každém ze sektorů se však liší, nejvyšší je v potravinářském průmyslu (cca 32,5%), dále ve výrobě minerálních produktů (29,9%) a sektorech lehkého průmyslu (papírenství – 29,6%, textilní – 29%,

strojírenství 28,8%). V sektorech těžkého průmyslu jako je chemie a hutnictví je výsledný odhad potenciálu nižší – 18,7% resp. 14,9%.

3.4. Aplikovatelná opatření ke snížení energetické náročnosti

Ze statistik energetických úspor fondu Phare, který je spravován Československou obchodní bankou a vychází ze skutečných, realizovaných projektů vyplývá, že náklady na dosažení úspory 1 GJ se pohybují mezi 800 až 2000 Kč. [10]

Investice jsou vynakládány převážně na následující opatření:

- Zavedení energetického řízení, spojeného s měřením, sledováním, a pravidelným vyhodnocováním spotřeby a nákladů a realizací nápravných opatření, plně integrovaným do řídicí struktury podniku;
- Rekonstrukce, modernizace nebo výměna starého a zastaralého zařízení za energeticky úsporné zařízení jako jsou kondenzační kotle, kotle s vysokou účinností, instalace ekonomizérů atd.;
- Rekonstrukce rozvodných sítí, oprava netěsností, odvaděče kondenzátu, kompenzace účinníku;
- Změna konfigurace zařízení, decentralizace vytápění;
- Instalace nebo zdokonalení řídicích systémů a monitoringu, systémů pro regulaci zátěže;
- Energeticky úsporné osvětlovací soustavy a motorové pohony s vysokou účinností;
- Zlepšení chladírenských, klimatizačních a tlakovzdušných systémů;
- Využití odpadního tepla;
- Instalace systémů pro regeneraci tepla, tepelných čerpadel;
- Kogenerační jednotky, atd.

V rámci této kapitoly jsou identifikována opatření aplikovatelná v průmyslu ve většině jeho odvětví.

Energeticky úsporná opatření jsou dle nákladů na jejich realizaci rozdělena následovně:

- Beznákladová opatření zahrnující minimální náklady a mající za cíl především zefektivnění činnosti organizace;
- Nízkonákladová opatření - do 0,5 mil. Kč;
- Vysokonákladová opatření - nad 0,5 mil. Kč, většinou se jedná o desítky mil. Kč.

3.4.1. Organizační opatření a energetický management

Mimo zavedení systému energetického řízení zahrnují organizační opatření řadu konkrétních energeticky úsporných opatření, především z kategorie beznákladových a nízkonákladových, jako například tato:

- Omezení chodu zařízení naprázdno,
- Pravidelná údržba, kontrola a seřizování zařízení a technologických procesů,
- Snížení neřízené ventilace v budovách,
- Zlepšení chování spotřebitelů energie.
- Nastavení korektních smluvních vztahů s dodavateli energie, správné nastavení sjednaných režimů odběru a tarifů apod.

3.4.2. Využití odpadního tepla

V průmyslu existuje řada technologií a procesů, kde vzniká velké množství odpadního tepla. Ne vždy je opatření na využití odpadního tepla možné technicky realizovat. Důležitým omezením je i využitelnost odpadního tepla o daném teplotním potenciálu v místě jeho vzniku či nejbližším okolí. Pokud to možné je, lze využít odpadního tepla k ohřevu či předehřevu vzduchu, vody či technologických médií, v případě odpadního tepla o vyšším potenciálu je v některých případech využitelné pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny (např. s využitím ORC technologie).

Ve větším detailu je popsáno v kapitole 4.

3.4.3. Snižování ztrát v pohonech

Elektrické pohony jsou skupinou energetických spotřebičů rozšířenou ve všech průmyslových sektorech. V skupině pohonů jsou k dispozici tato technická opatření pro snižování spotřeby energie:

1. Optimalizace elektrických pohonů.

Předimenzovaný výkon elektrických pohonů ve srovnání s jejich skutečným zatížením je stále běžná realita v řadě průmyslových podniků. Náhraď stávajících (předimenzovaných) elektrických pohonů vysoce energeticky efektivními a v kombinaci se správnou údržbou může přinést úsporu elektrické energie na pohony ve výši 20-30 %. Toto opatření patří k opatřením se středně vysokými náklady. [10]

2. Zavedení pohonů s proměnnými otáčkami.

Elektronické řídicí systémy pyroelektrické pohony, které se mohou přizpůsobit zatížení změnou otáček motoru mohou ušetřit až 40% elektrické energie na pohony. Použití regulovaných pohonů s frekvenčními měniči je obzvláště vhodné u pohonů čerpadel či ventilátorů s proměnným zatížením. Toto opatření je v kategorii opatření s vysokými investičními náklady.

3.4.4. Zvýšení energetické efektivity výroby, distribuce a spotřeby energie

Opatření pro zvýšení energetické efektivity v této oblasti jsou: [8] [12]

1. Efektivnější kotle a záměna paliva.

V průmyslu stále existuje, i když v menší míře než v předchozích letech, potenciál náhrady stávajících uhelných kotlů za kotle s vyšší energetickou účinností (zejména fluidní kotle), které mohou současně využívat palivo s nižší kvalitou při nižších dopadech na životní prostředí. Podstatná část potenciálu tohoto opatření již však byla v uplynulých letech realizována v souvislosti se zpřísněnými požadavky na emise ze spalovacích zdrojů.

2. **Snížení ztrát při distribuci tepla.**

Opatření zahrnuje zejména doplnění či výměnu tepelné izolace parních a horkovodních rozvodů tepla v průmyslu, případně přechod od parních systému k horkovodním. V případě tepelných izolací rozvodů se jedná se o nízkonákladové opatření s krátkodobou návratností.

3. **Zvyšování tepelného potenciálu.**

V případech, kdy odpadní (druhotné) teplo není k dispozici na požadované teplotě, jeho využití vyžaduje zvyšování tepelného potenciálu. Pro zvýšení tepelného potenciálu je možno využít:

Tepelná čerpadla - kompresorová, případně i absorpční (někdy označované také jako tepelné transformátory)

Organický Rankinův cyklus – využitelný i pro výrobu elektrické energie.

4. **Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (KVET).**

Hlavní technologií KVETve velkých průmyslových zdrojích (od jednotek MWe výše) jsou v současné době parní turbíny, v malých a středních zdrojích KVET pak plynové motory (max. do několika jednotek až desítek MWe), v omezené míře pak i další technologie jako systémy KVET s plynovými turbínami v kombinovaném cyklu o elektrickém výkonu nad 50 MWe, točivé parní stroje (řádově jednotky až desítky MWe), systémy ORC (řádově jednotky až desítky MWe) apod.

5. **Vysoce energeticky efektivní systémy vytápění.**

Tato skupina opatření zahrnuje náhradu konvenčních systémů vytápění v průmyslových halách, které jsou zpravidla tvořeny kotlem, distribučním systémem a radiátorem, případně teplovzdušnými jednotkami za vysoce energeticky efektivní zdroje tepla jako jsou plynové tmavé zářiče (sálavé trubice) nebo plynové infrazářiče (světlé zářiče).

6. Úspory energie v technologických procesech.

Tato skupina zahrnuje širokou škálu energeticky úsporných opatření. Energeticky úsporná opatření v technologických procesech jsou velmi specifická z hlediska technologického a mají vždy přímou vazbu na technologický proces v daném výrobním podniku. Téměř vždy se jedná o vysokonákladová opatření, které není možno ekonomicky hodnotit pouze z hlediska jejich příspěvku ke snížení nákladů na energii. Primárním impulsem k jejich realizaci jsou obvykle požadavky související s výrobou (navýšení, nebo naopak snížení kapacity, zefektivnění technologického procesu, obměna či modifikace technologie, splnění environmentálních požadavků, apod.).

4. ODPADNÍ TEPLA

Jak bylo uvedeno, nejrůznější technologické procesy v praxi produkují velká množství dále nevyužívaného odpadního tepla, které je zpravidla odváděno do vlastního okolí. Odpadní teplo vznikající v technologických procesech je možné zpětně získat a využít pro předehřev médií vstupujících do technologických procesů, pro ohřev teplé vody (TUV) nebo k transformaci na jinou formu energie obvykle elektrickou.

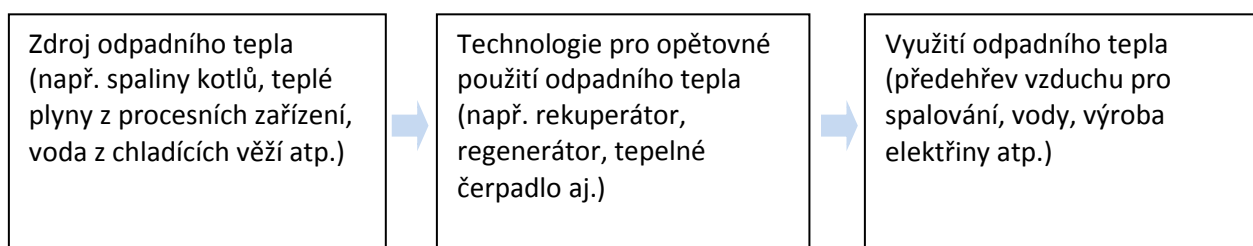
Dle energetické bilance českého hospodářství z roku 2010 [9] spotřeba energie v průmyslu dosahuje téměř 40%, tedy 410953 TJ. Snahy o zlepšení efektivity průmyslových systémů se zaměřují především na snížení energie spotřebovávané výrobním zařízením (kotle, pece, sušicí komory, reaktory, odlučovače, motory a čerpadla) nebo na změnu procesu nebo technologie výroby. Přínosným alternativním přístupem ke zlepšení celkové energetické účinnosti je zachycení a opětovné využití odpadního tepla, které se vyskytuje téměř ve všech průmyslových výrobních procesech. Při výrobních procesech je 20-50% vstupní energie nenávratně ztraceno, disipováno v podobě odpadního tepla ve spalínách a vlivem přestupu tepla vedením, prouděním a zářením z horkých ploch jak zařízení tak produktů. V některých případech jako jsou např. Průmyslové pece je možné významně zvýšit účinnost těchto zařízení znovu využitím odpadního tepla.

Znovu využití odpadní tepla (VOT) je náhradou nákladně nakupované elektrické energie a paliv. Využití odpadní tepla neprodukuje žádné emise škodlivých plynů. Pro transformaci odpadního tepla na znovu využitelnou energii existuje nespočet technologií. V této práci se

budu zabývat zběžně jednotlivými technologiemi, možnostmi jejich využití a překážkami jejich většího rozšíření.

Pro úspěšné znovuvyužití odpadního tepla jsou nutné tři základní komponenty.

- 1) přístupný zdroj odpadního tepla
- 2) technologie pro opětovné využití tepla
- 3) využití pro znovu získanou energii



Obrázek 3 Pro úspěšné využití odpadního tepla (VOT) musí být splněny tři základní podmínky [16]

4.1. Zdroje odpadního tepla

Průzkumy v současnosti rozšířeného využití odpadního tepla ukazují, že je odpadní teplo převážně využíváno z vysokoteplotních zdrojů odpadního tepla. Příležitosti jsou tedy hlavně v optimalizaci existujících systémů, využití odpadního tepla z netekutinových zdrojů a VOT z nízkopotenciálního tepla.

Provozované systémy VOT jsou často omezeny teplotními limity a nemohou využívat plný potenciál odpadního tepla. Hlavní omezením je materiál tepelného výměníku a tedy náklady na využití odpadního tepla o nízké teplotě (kondenzace) a vysoké teplotě (koroze, pevnost). Studie vypracovaná pro ministerstvo energetiky USA [16] ukazuje, že zhruba 60% nevyužitého odpadního tepla je tepla nízkopotenciálního (pod 230°C). Nízkopotenciální odpadní teplo nemá vysokou tepelnou ani ekonomickou hodnotu v porovnání s teplem vysokopotenciálním. Na druhou stranu je k dispozici ve velkých množstvích a téměř všude. Část odpadního tepla je v současnosti nevyužita z důvodů chemického složení média nesoucího odpadní teplo. Často vysokopotenciální teplo je disipováno do okolí z důvodů jako fouling a koroze.

Zdroje odpadního tepla a možnosti jeho využití

Teplotní rozsah	Příklad zdroje	Teplota OT (°C)	Výhody	Nevýhody	Typické metody VOT
Vysokoteplotní [>650°C]	Průmyslové pece v metalurgii	900-1650	Teplu o vysokém potenciálu s možností využití pro výrobu energie s vysokou účinností	Zvýšené nároky na tepelné výměníky/drahé materiály z důvodu: Vysokých teplot Chemické/korozní agresivity	Předehřev spalovacího vzduchu
	Průmyslové pece Chemické procesy (výroba vodíku, spalování odpadu)	650-1200			Výroba páry pro procesní ohřev nebo výrobu energie Předehřev materiálu vstupujícího do pece Přenos do středněteplotních a nízkoteplotních procesů
Středněteplotní [230-650°C]	Spaliny parního kotle	230-480	Kompatibilní se standardními materiály pro tepelné výměníky Výroba energie se střední účinností		Předehřev spalovacího vzduchu
	Spaliny plynové turbíny	370-540			Výroba páry pro procesní ohřev nebo
	Spaliny pístových motorů	320-590			ORC pro výrobu energie
	Pece pro tepelné zpracování	430-650			Předehřev materiálu vstupujícího do pece
	Sušicí komory	230-590			Přenos do nízkoteplotních procesů
	Cementářské pece	450-620			
Nízkoteplotní [<230°C]	Výstupní plyny pecí s instalovanou rekuperací	70-230	Existence velkého množství tepla o nízké teplotě v různých procesech	Malé procento využití pro nízkopotenciální teplo Nízká účinnost výroby energie V případě VOT ze spalin o nízké teplotě dochází ke kondenzaci a následné korozi tepelného výměníku	Vytápění prostorů Příprava TUV Za použití tepelných čerpadel zvýšení teploty média
	Kondenzát procesní páry	50-90			
	Chladící voda žihacích pecí	70-230			
	Chladící voda z kompresorů	30-50			
	Chladící voda spalovacích motorů	70-120			
	Kondenzát chladících zařízení	30-40			
	Sušicí, pečící a vytvrzující pece	90-230			
	Horké produkty	30-230			

Tabulka 1 Typické zdroje odpadního tepla a možnosti jejich využití [16]

4.2. Technologie využití odpadního tepla

Zpětné získání a využití odpadního tepla může být realizováno různými technologiemi. Teplo může být využito ve stejném procesu nebo přeneseno do jiného procesu nebo přeměněno na jiný druh energie. Jeden ze způsobů využití odpadního tepla lokálně je např. využití výfukových plynů nebo spalin k předehřevu vzduchu nasávaného do spalovací komory nebo předehřevu ohřívaného media v průmyslových kotlích. Při předehřevu média vstupujícího do kotle se snižuje množství energie potřebné pro jeho ohřátí na požadovanou teplotu. V tomto případě nahradí získané teplo energii paliva, které se nemusí nakoupit. Tyto metody zpětného získání a využití tepla mohou pomoci průmyslovým podnikům snížit spotřebu a zároveň snížit emise skleníkových plynů.

4.3. Faktory ovlivňující využití odpadního tepla

Pro posouzení proveditelnosti VOT je nutné určit zdroj odpadního tepla a tok, kterým bude teplo přeneseno.

Důležité parametry, které musí být určeny:

- množství tepla
- kvalita tepla
- složení
- minimální povolená teplota
- provozní plány, dostupnost

Tyto parametry umožní analýzu množství a kvality tepla a poskytnou představu o možných materiálových a konstrukčních omezeních. Viz. korozivita teplotnosného media je velkým omezením i v případě, že ostatní parametry jsou vyhovující.

4.3.1. Množství tepla

Množství tepla je míra, která říká kolik energie je obsaženo v toku odpadního tepla, zatímco kvalita tepla je míra využitelnosti odpadního tepla.

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot h(t) \quad (1)$$

Kde E tok energie odpadního tepla, m je hmotnostní tok a h je měrná entalpie jako funkce teploty.

Přestože je disponibilní množství tepla důležitý parametr, samo není efektivní měrou využitelnosti odpadního tepla.

4.3.2. Kvalita tepla

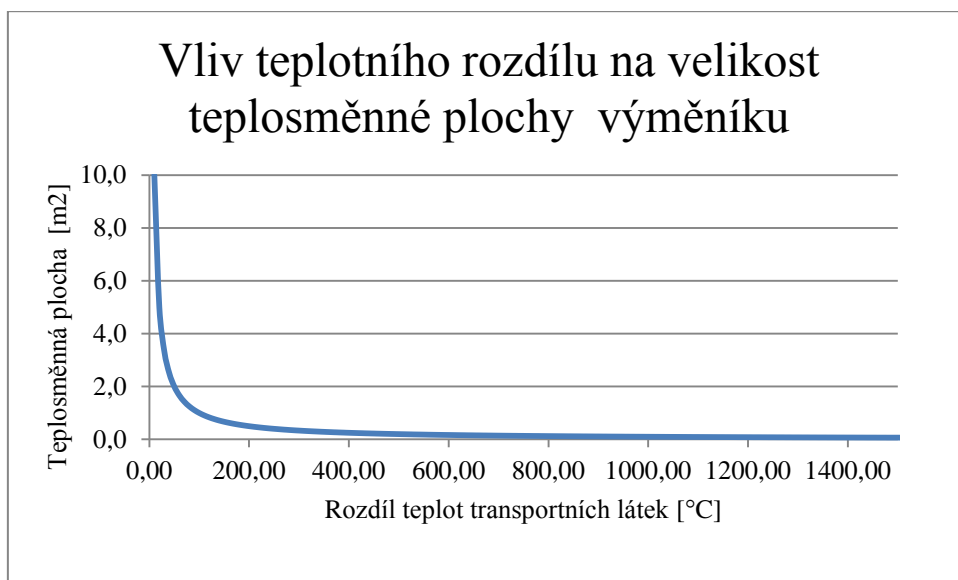
Teplota odpadního tepla je hlavním parametrem při určování jeho využitelnosti. Teploty odpadního tepla se mohou značně lišit např. teplota chladicí vody 50°C nebo sklářská tavící pec s teplotami spalin 1300°C. Rozdíl teplot zdroje a spotřebiče ovlivňuje:

- a) míru na jednotku plochy výměníku, s jakou je teplo přenášeno
- b) maximální teoretickou účinnost přeměny tepelné energie na energii mechanickou nebo elektrickou

Velikost teplosměnné plochy výměníku závisí na teplonosných médiích, koeficientu přestupu tepla daného výměníku a požadované velikosti přestupu tepla podle rovnice:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

Q je velikost přestupu tepla; U je součinitel přestupu tepla; A je velikost teplosměnné plochy; ΔT je teplotní rozdíl mezi teplonosnými médii.



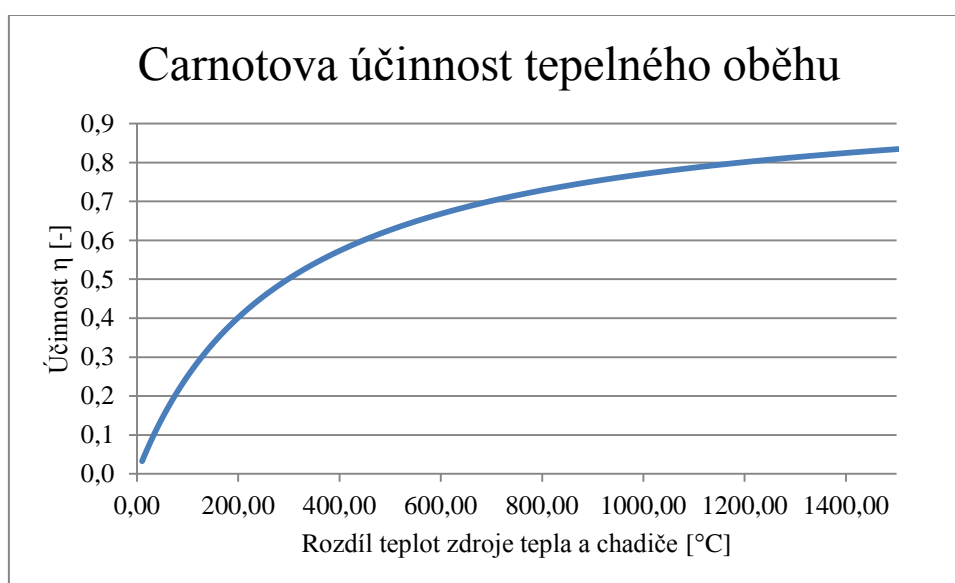
Obrázek 4 Vliv teplotního rozdílu na velikost teplosměnné plochy výměníku; zobrazeno pro přenášený výkon 1kW a uvažovaný součinitel přestupu tepla $U=10\text{W/m}^2\text{K}$

4.3.3. Maximální teoretická účinnost

Teplotní zdroje na různých teplotách mají různou teoretickou účinnost pro generování výkonu. Maximální účinnost při dané teplotě vyjadřuje Carnotova účinnost, která je definována jako:

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (3)$$

kde T_H je teplota zdroje odpadního tepla a T_L je teplota chladiče.



Obrázek 5 Carnotova účinnost tepelného oběhu pro referenční teplotu 25°C

Z prezentovaného grafu je zřejmé jakým způsobem ovlivňuje teplota odpadního tepla možnosti jeho dalšího využití.

4.4. Konvenční technologie pro využití odpadního tepla

Odpadní teplo může být využito přenosem mezi tekutinami, tj. předehřev spalovacího vzduchu a ohřívání média, přenosem tepla do taveného materiálu (sklářny), generování mechanického nebo elektrického výkonu nebo využití odpadního tepla tepelným čerpadlem pro vytápění nebo chlazení. V následující části zmíním jednotlivé technologie VOT a poté se zaměřím na možnosti využití nízkopotenciálního tepla.

Podle teploty zdroje můžeme rozdělit na aplikace: [16]

- vysokoteplotní ($>650^{\circ}\text{C}$)
- středněteplotní ($230\text{-}650^{\circ}\text{C}$)
- nízkoteplotní ($<230^{\circ}\text{C}$)

4.4.1. Tepelné výměníky

Tepelné výměníky jsou nejčastěji používány k předehřevu vzduchu vstupujícího do kotle z odváděných spalin. Protože vzduch vstupující do spalovací komory je předehřátý, energie palivem může být nižší. Používány jsou rekuperátory a regenerátory.

4.4.1.1. Rekuperátor

Rekuperátory získávají teplo z odcházejících horkých plynů z různých pecí např. žíhacích, tavicích atp. Tepelný přenos zajišťuje v rekuperátorech sálání, proudění nebo jejich kombinace. Sálavý přenos je realizován např. dvěma soustřednými trubkami. Horké odpadní plyny procházejí vnitřní trubkou, vnější stěna vnitřní trubky sálá na vnitřní stěnu vnější trubky. Ta ohřívá vstupující vzduch do spalovací komory. Konvektivní nebo trubkový rekuperátor je tvořen trubkami o relativně malém průměru v pouzdře, kterými prochází horké plyny. Vzduch vstupující do spalovací komory proudí okolo trubek a přebírá jejich teplo. Materiály rekuperátorů závisí na jejich aplikaci. Ocel je použitelná do teplot 1000°C . Při aplikacích s vyššími teplotami se používají materiály keramické. Ty mohou pracovat s teplotami cca do 1500°C

4.4.1.2. Regenerátor

Regenerátor je tvořen dvěma komorami s velkou tepelnou kapacitou přes které střídavě prochází horký a studený vzduch. Když komorou prochází horký vzduch komoru ohřívá, po určité době se proud vzduchu přesměruje a ohřátou komorou proudí studený vzduch vstupující do spalování. Cyklus se opakuje. Regenerátory jsou vhodné pro vysokoteplotní aplikace se znečišťujícími odpadními plyny. Nevýhodou mohou být jejich velké rozměry a s tím spojené náklady.

4.4.1.3. Pasivní přehříváče vzduchu

Pasivní přehříváč vzduchu je výměník typu plyn-plyn pro nízkoteplotní a středněteplotní aplikace, kde musí být z důvodů znečištění proudy teplého a studeného plynu odděleny. Tyto výměníky jsou voštinového typu nebo typu tepelné trubice.

4.4.1.4. Trubkový výměník/ Ekonomizér

Tepelný výměník s žebrovanými trubkami se často používají k ohřevu kapalin teplem získaným z odpadních plynů, které má nízkou nebo střední teplotu. Aplikace zahrnují přehřev vratné vody, vytápění prostorů, příprava TUV. Žebrovaná trubka je tvořena kruhovou trubkou s navařenými žebry, které maximalizují teplosměnnou plochu a součinitel přestupu tepla. Kapalina proudící trubkami přebírá teplo od plynů proudících okolo žebrovaných trubek.

4.5. Technologie pro využití nízkopotenciálního odpadního tepla

V případě spalin, značné množství tepla může být získáno, pokud se schladí pod teplotu kondenzace. Často jsou výměníky navrhovány na minimální pracovní teploty 120-150°C, aby se předcházelo kondenzaci vodních par obsažených ve spalinách a usazování korozivních látek na stěny výměníku. Přesto při zchlazení spalin pod tuto teplotu kondenzace značně zvýší využití odpadního tepla, protože se uvolní také skupenské teplo vypařování. Toto skupenské teplo tvoří význačnou část celkové energie obsažené ve spalinách.

Technologie použitelná pro využití nízkopotenciálního tepla zahrnuje nízkoteplotní ekonomizéry, systémy přímé a nepřímé kondenzace a v současnosti vyvíjené kondenzátory s transportní membránou. (Transport Membrane Condenser). [16]

4.5.1. Nízkoteplotní ekonomizéry

Jsou to ekonomizéry konstruované na minimální pracovní teplotu cca 65°C. Jde o konstrukce, které umožňují koncovou část trubky výměníku jednoduše vyměňovat nebo je koncová část vyrobena z vysokojakostního materiálu (korozivzdorné oceli) nebo standardní konstrukční ocel s povlakem (např. PTFE).

4.5.2. Kondenzační jednotky s nepřímým kontaktem

Kondenzační jednotky s nepřímým kontaktem ochlazují horké plyny až na teploty kolem 40°C. To jsou teploty, kdy vodní pára obsažená v plynech zkondenzuje téměř kompletně. Ve své podstatě jsou to trubkové výměníky z korozivzdorných ocelí, skla, PTFE atp.

4.5.3. Kondenzační jednotky s přímým kontaktem

V případě kondenzačních jednotek s přímým kontaktem ochlazování probíhá přímým mícháním např. procesní páry a chladicí vody. Horké plyny jsou chlazení shora přivedenou chladicí vodou. Ohřátá voda vystupuje z výměníku ve spodní části a odvádí přijaté teplo. Nevýhodou je v některých případech kontaminace vody látkami obsaženými ve spalinách.

4.5.4. Kondenzátory s transportní membránou

Kondenzátory s transportní membránou (Transport Membrane Condensers) je v současnosti vyvíjená technologie, která je schopná kromě skupenského tepla kondenzace vodních par obsažených ve spalinách vytěžit i tento kondenzát. Takto získaný kondenzát přes membránu není kontaminován - oproti kondenzačním jednotkám s přímým kontaktem. První aplikace byly demonstrovány na při VOT ze spalin kotlů na zemní plyn. [16]

4.5.5. Tepelná čerpadla

Výše popsané technologie zajišťují tok energie z vyššího potenciálu na nižší. V případě, že je k dispozici odpadní teplo o nižší teplotě než využitelné teplo např. v jiném procesu, v takovém případě je výhodné využití tepelného čerpadla pro zvýšení potenciálu odpadního tepla na požadovanou úroveň. Tepelná čerpadla absorbují energii ze zdroje tepla o nízké teplotě a vydají teplo o teplotě vyšší za použití vnější energie. Z pohledu využití odpadního tepla můžeme využít dvě koncepce. První představuje zvýšení potenciálu (teploty) odpadního tepla za dodání vnější energie. Druhá představuje využití odpadního tepla k pohonu absorpčního tepelného čerpadla.

Zda je zvýšení potenciálu ekonomické závisí především na požadovaném teplotním rozdílu a nákladech na palivo nebo elektrickou energii. V případě, kdy je požadována mírně vyšší teplota oproti teplotě odpadního tepla může být výhodnější použití tepelného čerpadla.

Při výběru TČ je nutné vzít v úvahu teplotu odpadního tepla a požadované zvýšení teploty. Typ tepelného čerpadla a chladiva ovlivní teploty, při kterých je může být přijímáno a odevzdáváno, maximální výstupní teplotu a tedy účinnost TČ. Účinnost tepelného čerpadla je tím nižší, čím vyšší je požadované zvýšení teploty. Tepelná čerpadla můžeme rozdělit podle principu zvýšení tepelného potenciálu na:

4.5.5.1. Kompresní TČ

Tepelné čerpadlo se skládá z výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního ventilu. Ve výparníku je energie přenesena ze zdroje odpadního tepla do chladiva, chladivo je nasáto od kompresoru, kde je stlačeno a je zvýšena jeho teplota. Přehřáté páry chladiva jsou vytlačeny do kondenzátoru a zde je teplo předáno. Poté je chladivo přepuštěno přes expanzní ventil do výparníku. Existují i systémy tzv. otevřené. Ty zvyšují tlak a následně teplotu přímo odpadních plynů. Systém MVR používá mechanickou energii ke zvýšení teploty, kdežto systém TVR používá vstřikování páry o vysoké teplotě.

4.5.5.2. Absorpční TČ

Absorpční tepelná čerpadla jsou základním uspořádáním velice podobná kompresorovým s tím rozdílem, že mechanický kompresor je nahrazen absenčním oběhem. Je tedy možné k pohonu „chemického kompresoru“ využít odpadní teplo.

4.5.5.3. Výroba výkonu z odpadního tepla

Pro generování výkonu z odpadního tepla se obvykle využívá odpadní teplo vzniklé při spalování, kde je tepelná energie transformována na mechanickou a ta pohání elektrické generátory. Jsou vyvíjeny některé další technologie generování elektrické energie přímo z energie tepelné. Jsou založené např. na termoelektrickém a piezoelektrickém principu. Účinnost přeměny tepelné energie na mechanickou a elektrickou je značně závislá na teplotě zdroje odpadního tepla. Obecně je výroba výkonu z odpadního tepla limitována na středněteplotní zdroje odpadního tepla. Nicméně existují i tepelné oběhy, které mohou být použity pro využití nízkoteplotního tepla. I když účinnost je nízká, vzhledem k velkému množství jinak nevyužitelného nízkopotenciálního tepla mohou mít zajímavou ekonomickou návratnost. Tepelné oběhy pro výrobu výkonu zastupuje především:

4.5.5.4. Organický Rankinův cyklus (ORC)

Parním Rankinovým oběhem nazýváme oběh, kdy teplo generuje vodní páru, která pohání parní turbínu. Rankinův oběh má nejvyšší účinnost při teplotách zdroje odpadního tepla 340-370°C [16]. Pro nižší teploty se využívá tzv. Organického Rankinova cyklu, kde je pára nahrazena organickou pracovní látkou, která má nižší vypařovací teplotu. To umožňuje pracovat s teplotami odpadního tepla i 70°C. Účinnost takového zařízení je nízká a závisí především na teplotě výparníku a kondenzátoru. ORC najde uplatnění všude tam, kde není dalšího využití pro generované odpadní teplo.

4.5.5.5. Kalinův cyklus

Kalinův cyklus je nadstavba Rankinova cyklu s tím rozdílem, že je jako pracovní tekutina použita směs amoniaku a vody. Klíčové je, že poměr amoniaku a vody je možné v průběhu cyklu měnit. To přináší zvýšení termodynamické reverzibility a v kombinaci s možností přizpůsobení teploty vypařování zdroji tepla zlepšení účinnosti. V současnosti nejvyšší účinnosti dosahované při VOT o teplotě 100-200°C. [16]

První komerční elektrárna s Kalinovým cyklem byla realizována v roce 1999 ve městě Kashima, Japonsko. Instalovaný výkon 3,5 MW. Zdrojem tepla chladicí voda z průmyslového procesu o teplotě 98°C.

5. NÁVRH VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA V ZADANÉM PODNIKU

Technologie zadaného podniku je chlazená vodou. Teplota vody z procesu vystupující je 20 °C a teplota vody do procesu vstupující má teplotu 18,8°C. Zadavatelem udaný průtok chladicí vody je 0,02428 m³s⁻¹. Měrná tepelná kapacita vody je zadána 4186 Jkg⁻¹K⁻¹ a hustota 1000 kgm⁻³. Průměrný výkon odběru elektřiny je 114,8 kW.

Procesní vodu o této teplotě je možné využít v kombinaci s tepelným čerpadlem k vytápění výrobních prostorů a ohřevu TUV. Chladicí vodu lze chladit a odpadní teplo po zvýšení potenciálu za přispění vnější energie využít pro vytápění a ohřev TUV. Vhodné umístění tepelného čerpadla (TČ) je u výměníků tlakového chlazení hrubotahů. Dnešní typy tepelných čerpadel mohou využít odpadní teplo z technologické vody o teplotě maximálně 20°C a při teplotě výstupní vody 60°C mají topný faktor 3.9. Ze zadaných hodnot průtoku a teplotního rozdílu vychází možný tepelný výkon chladicí vody na 121kW. Využitelnost výkonu chladicí vody po dobu 3000 hodin/rok je 77kW. Uvažujeme proto TČ o výkonu 100kW.

Pro 100 kW topného výkonu čerpadla při teplotě vody na výstupu z výměníku zařízení 20°C ukazuje elektrický příkon a chladicí výkon následující tabulka:

T _{top} (°C)	P _{el} (kW)	P _{chlad} (kW)	P _{top} (kW)
45	17,5	82,5	100
55	22,7	77,3	100
60	25,6	74,4	100

Tabulka 2 Výkonové parametry tepelného čerpadla 100kW

Při stanovení počtu konvektorových jednotek potřebných pro předání výkonu z tepelných čerpadel je třeba počítat, že jednotka, která má při teplotním spádu topné vody 90°C/70°C výkon P_{konv} , bude mít při spádu 45°C/40°C výkon $\frac{P_{konv}}{2,7}$ a při spádu 55°C/50°C výkon $\frac{P_{konv}}{1,8}$, hodnoty jsou přibližné. Odhad nákladů na TČ včetně předávacích výměníků a instalace je 1060 tis. Kč. Ekonomické hodnocení bude provedeno v rámci zprávy energetického auditu v kapitole 6.

6. ZPRÁVA Z ENERGETICKÉHO AUDITU ZADANÉHO PODNIKU

Pro zadaný průmyslový podnik je z dostupných dat zpracována dle vyhl. 480/2012 Sb. zpráva Energetického auditu.

ENERGETICKÝ AUDIT PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU

Datum: 5. 5. 2014

Zpracoval: Vladimír Malý

Číslo oprávnění:

Ev. Číslo energetického auditu:

Obsah energetického auditu

6.	ZPRÁVA Z ENERGETICKÉHO AUDITU ZADANÉHO PODNIKU	36
6.1.	Identifikační údaje	39
6.2.	Popis stávajícího stavu předmětu EA	40
6.3.	Vyhodnocení stávajícího stavu předmětu EA	50
6.4.	Návrh a popis opatření ke zvýšení účinnosti využití energie.....	57
6.5.	Souhrn hodnocených projektů.....	66
6.6.	Návrh variant a ekonomické vyhodnocení.....	67
6.7.	Výběr optimální varianty.....	69
6.8.	Doporučení	71
6.9.	Evidenční list energetického auditu a oprávnění	72

6.1. Identifikační údaje

6.1.1. Zadavatel

Název: PRŮMYSLOVÝ PODNIK

Zastoupený:

Osoba oprávněná k jednání ve
věcech technických:

Adresa sídla společnosti:

tel.:

fax:

e-mail:

IČ:

DIČ:

Bankovní spojení:

Obchodní rejstřík:

6.1.2. Zpracovatel

Zpracovatel: Vladimír Malý

Zastoupený:

Adresa:

tel.:

fax:

e-mail:

IČO

DIČ

Bankovní spojení:

Obchodní rejstřík:

6.1.3. Předmět energetického auditu

Název: KABELOVNA

6.2. Popis stávajícího stavu předmětu EA

Předmětem energetického auditu jsou vybrané objekty průmyslového podniku. Areál je tvořen výrobními halami, sklady a dalšími objekty.

Společnost vyrábí silové, zabezpečovací a sdělovací kabely pro široké použití.

	Název budovy	Vytápěna	Hodnocena v EA (Ano – Ne)
1	Kabelovna	Ano	Ano
2	Opletárna	Ano	Ano
3	Centrální předávací stanice (kotelna)	Ano	Ano
4	Výrobní haly	Ano	Ano
5	Expediční hala	Ano	Ano

Tabulka 3 Seznam budov, které jsou předmětem EA

6.2.1. Výčet energeticky významných technologií

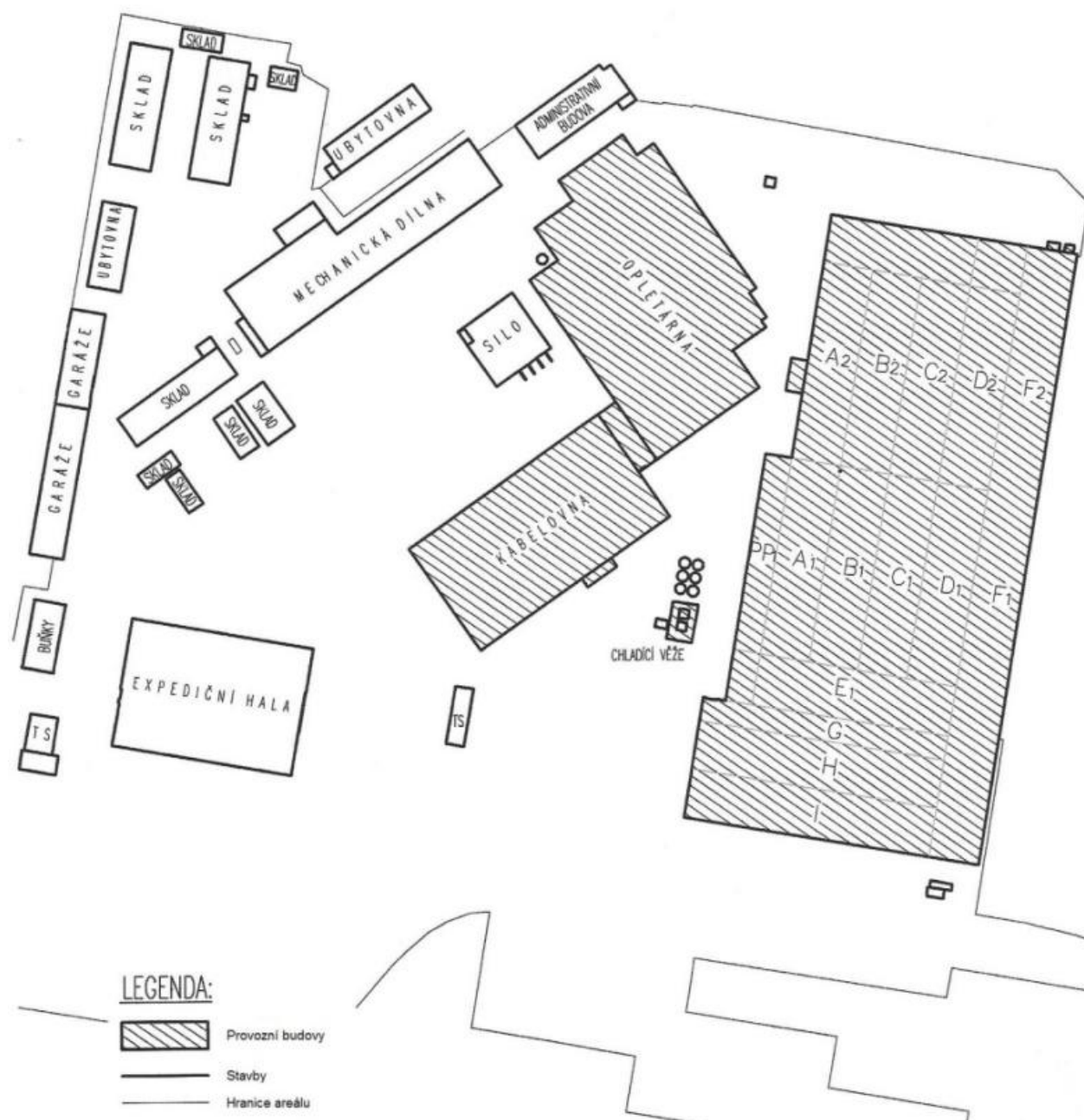
V provozu jsou využívány tři druhy energie: teplo, elektřina a tlaková energie stlačeného vzduchu.

Teplo slouží k vytápění a ohřevu TUV. Nakupované teplo je z cca 90 % použito k vytápění objektů, z 10 % k centrálnímu ohřevu TUV.

Elektřina je spotřebována na osvětlení a ve výrobních technologiích zejména pro pohon obráběcích strojů, pohon čerpadel chlazení a výrobu stlačeného vzduchu v kompresorových stanicích.

Stlačený vzduch se používá na ovládání výrobních strojů. Jedna z kompresorových stanic je umístěna v přístavku kabelovny, druhá ve výrobní hale E.

6.2.2. Situační plán



Obrázek 6 Situační plán

6.2.3. Energetické vstupy

Nakupované energie jsou teplo a elektrická energie. Společnost nespotřebovává jiná paliva ani jiný druh energie.

Položka	Jednotky	2009	2010	2011	Průměr
Nákup tepla	GJ	37 340	40 100	31 873	36 438
Náklady na teplo	tis. Kč	12 673	13 772	11 843	12 763
Nákup elektrické energie	MWh	17 261	17 952	16 776	17 330
	GJ	62 140	64 627	60 394	62 387
Náklady na elektřinu celkem	tis. Kč	46 601	48 467	45 292	46 787
- silová elektřina	tis. Kč	29 469	31 655	29 498	30 207
Celkem energie	GJ	99 480	104 727	92 267	98 825
- náklady	tis. Kč	59 274	62 239	57 135	59 549

Tabulka 4 Energetická bilance

6.2.3.1. Vlastní zdroje

Průmyslový podnik nedisponuje vlastními zdroji energie.

6.2.4. Systém zásobování teplem

Areál průmyslového podniku je zásobován teplem z horkovodu distributora. Odbočka z páteřního rozvodu je přivedena do centrální předávací a výměňkové stanice. Veškeré teplo se spotřebovává na vytápění a ohřev TUV.

V předávací stanici je instalován rozdělovač/sběrač otopné vody pro celý areál a zásobníkové ohříváče teplé vody pro centrální ohřev.

Množství dodaného tepla je měřeno fakturačním měřidlem v centrální výměňkové stanici. Pomocí podružných měřidel v rámci informačního systému Energis jsou v areálu měřeny dílčí odběry tepla.

6.2.4.1. Distribuční systém tepla

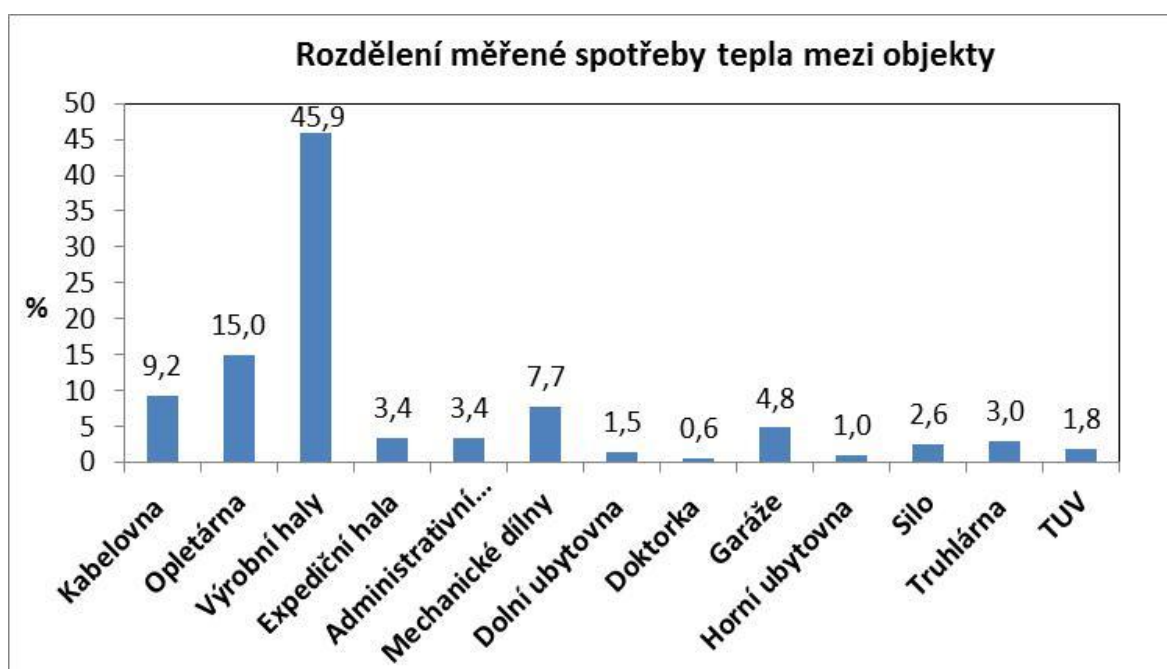
Z centrální předávací stanice jsou rozvedeny okruhy topné vody do objektových předávacích stanic. Teplovodní rozvody jsou převážně podzemní. Část potrubí je nadzemní. Podzemní rozvody jsou nedostupné, jejich stav je neznámý. Nadzemní potrubí je izolováno minerální vatou a oplechováno.

Topné větve se v objektových předávacích stanicích dělí na topné okruhy uvnitř objektů.

6.2.4.2. Spotřebiče tepla

Veškeré teplo se spotřebovává na vytápění a ohřev TUV. Vytápění je teplovodní s nuceným oběhem. Haly jsou vytápěny nástěnnými teplovzdušnými jednotkami, ostatní objekty otopnými tělesy. Ohřev teplé vody pro areál se provádí centrálním ohřevem otopnou vodou v centrální předávací stanici ve dvou zásobníkových ohřivačích o objemu 2500 litrů, odkud je rozvedena po areálu do jednotlivých objektů souběžně s rozvody topné vody.

Dodávka tepla je měřena v centrální výměňkové stanici fakturačním měřidlem. Tyto hodnoty odběru tepla naměřené při místních podmínkách přepočítává dodavatel tepla na oblastní výpočtovou teplotu -12 °C. Přípojný tepelný příkon areálu je stanoven na 6,038 MW.



Obrázek 7 Rozdělení měřené spotřeby

6.2.4.3. Bilance spotřeby tepla

Pro zpracování EA byly poskytnuty měsíční faktury. Nákup tepla uvádějí tabulky a graf:

Měsíc	2009	2010	2011	Průměr
	GJ	GJ	GJ	GJ
leden	8 850	7 810	6 212	7 624
únor	5 980	6 100	5 609	5 896
březen	4 620	5 000	3 662	4 427
duben	1 220	2 500	1 607	1 776
květen	530	2 450	1 088	1 356
červen	500	400	252	384
červenec	380	300	130	270
srpen	300	380	297	326
září	300	500	316	372
říjen	2 990	2 860	2 143	2 664
listopad	4 170	4 200	4 971	4 447
prosinec	7 500	7 600	5 586	6 895
Celý rok	37 340	40 100	31 873	36 438

Tabulka 5 Nákup tepla

V měsících červen- září je teplo spotřebovááno pouze pro ohřev teplé vody. Průměrná měsíční dodávka tepla v těchto měsících, tj. na ohřev TV je 249 GJ/měsíc. To zahrnuje finální spotřebu TUV a ztráty rozvody.

Zjištěné doplňující údaje:

- Průměrná cena vykazuje mírný vzestupný trend; za poslední dva roky o 9 %,
- Spotřební složka ceny (cena za množství) stagnuje
- Stálá složka ceny – cena za přípojný výkon výrazně roste a je příčinou růstu celkové průměrné ceny tepla
- Podíl stálé složky na celkových nákladech vzrostl z 31,3 % na 37,8 %.

Při úvahách o úspoře nákladů na teplo je tedy důležité správné stanovení přípojného výkonu, jehož snížení má vysoký finanční efekt.

6.2.5. Systém zásobování elektřinou

6.2.5.1. Zdroj elektrické energie

Areál je napájen z 22 kV distribuční soustavy prostřednictvím 4 trafostanic 22/0,4 kV, v nichž je instalováno celkem 14 transformátorů 1000 kW. Silové rozvody po areálu jsou provedeny podzemními kabely.

6.2.5.2. Spotřebiče elektřiny

Největšími spotřebiči elektřiny jsou technologická zařízení. Nejnáročnějším provozem je tažárna, jejíž spotřeba elektřiny dosahuje až 26 % celkové spotřeby průmyslového podniku. Následuje chladicí okruh technologie s 2,9 % a kompresory stlačeného vzduchu s 2,6 % celkové spotřeby.

6.2.5.3. Bilance elektrické energie

Přehled vývoje roční spotřeby a nákladů podle vlastních dat průmyslového podniku, dále vypočtený roční střední příkon a průměrné ceny silové elektřiny jsou uvedeny v tabulce:

	Nákup	Náklady na silovou elektřinu (bez DPH 20 %)	Střední příkon	Průměrná cena silové elektřiny
Rok	MWh	tis. Kč	kW	Kč/kWh
2000	16 197	24 164	1 849	1,49
2001	17 337	23 651	1 979	1,36
2002	16 734	23 031	1 910	1,38
2003	14 025	18 049	1 601	1,29
2004	15 270	21 014	1 743	1,38
2005	15 723	24 825	1 795	1,58
2006	16 734	23 031	1 910	1,38
2007	17 373	37 084	1 983	2,13
2008	16 822	37 084	1 920	2,20
2009	17 261	29 469	1 970	1,71
2010	17 952	31 655	2 049	1,76
2011	17 270	29 498	1 971	1,71

Tabulka 6 Nákup elektrické energie

Zjištěné doplňující údaje:

- Sjednaná roční rezervovaná kapacita je 3,1 MW.
- V důsledku výrazného poklesu ceny silové elektřiny a nepatrně i systémových služeb jsou celkové náklady v r. 2012 nižší o 4 179 tis. Kč (9,2 %).
- Po nákladech na silovou elektřinu je největší položkou v celkových nákladech příspěvek na OZE s KVET, který přesahuje dokonce náklady na rezervovanou kapacitu.

6.2.6. Systém zásobování stlačeným vzduchem

Stlačený vzduch je vyráběn ve dvou kompresorových stanicích. Jedna z kompresorových stanic je umístěna v přístavku kabelovny, druhá ve výrobní hale E. Kompresorovny zásobují spotřebiče v budovách, kde jsou umístěny.

V kompresorovnách jsou instalovány tyto jednotky:

Položka	Jednotka	Kompresor	Kompresor - Kabelovna	
		AYKY (výrobní haly)	CS 91	BS 51
Typ	-	CSD 102T	CS 91	BS 51
Vzduchový výkon	m ³ /min	9 400	9 300	4 200
Elektrický příkon	kW	55	55	30
Tlak vzduchu	bar	7,5	7,5	7,5

Tabulka 7 Výkonové parametry vzduchových kompresorů

Rozvody stlačeného vzduchu jsou jednotlakové. Při původním vyšším tlaku se používá cca 50 % množství, zbytek se redukuje na místě na nižší tlak cca 2,5 barů.

6.2.7. Tepelně technické vlastnosti budov

Hodnocené budovy jsou různého stáří a konstrukce, některé části střechy výrobních hal a expediční haly jsou zateplené.

Konstrukční charakteristiky budov jsou uvedeny v tabulce. [17]

Objekt	Využití podlaží	Rok výst.	Půdorysná plocha [m ²]	Počet NP/PP Výška objektu	1 – stěny 2 – sloupy 3 - stropy 4 - obvodový plášť 5 - střecha 6 - povrchová vrstva střešního pláště
PŘÍSTAVEK HALY E1	1. NP - soc. zařízení - garáž AKU vozíků	1992	222.49	1/0 6.1	2 – NOK 4 – NOK s cihelnou vyzdívkou 5 – ŽB 6 – živice
HALA B1, C1	1. NP - výroba	1974	2651.72	1/0 10.2	2 – ŽB 4 – ŽB s cihelnou vyzdívkou 5 – ŽB - světlíky - drátosklo v ocelových rámech 6 – živice
HALA E1	1. NP - dílny, zkušebna - pomocný sklad výrobků Přístavek 1 NP	1985	1494.81	1/0 10.2 1/0 6.1	2 – ŽB 4 – ŽB s cihelnou vyzdívkou 5 – ŽB - světlíky - drátosklo v ocelových rámech 6 – živice
<u>KABELOVNA</u> <u>KABELOVNA-</u> <u>ZKUŠEBNA, ROZVODNA</u> <u>KABELOVÁ HALA</u>	1. NP - výroba - expedice - el. rozvodna Vstavek 2. NP - sociální zařízení - kanceláře - zkušebna Přístavek 1. NP - kompresorová stanice	1941, 1941, 1936	Hala 2007.18 Přístavky 1871.1 Kompres. : 52.6	Hala 1/0 10.7 Přístavky 6.12 Kompres. : 1/0 3.8	1 – cihla 2 – cihla 3 – ŽB, HURDYS 4 – cihla 5 – dřevo 6 – plech
HALA D1, D2	1. NP - výrobní prostory	1976	2024.61	1/0 10.2	2 – ŽB 4 – ŽB s cihelnou vyzdívkou 5 – ŽB - světlíky - drátosklo v ocelových rámech 6 – živice

<p>OPLETÁRNA S PŘÍSLUŠ., JÍDELNA S VÝDEJNÍ KUCH., SKLAD MAT., KOTELNA, STARÁ ADM. BUDOVA</p>	<p>1. PP - velitelský kryt 1. NP - výrobná - soc. zařízení - kancelář - jídelna, kuchyň - předávací stanice - sklad - koridor 2. NP (pouze část) - sklad CO - brusírna - kanceláře 3. NP - kanceláře - fotokomora</p>	<p>1925, 1994, 1932, 1932, 1930, 1988</p>	<p>6323.00</p>	<p>1/0 4.75 2/0 6.1 3/0 8.5</p>	<p>1 – cihla 2 – ŽB, cihla 3 – ŽB 4 – ŽB s cihelnou vyzdívkou 5 – ŽB (dřevo, plech) 6 – živice, plech</p>
<p>VÝROBNÍ HALA C2, EMULZNÍ HOSP. ŽIL. LINEK</p>	<p>1. NP - výrobná</p>	<p>1981, 1994</p>	<p>1336.82</p>	<p>1/0 10.2</p>	<p>1 – cihla 2 – ŽB 4 – ŽB s cihelnou vyzdívkou 5 – ŽB - světlíky - drátosklo v ocelových rámech 6 – živice</p>
<p>VÝROBNÍ HALA A2, B2</p>	<p>1. NP - výrobná - zkušebna - mezisklad</p>	<p>1994</p>	<p>2640.10</p>	<p>1/0 10.2</p>	<p>1 – cihla 2 – ŽB 4 – ŽB s cihelnou vyzdívkou 5 – ŽB - světlíky - drátosklo v ocelových rámech 6 – živice</p>
<p>EXPEDIČNÍ HALA</p>	<p>1. NP - sklad - otevřená expediční rampa 90 m² Vstavek 1. NP - kanceláře - soc. zař. 2. NP - kanceláře - soc. zař. - el. rozvodna 8,41 m² - strojovna ÚT</p>	<p>1997</p>	<p>1810.72 Celková plocha vstavku, tj. 1. a 2. NP 222.14 m²</p>	<p>1/0 6.7 vstavek 2/0 6.0</p>	<p>1 – cihla, tvárnice (vstavek) 2 – ŽB 3 – ŽB (vstavek) 4 – ŽB s vyzdívkou 5 – ŽB + prosvětleno obloukovými světlíky 6 - živice</p>

HALA F	1. NP - výrobní prostory	1998	3294.00	1/0 7.6	2 – NOK 4 – sendvičové desky Al + polyuretan 5 – NOK – světlíky makrolon 6 – lakovaný Al plech
dostavba výrobní haly A2 – D2	1. NP - výrobní prostory	2001	1296	1/0 7,6	2 – NOK 4 – sendvičové desky Al + polyuretan 5 – NOK – světlíky makrolon 6 – lakovaný Al plech
HALA G1-1/2	1.NP - výrobní prostory	2004	486	1/0 7,6	2 – NOK 4 – sendvičové desky Al + polyuretan 5 – NOK 6 – lakovaný Al plech
HALA G1- 1/2,H1,I1, F1	1.NP - výrobní prostory	2007	4905	1/0 7,6	2 – NOK 4 – sendvičové desky Al + polyuretan 5 – NOK 6 – lakovaný Al plech

Tabulka 8 Konstrukční charakteristiky hodnocených budov

6.2.8. Systém managementu hospodaření s energií

Na systém managementu hospodaření energií se vztahuje norma ČSN EN 50001.

Protože o tomto systému průmyslového podniku nemáme dostatečné informace, nebudeme zde uvádět podrobnosti.

Obecně platí, že energetický management je základním nástrojem v oblasti šetrného, hospodárného a tedy i ekologicky ohleduplného nakládání s energiemi. Nejedná se však jen o vlastní energetické systémy, ale také o tepelně-technické vlastnosti samotných objektů, energetickou úspornost použitých technologií atd.

Cílem energetického managementu je optimalizace oblasti výroby, dodávky a spotřeby energie a tím snižování nákladů na energie. Energetický management představuje komplexní proces, zahrnující prvotní sběr dat a informací o spotřebě energií, jejich důkladnou analýzu, návrh úsporných opatření a kontrolu jejich fungování v praxi.

Rozdíl ve výdajích za energii totiž může být i při nepatrné změně podmínek poměrně znatelný. Nástrojem energetického managementu může být např.

- správa smluv a příslušných dokladů,

- každoroční příprava a projednání smluv na dodávky a distribuci médií,
- plánování, vyhodnocování a sjednávání dodávek médií s dodavateli,
- vyhodnocování skutečných hodnot a porovnání se sjednanými,
- kontrola dodavatelských faktur,
- hlídání výhodnosti tarifů dodávky tepla a elektřiny,
- měsíční a roční zpracování výkazů a diagramů o spotřebě energií, statistické, objemové a cenové vyhodnocování,
- sledování měrných ukazatelů spotřeby energie na jednotku produkce
- úsporné chování zaměstnanců.

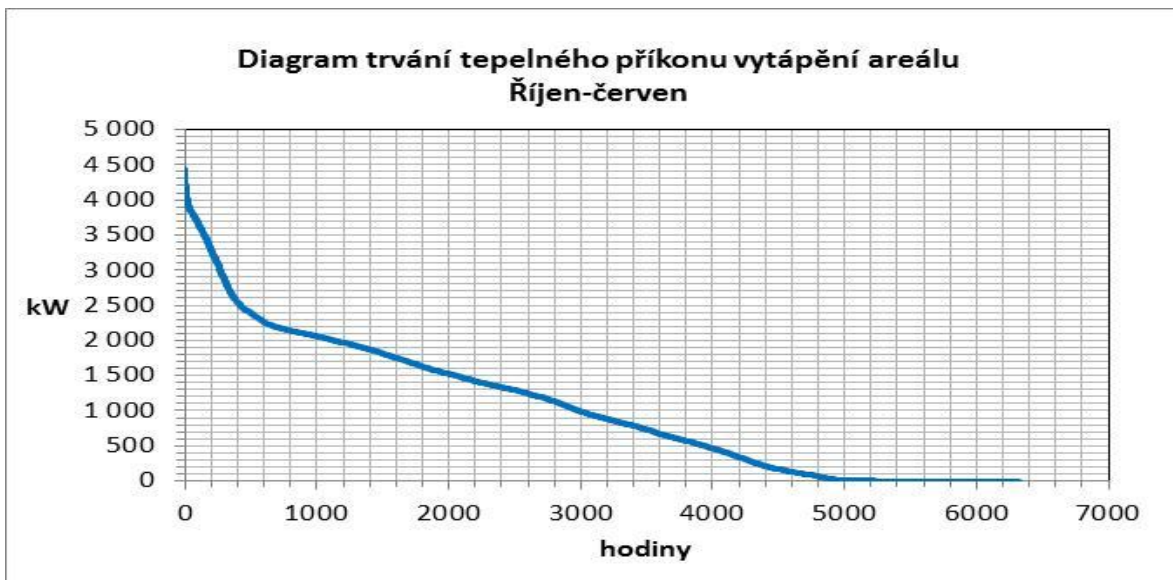
6.3. Vyhodnocení stávajícího stavu předmětu EA

Z poskytnutých naměřených hodnot množství tepla a elektřiny v jednotlivých měřicích místech byly zpracovány odběrové diagramy, které usnadňují posuzování energetické náročnosti a provozního režimu energetického hospodářství. Umožňují rovněž správné dimenzování výkonu zdrojů.

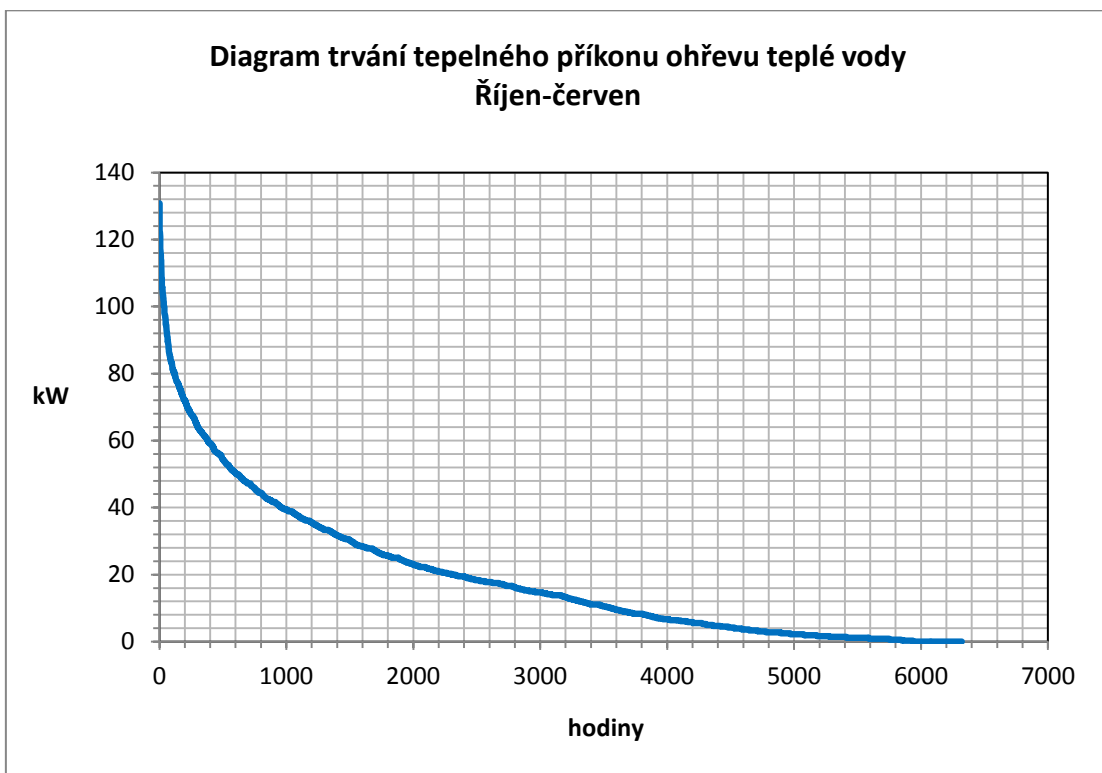
6.3.1. Teplo

Diagram trvání ukazuje, že tepelný příkon nad 3000 kW je využit po dobu 345 hodin za rok, příkon nad 4000 kW po dobu 115 hodin a příkon nad 4500 hodin pouze po dobu 14 hodin/rok. Stálý plat za připojený výkon se stanovuje z maximální naměřené hodnoty s platností na celý kalendářní rok. Je proto ekonomicky velice žádoucí snížit špičky odběru.

Roční naměřená špička je 4833 kW.



Obrázek 8 Diagram trvání tepelného příkonu vytápění



Obrázek 9 Diagram trvání tepelného příkonu na TUV

Ztráty tepelného výkonu rozvodem byly vypočteny jako rozdíl naměřených hodinových hodnot fakturačního měření distributora a součtu naměřených hodnot všech podružných měření průmyslového podniku. V otopném období ztrácí rozvodem tepla cca 250 kW a v mimootopném období 100 kW tepelného výkonu.

Parametr		Zimní den	Letní den	Otopné období
TV	kW	10	26	21
ÚT	kW	1 490	0	1 271
Ztráty	kW	260	104	250

Tabulka 9 Průměrné tepelné příkony

Z fakturovaného celoročního nákupu tepla a z měřených hodnot v období říjen-září byla stanovena struktura spotřeby tepla:

Parametr	Měrná jednotka	Rok		
		2009	2010	2011
Nákup tepla	GJ. r ⁻¹	37 340	40 100	31 873
Spotřeba tepla celkem	GJ. r ⁻¹	37 340	40 100	31 873
Vytápění a větrání	GJ. r ⁻¹	31 224	33 984	25 758
Finální spotřeba TV	GJ. r ⁻¹	619	619	619
Technologie	GJ. r ⁻¹	0	0	0
Ztráty rozvodem	GJ. r ⁻¹	5 497	5 497	5 497

Tabulka 10 Struktura spotřeby tepla

Ztráty tepla v rozvodech byly stanoveny výpočtem z bilance spotřeby tepla sestavené z dostupných údajů, především porovnáním fakturovaných a měřených množství a porovnáním spotřeb v letním a zimním období.

Procentuální struktura je 17 % nakoupeného tepla připadá na ztráty, 2 % na finální spotřebu TV a 81 % na vytápění a větrání.

6.3.2. Elektřina

Průběh příkonů lze reprodukovat z faktur, ve kterých dodavatel vždy uvádí klouzavý roční diagram měsíčních spotřeb (GWh), měsíční průběh hodinových denních maxim příkonu (kW) a denní průběh hodinového výkonu dne s maximálním zatížením (MW).

Sjednaná roční rezervovaná kapacita je 3100 kW. V ojedinělých případech, kdy dojde k překročení roční kapacity, účtuje se toto překročení jako dodatečně sjednaná měsíční rezervovaná kapacita.

Na základě měsíčních hodnot spotřeby lze konstatovat, že odběr elektrické energie je v průběhu roku rovnoměrný. Z diagramů na fakturách vyplývá, že hodinová denní maxima v průběhu jednotlivých měsíců se pohybuje v pracovních dnech na úrovni 2900 kW, zatímco o sobotách klesne na cca 1900-2000 kW a o nedělích ca 1700-1800 kW. Diagramy jsou poměrně vyrovnané, svědčí o nepřetržitém vytížení výrobní kapacity.

Dosahované maximální hodnoty hodinových maxim příkonu jsou blízko sjednané hodnotě a pouze ojediněle dochází k překročení.

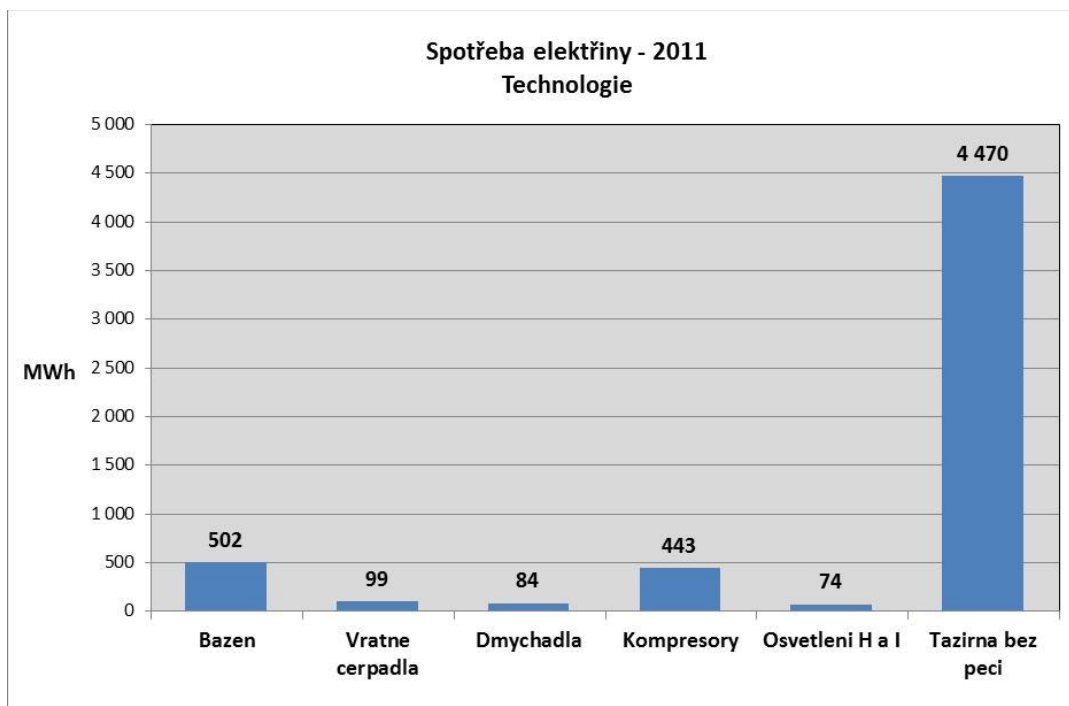
Měsíc	2011	2012
	Hodinové denní maximum	Hodinové denní maximum
	kW	kW
leden	2 945	3 245
únor	2 972	3 057
březen	2 937	3 060
duben	2 980	3 030
květen	3 150	3 003
červen	2 992	3 097
červenec	3 023	
srpen	3 118	
září	3 245	
říjen	3 180	
listopad	3 258	
prosinec	2 758	

Tabulka 11 Hodinová denní maxima elektrického příkonu

6.3.2.1. Měřená technologická spotřeba

V ročním úhrnu je podíl podružně měřené technologické spotřeby 36 % celkové spotřeby, přičemž 72 % této měřené technologické spotřeby připadá na tažírnu.

Následující grafy ilustrují strukturu a časový vývoj technologické spotřeby elektřiny v daném období. Grafy jsou zpracovány z poskytnutých tabulek. Spotřeba tažírny řádově převyšuje ostatní zařízení, roční průběh je proto zobrazen na samostatném grafu.



Obrázek 10 Měřená technologická spotřeba elektřiny

Roční údaje jsou shrnuty v tabulce.

Technologie	Roční spotřeba elektřiny
	MWh
Bazén	502
Vratná čerpadla	99
Dmyhadla	84
Kompresory	443
Osvětlení H a I	74
Tažirna bez pecí	4 470
Celkem měřená technologie	6 241
Vše neměřené	11 028
Celkem	17 270

Tabulka 12 Struktura spotřeby elektřiny v 2011

Největší roční spotřebu mají kompresory stlačeného vzduchu a stroje TH5, TH6 a TS3 tažirny, které budou předmětem zkoumání možnosti využití odpadního tepla.

Technologické soubory		Měřená technologie celkem	Tažírna celkem	Tažírna - TH5, TH6, TS3	Vzduchové kompresory celkem
¼-hodinové maximum	kW	406	318	291	62
Průměrný elektrický příkon	kW	157	114	87	28

Tabulka 13 Výkonové parametry odběrových diagramů technologie

Příkon vzduchových kompresorů

Příkon kompresorů má cyklický charakter s pravidelným poklesem na víkendové dny. Denní nerovnoměrnost příkonu je výrazná, špička spadá do období ranní směny (8 – 14 hod.). Roční průměrný příkon je 28 kW, po dobu 6000 hodin je využit příkon 21 kW.

Příkon tažírny - TH5, TH6, TS3

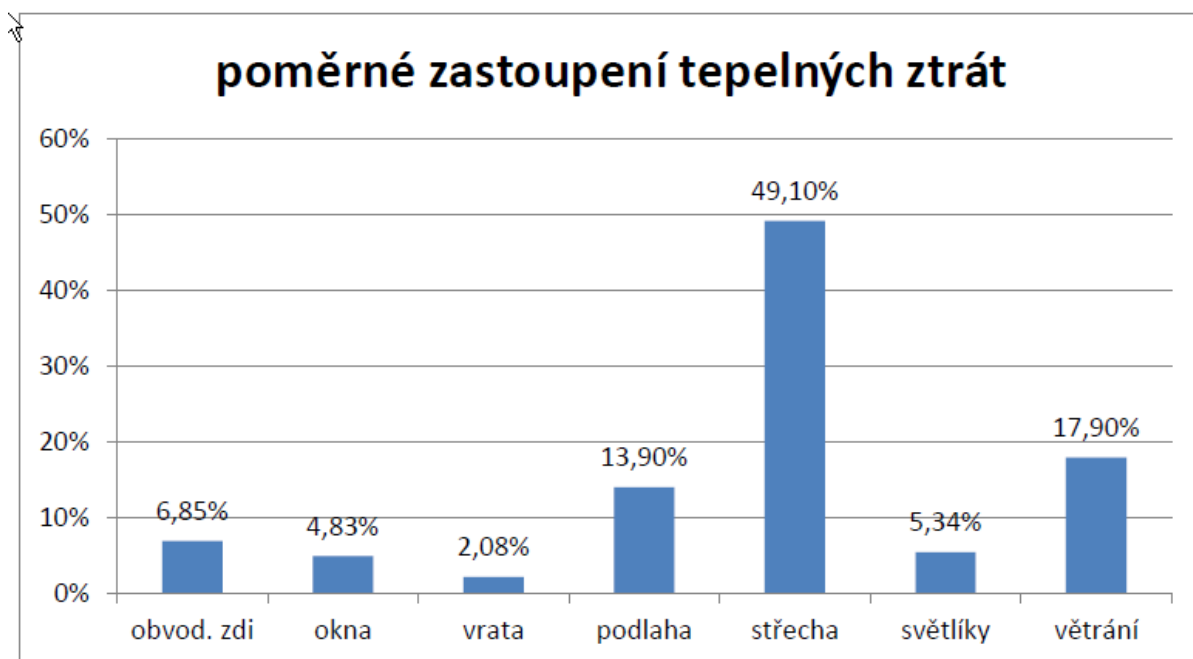
Příkon tažírny má cyklický charakter s pravidelným poklesem na víkendové dny. Cykly nejsou tak pravidelné jako u kompresorů. Denní nerovnoměrnost příkonu je výrazná, špička spadá do období ranní směny (8 – 14 hod.). Roční průměrný příkon je 87 kW, po dobu 6000 hodin je využit příkon 54 kW.

Příkon tažírny celkem

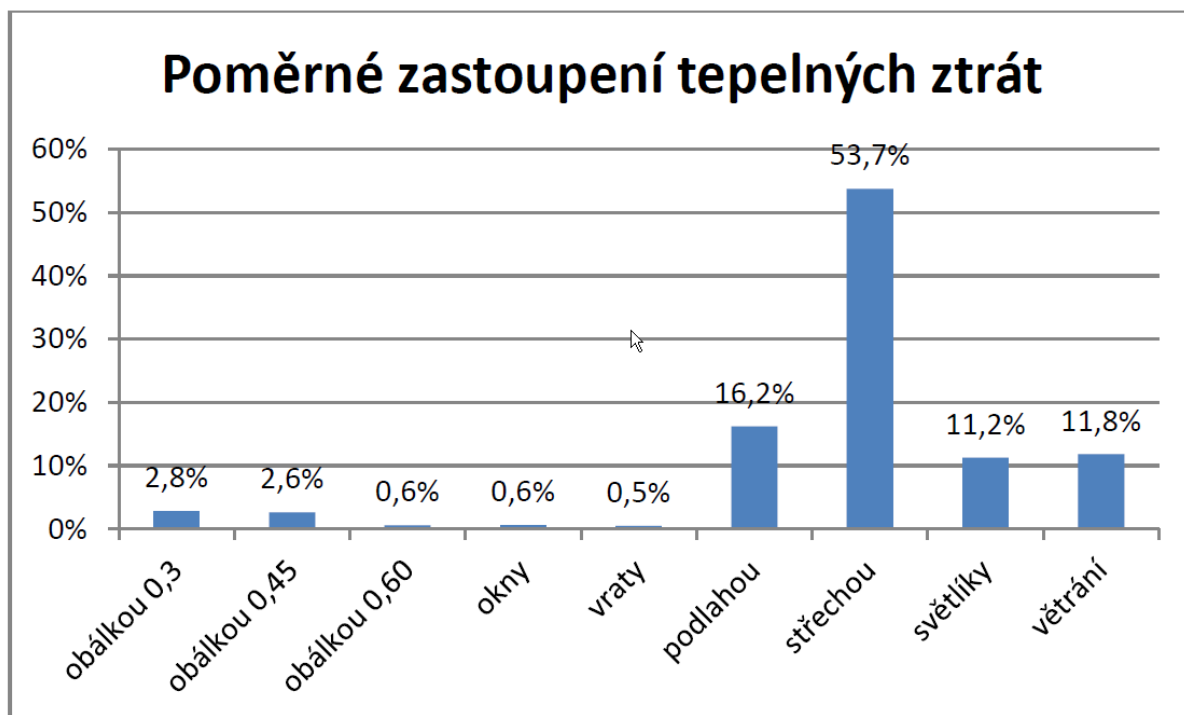
Celkový příkon tažírny má cyklický charakter příkonu s pravidelným poklesem na víkendové dny. Denní nerovnoměrnost příkonu je výrazná, špička spadá do období ranní směny (8 – 14 hod.). Roční průměrný příkon je 114 kW, po dobu 6000 hodin je využit příkon 77 kW.

6.3.3. Vyhodnocení tepelně technických vlastností konstrukcí

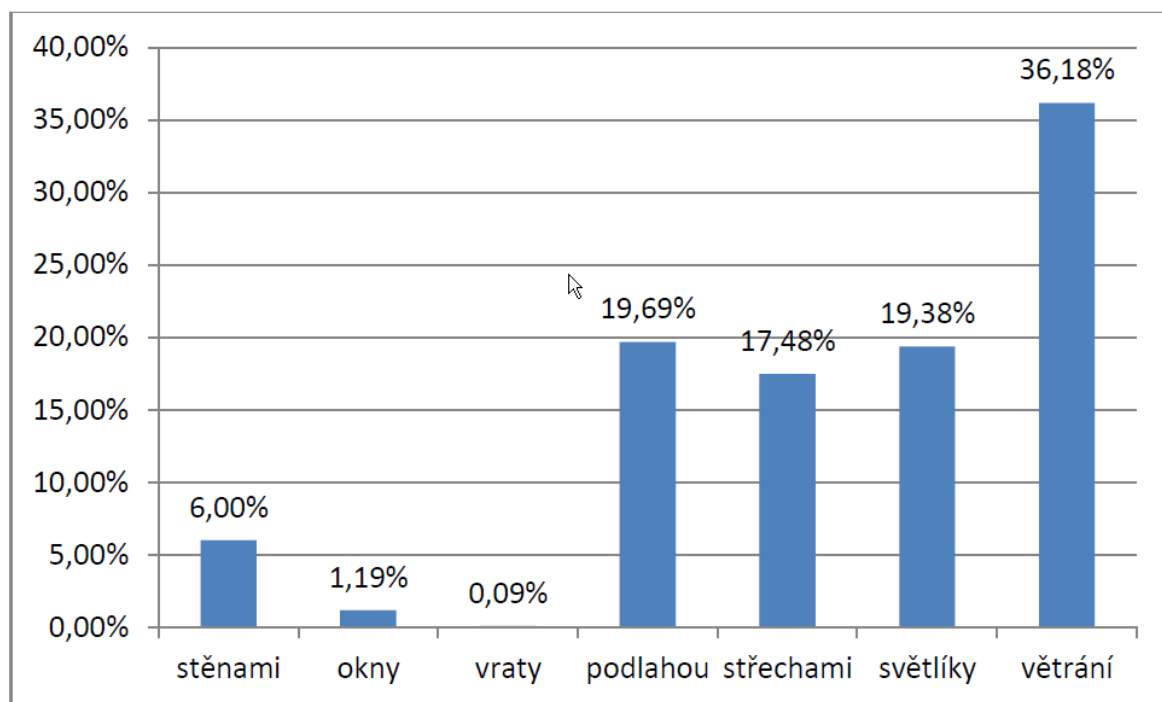
Výsledky vyhodnocení tepelně technických vlastností převzaty z [17].



Obrázek 11 Tepelné ztráty kabelovna



Obrázek 12 Tepelné ztráty opletárna



Obrázek 13 Tepelné ztráty haly

Závěry v [17] doporučují průmyslovému podniku snížit vnitřní teplotu na 19°C a zateplit střešní konstrukce minerální vatou tl. 150 mm.

6.4. Návrh a popis opatření ke zvýšení účinnosti využití energie

V této kapitole je provedena analýza vybraných projektů z hlediska energetické a ekonomické efektivity.

Úsporná opatření jsou rozdělena:

a) podle rozsahu investice:

- **beznákladová** - opatření především organizačního charakteru (energetický management apod.)
- **nízkonákladová** – opatření směřovaná především do oblasti provozu a údržby, případně drobná investiční opatření, která za poměrně malých investičních nákladů vyvolají efekt úspor energie a nákladů.
- **vysokonákladová** - opatření týkající se kompletní rekonstrukce systému, rozsáhlejší a komplexnější investiční opatření apod.

b) podle velikosti úspor a ekonomické návratnosti opatření:

- **opatření s rychlou návratností** - taková opatření, které dosahuje vysokých úspor energie v poměru k vynaloženým nákladům. Pro taková opatření musí již být vytvořeny podmínky.
- **opatření nenávratná nebo s vysokou dobou ekonomické návratnosti** - jsou to opatření směřující obecně ke snižování energetické náročnosti provozu zařízení.
-

6.4.1. Beznákladová opatření

6.4.1.1. Energetický management

Energetický management je základním nástrojem v oblasti šetrného, hospodárného a tedy i ekologicky ohleduplného nakládání s energiemi. Nejedná se však jen o vlastní energetické systémy, ale také o tepelně-technické vlastnosti samotných objektů, energetickou úspornost použitých technologií atd.

Nástroje energetického managementu jsou zejména:

- správa smluv a příslušných dokladů,
- každoroční příprava a projednání smluv na dodávky a distribuci médií,
- plánování, vyhodnocování a sjednávání dodávek médií s dodavateli,
- vyhodnocování skutečných hodnot a porovnání se sjednanými,
- kontrola dodavatelských faktur,
- hlídání výhodnosti tarifů dodávky tepla a elektřiny,
- měsíční a roční zpracování výkazů a diagramů o spotřebě energií, statistické, objemové a cenové vyhodnocování,
- sledování měrných ukazatelů spotřebu energie na jednotku produkce
- úsporné chování zaměstnanců

6.4.1.2. Snížení vnitřní teploty ve vytápěných objektech

Podle poskytnutých naměřených teplot v halách byly vypočteny průměrné vnitřní teploty vzduchu v otopném období (k dispozici byly údaje od listopadu 2011):

Expediční hala	⁰ C	19,7
Kabelovna	⁰ C	21,3
Opletárna	⁰ C	17,7
Výrobní haly	⁰ C	19,7

Tabulka 14 Průměrné teploty vytápění hal

Vnitřní teploty v halách jsou vyšší než by bylo možné doporučovat pro dané podmínky. Norma ČSN 73 0540-3 uvádí návrhové teploty pro strojírenskou výrobu 16-18 ⁰C.

Analýzou poskytnutých naměřených dat byla stanovena změna potřebného tepelného příkonu, roční spotřeby tepla na vytápění a snížení nákladů na teplo při snížení teploty vytápění o 1 ⁰C v budovách.

Snížení vnitřní teploty o 1⁰C tedy má 512 tis. Kč ročně při současné ceně tepla za množství 238,4 Kč/GJ a úsporu 7,4 % spotřeby tepla na vytápění.

Tento efekt lze dosáhnout beznákladově regulováním vytápění na požadovanou úroveň.

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
□T-VYT	Snížení teploty vytápění o 1 ⁰ C	GJ.r ⁻¹	2 147	512	0

Tabulka 15 Nároky a účinky opatření – Snížení teploty vytápění

6.4.1.3. Úprava režimu větrání hal

Intenzita výměny vzduchu v hale silně kolísá, zejména průvanem při otevřených dveřích. Navrhujeme maximálně využít stávající možnosti a technické prostředky pro řízení výměny vzduchu v halách, např.:

- utěsnění světlíků, přidání klapky k ventilátorům, aby když nejsou v činnosti vzduch neproudil
- organizačními opatřeními minimalizovat nežádoucí průvan (zabránit současnému otevření více dveří, minimalizovat čas otevření)
- vědomě řídit teplotu vzduchu v halách, provozním řádem upravit pravidla ovládání vytápění

Po skončení topné sezóny vyhodnotit vliv přijatých opatření.

Dosažitelné úspory tepla (v přepočtu na patu areálu) a nákladů jsou shrnuty v tabulce.

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
Vět-H	Úprava větrání – Výrobní haly	GJ.r ⁻¹	3 293	785	0
Vět-K	Úprava větrání – Kabelovna	GJ.r ⁻¹	708	169	0
Vět-O	Úprava větrání - Opletárna	GJ.r ⁻¹	988	236	0

Tabulka 16 Nároky a účinky opatření – Úprava režimu větrání hal

6.4.2. Nízkonákladová opatření

6.4.2.1. Využití odpadního tepla z kompresorů stlačeného vzduchu

Vzduchové kompresory produkují značné množství odpadního tepla, které je ve formě teplého vzduchu vypouštěno do atmosféry. Podle údajů výrobců lze rekuperaci získat zpět až 70 – 94 % elektrického příkonu kompresorů ve formě využitelného tepla.

Rekuperace tepla teplým vzduchem pro vytápění hal

Teplý chladicí vzduch se používá pro vytápění místnosti pomocí ventilačního systému. Teplotně řízené klapky zajišťují dosažení nastavitelné teploty. V zimě se teplo z výfuku používá zcela nebo částečně pro vytápěcí účely. V létě se vyfukuje do vzduchu přes výfukový vzduchový kanál.

Cca 94 % z celkového příkonu kompresoru se dá využít pro rekuperaci tepla vzduchotechnickými kanály, 4% příkonu se promění v požadovaný stlačený vzduch a zbytek 2% příkonu se vyzáří do okolí. Proto se velice často využívá vytápění odpadním teplem z kompresoru, které ve velkých firmách ušetří až statisíce korun ročně.

Teplota chladicího vzduchu se pohybuje okolo 25 °C nad teplotou okolí, což znamená, že při teplotě vzduchu v kompresorové stanici 25°C, na výstupu kompresoru bude teplota vzduchu odcházející do vzduchotechniky cca 50°C. Teplý vzduch pak nahradí teplovzdušné jednotky Sahara.

Pro potřeby technologie jsou instalovány následující zdroje stačeného vzduchu:

Parametr		Kompresor AYKY (výrobní haly)	Kompresorovna Kabelovna	
			CS 91	BS 51
Typ	-	CSD 102T	CS 91	BS 51
Vzduchový výkon	m ³ /min	9 400	9 300	4 200
Elektrický příkon	kW	55	55	30
Tlak vzduchu	bar	7,5	7,5	7,5
Množství teplého chladícího vzduchu	m ³ /min	9 400	10 000	6 200

Tabulka 17 Výkonové parametry vzduchových kompresorů

Umístění	Roční spotřeba	Průměrný příkon	Maximální příkon
	MWh	kW	kW
Kompresor AYKY – Výrobní haly	404,152	14	39
Kompresor - Kabelovna	570,997	20	45

Tabulka 18 Spotřeba elektřiny vzduchových kompresorů (1.7.2011-30.6.2012)

Teplo z kompresorů bude využito v místě, kde jsou kompresory situovány (Výrobní haly, Kabelovna). Rekuperované teplo bude využito pro vytápění v otopném období. Vzhledem k technologickým tepelným ziskům uvažujeme v rámcové bilanci s využitím tepla v období říjen – duben. Následující tabulky jsou sestaveny pro toto období.

Umístění	Spotřeba elektřiny v kompresorech	Průměrný příkon	Maximální příkon
	MWh	kW	kW
Kompresor AYKY – Výrobní haly	275,753	13	39
Kompresor - Kabelovna	398,113	19	45

Tabulka 19 Charakteristika odběrových diagramů elektřiny (říjen - duben)

Prostory	Spotřeba tepla na vytápění	Průměrný příkon	Maximální příkon
	GJ	kW	kW
Výrobní haly	11 181	651	2 314
Kabelovna	2 253	137	500

Tabulka 20 Charakteristika odběrových diagramů tepla v halách (říjen - duben)

Tepelné výkony na vytápění hal jsou dostatečně vysoké a nepředstavují žádné omezení pro využití tepla z kompresorů.

Kvůli jednoduchosti technického řešení a nižších investičních nákladů uvažujeme rekuperaci teplým vzduchem.

Úsporu tepla a nákladů rekuperací uvádí tabulka. Účinnost rekuperace je zvolena ve výši 80 %. Při výpočtu finančních úspor je použita cena tepla 238,4 Kč/GJ. Při výpočtu úspory tepla na patě areálu je uvažováno se ztrátami v rozvodech tepla ve výši 17,2 %.

	Účinnost rekuperace	Množství rekuperovaného tepla	Úspora tepla na patě (nákup)	Úspora nákladů na nákup tepla
Umístění	%	GJ	GJ	tis. Kč
Kompresor AYKY – Výrobní haly	80%	794	960	229
Kompresor - Kabelovna	80%	1147	1385	330

Tabulka 21 Úspora tepla a nákladů rekuperací tepla kompresorů

Teplo kompresorů nahradí teplo na vytápění ve výši 7 % ve výrobních halách a 51 % v kabelovně.

V případě kompresorů ve výrobních halách je na VZT potrubí kompresoru již nyní instalována klapka na přesměrování teplého vzduchu do haly. V kompresorovně kabelovny lze přenastavením klapky vést teplý vzduch nad střechu do atmosféry nebo do místnosti kompresorů, nikoli však do výrobních prostor. Zde je nutná instalace VZT potrubí na rozvod vzduchu uvnitř haly.

Investiční náklady jsou pouze rámcové a jsou stanoveny odhadem.

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
VK1	Rekuperace tepla kompresorů - Výrobní haly	GJ.r ⁻¹	960	229	0
VK2	Rekuperace tepla kompresorů - Kabelovna	GJ.r ⁻¹	1 385	330	50

Tabulka 22 Nároky a účinky opatření – Vzduchové kompresory

6.4.3. Vysokonákladová opatření

6.4.3.1. Využití odpadního tepla z technologie tepelným čerpadlem

Princip projektu spočívá v implementaci TČ v tažárně a jejich využití na ochlazení technologické vody oteplené provozem strojů. Nízkopotenciální teplo chladicí vody převedené pomocí TČ na vyšší potenciál bude použit na vytápění hal a nahradí tak část tepla nakupovaného z CZT.

Pro posouzení projektu je sestavena energetická a nákladová bilance provozu TČ.

Pro výběr vhodného výkonu TČ je použit diagram trvání elektrického příkonu strojů TH5, TH6 a TS3. V prvním přiblížení pro rámcové posouzení předpokládáme, že el. příkon strojů se přemění v teplo, které bude odváděno chladícím účinkem TČ. Z diagramu vyplývá, že po dobu 3000 hodin ročně lze odvést max. 100 kW tepelného výkonu. Tato doba ročního využití je zvolena s ohledem na doporučení výrobce TČ z důvodů poskytnutí záruk.

Pro základní bilanci TČ platí:

$$Q_{\text{top}} = Q_{\text{chlad}} + E_{\text{TČ}}$$

kde

Q_{top} - topný výkon TČ (kW),

Q_{chlad} - chladicí výkon TČ (kW),

$E_{\text{TČ}}$ - elektrický příkon TČ (kW).

V následující tabulce jsou uvedeny základní parametry vybrané jednotky:

Počet TČ	-	1
Topný výkon	kW	100,4
Chladicí výkon	kW	77,5
Elektrický příkon	kW	22,9
Topný faktor (COP)	-	4,4
Příkon oběhového čerpadla otopného okruhu	kW	0,6
Celkový elektrický příkon	kW	23,5
Topný faktor systému	-	4,3
Vstupní teplota vody	°C	20
Výstupní teplota vody z TČ	°C	55

Tabulka 23 Základní energetické parametry TČ

6.4.3.2. Energetická a nákladová bilance projektu tepelného čerpadla

Z uvedených výkonových parametrů byla vypočtena energetická bilance a s použitím aktuálních cen pak nákladová bilance instalace.

Cena elektřiny	Kč/MWh	2292,39
Cena tepla z CZT	Kč/GJ	238,4

Tabulka 24 Cena elektřiny a tepla

Výkony		
Topný výkon	kW	100,4
Chladicí výkon	kW	77,5
Elektrický příkon	kW	23,5
Využití instalovaného výkonu	h/rok	3000
Energetická bilance		
Dodávka tepla z TČ	GJ	1 084
Úspora tepla z CZT	GJ	1 310
Spotřeba el. energie	MWh	71
Náklady a výnosy		
Náklady na elektřinu	tis. Kč	161,6
Náklady na údržbu	tis. Kč	10,6
Úspora nákladů na nákup tepla	tis. Kč	312,4
Úspora provozních nákladů (T+E)	tis. Kč	140,2
Cena tepla z TČ	Kč/kWh	131,4

Tabulka 25 Roční provozní náklady projektu TČ

Investiční náklady byly stanoveny rámcově odhadem. Přesnější stanovení bude možné po zpracování technického projektu.

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
TČ	Využití odpadního tepla s pomocí TČ	GJ.r ⁻¹	1 056	140	1060

Tabulka 26 Nároky a účinky opatření - TČ

6.4.3.3. Zateplení výrobních objektů

Nejvyšší podíl na spotřebě tepla mají tři hlavní výrobní objekty. V [17] na základě podrobné analýzy stavebních konstrukcí a provozních podmínek v halách byly vypočteny základní energetické a ekonomické parametry zateplení objektů pro ekonomické vyhodnocení proveditelnosti. Výsledky obsahují tabulky.

Výrobní haly

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
Zat-H	Zateplení výrobní haly	GJ.r ⁻¹	13 634	5 235	58 122

Tabulka 27 Nároky a účinky opatření – Zateplení výrobní haly

Kabelovna

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
Zat-K	Zateplení kabelovny	GJ.r ⁻¹	2 283	877	14 659

Tabulka 28 Nároky a účinky opatření – Zateplení kabelovny

Opletárna

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
Zat-O	Zateplení opletárny	GJ.r ⁻¹	2 579	990	15 235

Tabulka 29 Nároky a účinky opatření – Zateplení opletárny

6.5. Souhrn hodnocených projektů

	Ozn.	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
			Jednot.	Množství	Náklady	
	-	-	-	GJ.r ⁻¹	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
1	DT-VYT	Snížení teploty vytápění o 1 ⁰ C	GJ.r ⁻¹	2 147	512	0
2	Vět-H	Úprava větrání – Výrobní haly	GJ.r ⁻¹	3 293	785	0
3	Vět-K	Úprava větrání – Kabelovna	GJ.r ⁻¹	708	169	0
4	Vět-O	Úprava větrání - Opletárna	GJ.r ⁻¹	988	236	0
5	VK1	Rekuperace tepla kompresorů - Výrobní haly	GJ.r ⁻¹	960	229	0
6	VK2	Rekuperace tepla kompresorů - Kabelovna	GJ.r ⁻¹	1 385	330	50
7	TČ	Využití odpadního tepla s pomocí TČ	GJ.r ⁻¹	1 056	140	1 060
8	Zat-H	Zateplení výrobní haly	GJ.r ⁻¹	13 634	5 235	58 122
9	Zat-K	Zateplení kabelovny	GJ.r ⁻¹	2 283	877	14 659
10	Zat-O	Zateplení opletárny	GJ.r ⁻¹	2 579	990	15 235

Tabulka 30 Soubor hodnocených projektů

6.6. Návrh variant a ekonomické vyhodnocení

Všechny výpočty byly provedeny za těchto okrajových podmínek:

- Doba hodnocení 20 let
- Fixní ceny vstupů (teplo, EE)
- Bez vlivu inflace
- $r=6\%$
- Doba odepisování 10 let

Hodnotí se:

- Prostá doba návratnosti - T_s
- Reálná doba návratnosti - T_{sd}
- Čistá současná hodnota (Net Present Value – NPV)
Podmínka realizace $NPV > 0$
- Vnitřní výnosové procento (Internal Rate of Return – IRR)
Podmínka realizace $IRR > r$ (diskont)

6.6.1. Ekologické vyhodnocení

Způsob ekologického vyhodnocení se provádí vždy metodou globálního hodnocení. V případě požadavku zadavatele energetického auditu je možné provést také ekologické vyhodnocení metodou lokálního hodnocení.

Globální hodnocení je prováděno na bázi celospolečenského pohledu. Při změně dodávek energie, která je vyráběna v jiném místě jsou do výpočtu zahrnuty emisní faktory vycházející, buď z konkrétních, nebo průměrných údajů o produkovaných znečišťujících látkách.

Lokální hodnocení je prováděno výhradně na bázi změn produkce znečišťujících látek ze zdrojů situovaných v lokalitě obce, ve které je umístěn předmět energetického auditu. [4]

6.6.2. Výsledky vyhodnocení

Název opatření		NPV	IRR	Tsd	Ts	Investiční náklady	Roční úspory	Úspory el. Energie	Úspory el. Energie	Úspory tepla	Úspory CO2
		tis. Kč	%	roky	roky	tis. Kč	tis. Kč	MWh/rok	GJ/rok	GJ/rok	t CO2/rok
DT-VYT	Snížení teploty vytápění o 10C	5713	-	1	0	0	512	0	0	2147	214
Vět-H	Úprava větrání – Výrobní haly	8759	-	1	0	0	785	0	0	3293	329
Vět-K	Úprava větrání – Kabelovna	1886	-	1	0	0	169	0	0	708	71
Vět-O	Úprava větrání – Opletárna	2633	-	1	0	0	236	0	0	988	99
VK1	Rekuperace tepla kompressorů – Výrobní haly	2555	-	1	0	0	229	0	0	960	96
VK2	Rekuperace tepla kompressorů – Kabelovna	3632	660	1	0	50	330	0	0	1385	138
TČ	Využití odpadního tepla s pomocí TČ	502	12	11	8	1060	140	-71	-256	0	-83
Zat-H	Zateplení výrobní haly	291	6	19	11	58122	5235	0	0	13634	1361
Zat-K	Zateplení kabelovny	-4873	1	>20let	17	14659	877	0	0	2283	228
Zat-O	Zateplení opletárny	-4188	2	>20let	15	15235	990	0	0	2579	257

Tabulka 31 Výsledky hodnocení

6.7. Výběr optimální varianty

V předchozí kapitole byla vytipována jednotlivá úsporná opatření, která se na základě hodnocení jeví jako smysluplná a realizovatelná. Při výpočtu účinků se předpokládala nezávislá realizace bez vlivu současné realizace některého jiného opatření.

V praxi je vhodné uvažovat o realizaci kombinace opatření vybraných z uvedeného souboru. Přitom je třeba vzít v úvahu možné synergické efekty, kdy společný účinek skupiny opatření bude odlišný od jednoduchého aritmetického součtu jednotlivých složek.

Jsou vybrány 2 varianty:

- **Varianta A**
 - zahrnuje opatření 1-6 ze souboru hodnocených opatření
- **Varianta B**
 - zahrnuje opatření 1-8 ze souboru hodnocených opatření

Při sestavování variant jsem neuvažoval se zateplením kabelovny a opletárny. Vykazují vzhledem k nastaveným okrajovým podmínkám nevyhovující ekonomické ukazatele. Zateplení výrobní haly vzhledem i přes kladnou hodnotu NPV bylo vyřazeno z důvodu vysoké počáteční investice.

6.7.1.1. Varianta A

Do této varianty byla zahrnuta všechna beznákladová a nízkonákladová opatření. Tento základní soubor úsporných opatření má nejvyšší prioritu a tvoří rovněž součást varianty B.

Zahrnutá opatření

DT-VYT - Snížení teploty vytápění o 1⁰C

Vět-H - Úprava větrání – Výrobní haly

Vět-K - Úprava větrání – Kabelovna

Vět-O - Úprava větrání - Opletárna

VK1 - Rekuperace tepla kompresorů - Výrobní haly

VK2 - Rekuperace tepla kompresorů – Kabelovna

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
A	Varianta A	GJ.r ⁻¹	9 481	2261	50

Tabulka 32 Nároky a účinky Varianty A

6.7.1.2. Varianta B

Do této varianty byla zahrnuta všechna beznákladová a nízkonákladová opatření a vysokonákladová opatření, která nebyla vyřazena z důvodu nevyhovujících ekonomických ukazatelů.

Zahrnutá opatření

DT-VYT - Snížení teploty vytápění o 1⁰C

Vět-H - Úprava větrání – Výrobní haly

Vět-K - Úprava větrání – Kabelovna

Vět-O - Úprava větrání - Opletárna

VK1 - Rekuperace tepla kompresorů - Výrobní haly

VK2 - Rekuperace tepla kompresorů – Kabelovna

TČ - Využití odpadního tepla s pomocí TČ

Ozn. opatření	Popis opatření	Úspora			Náklady na realizaci
		Jednotka	Množství	Náklady	
-	-	-	-	tis. Kč . r ⁻¹	tis. Kč
B	Varianta B	GJ.r ⁻¹	10537	2513	1110

Tabulka 33 Nároky a účinky Varianty B

6.7.2. Výsledky výpočtu ekonomické efektivity variant

Souhrn výsledků ekonomického hodnocení			
Ukazatel (- snížení, + zvýšení)	Jedn.	Varianta A	Varianta B
Investiční výdaje projektu	tis.Kč	50	1 110
Změna nákladů na palivo a teplo	tis.Kč	-2 261	-2513
Změna nákladů na elektřinu	tis.Kč	0	61
Změna ost. provozních nákladů	tis.Kč	0	0
Přínosy projektu celkem	tis.Kč/rok	2 261	2 452
Doba hodnocení	rok	20	20
Diskont	-	0,06	0,06
Hodnoty kritériálních ukazatelů:			
Prostá doba návratnosti T_s	rok	0,02	0,45
Reálná doba návratnosti T_{sd}	rok	0,22	0,48
Čistá současná hodnota NPV	tis.Kč	28 074	27 014
Vnitřní výnosové procento IRR	%	4904%	221%

Tabulka 34 Souhrn výsledků hodnocení variant

6.8. Doporučení

Na základě výsledků ekonomické a ekologické analýzy doporučuji implementovat variantu A. Za dobu hodnocení vygenerují navrhovaná beznákladová opatření peněžní hodnotu 28 mil. Kč.

Varianta A - OPATŘENÍ

DT-VYT - Snížení teploty vytápění o 1⁰C

Vět-H - Úprava větrání – Výrobní haly

Vět-K - Úprava větrání – Kabelovna

Vět-O - Úprava větrání - Opletárna

VK1 - Rekuperace tepla kompresorů - Výrobní haly

VK2 - Rekuperace tepla kompresorů – Kabelovna

Roční úspora energie bude 9841 GJ. Snížení emisí CO₂ o 808 tun/rok. Náklady na realizaci opatření jsou 50 tis. Kč.

Položka	Jednotky	Před zavedením opatření	Před zavedením opatření
Nákup tepla	GJ	36 438	26 597
Náklady na teplo	tis. Kč	12 763	10 502
Nákup elektrické energie	MWh	17 330	17 330
	GJ	62 387	62 387
Náklady na elektřinu celkem	tis. Kč	46 787	46 787
- silová elektřina	tis. Kč	30 207	30 207
Celkem energie	GJ	98 825	88 984
- náklady	tis. Kč	59 549	57 289

Tabulka 35 Energetická bilance před a po zavedení optimální varianty

6.9. Evidenční list energetického auditu a oprávnění

Ke každému energetickému auditu je připojen evidenční list energetického auditu, který má jednotnou formu a sumarizuje relevantní data EA. Jeho vzor je přílohou vyhl. 480/2012 Sb. Další závazná příloha je oprávnění energetického specialisty.

7. ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámit se s tvorbou energetického auditu v průmyslu, pro zadaný průmyslový podnik navrhnout využití odpadního tepla z určené technologie, návrh ekonomicky a technicky zhodnotit a vytvořit zprávu energetického auditu průmyslového podniku. Práce je tematicky rozčleněna na čtyři hlavní části. Na teoretickou část energetického auditu a návaznou legislativu, na průzkumu potenciálu úspor v průmyslu, na možnosti využití odpadního tepla a zprávu z provedeného energetického auditu průmyslového podniku.

Při seznamování se s literaturou zabývající se energetickým auditem jsem zaznamenal jistý rozdíl mezi přístupem k energetickému auditu v některé česky psané literatuře a literatuře cizí, anglosaské. **V české literatuře se častěji píše o náležitostech zpráv z energetického auditu, kdežto literatura cizí je spíše zaměřena na praktický rámec energetického auditu, tj. metody a přístrojové vybavení ke zjišťování energetických veličin atp.** Dle mého názoru má energetický audit jistě zásadní funkci při nastartování energetického managementu v průmyslu, ale i v jiných sektorech a to podle hesla „co neměříš, nemůžeš zlepšovat“.

Z druhé části práce vyplývá vcelku překvapivé zjištění, že poměrně velkou část energetických úspor můžeme zajistit při aplikaci tzv. beznákladových a nízkonákladových opatření a jejich důsledném dodržování. Jsou to jednoduchá opatření jako omezení chodu zařízení naprázdno, pravidelná údržba, kontrola a seřizování zařízení a technologických procesů, snížení neřízené ventilace v budovách, zlepšení chování spotřebitelů energie, nastavení korektních smluvních vztahů s dodavateli energie, správné nastavení sjednaných režimů odběru a tarifů apod.

Třetí část podává přehled o možnostech využití odpadního tepla z průmyslových procesů. Jak o možnostech optimalizace již instalovaných systémů využití odpadního tepla tak o relativně nových systémech využití nízkopotenciálního odpadního tepla jako je organický Rankinův cyklus nebo Kalinův cyklus. **Ne vždy je opatření pro využití odpadního tepla možné technicky realizovat, především z důvodů ekonomické rentabilnosti.** Příkladem opět může být zpráva z energetického auditu zadávaného průmyslového podniku, kdy se pro nízkopotenciální teplo chladící vody procesu nenašlo ekonomicky rentabilní využití.

Závěrečnou částí práce je zpráva z energetického auditu zadaného průmyslového podniku. Výstupem ze zprávy je doporučení realizovat sadu opatření ke zvýšení účinnosti užití energie ve variantě složené z beznákladových a nízkonákladových opatření. **Po vlastní realizaci průmyslový podnik sníží spotřebu tepelné energie o 27% a celkovou spotřebu energie o 10%. Využití odpadního tepla z technologie se z ekonomického hlediska nevyplatí realizovat.**

Použitá literatura

- [1] **Směrnice evropského parlamentu a rady 2002/91/ES o energetické náročnosti budov**, 2002
- [2] **Směrnice evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov**, 2010
- [3] Česká republika. **Zákon č. 318/2012 Sb. O hospodaření energií**, 2012
- [4] Česká republika. **Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku**, 2012
- [5] Česká republika. **Vyhláška č. 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov**. 2013
- [6] Česká Republika. **Sbírka zákonů č. 406/2000, Zákon o hospodaření energií**, 2000
- [7] MICHEJEV, M. **Základy sdílení tepla**. 1. vyd. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952
- [8] **Národní studie energetické efektivity - Část I - Energetická efektivity v České republice**, SRC International CS, 1999
- [9] **Energetické bilance ČR 2003 - 2005**, ČSÚ, 2007
- [10] **Studie možností úspor energie v českém průmyslu**, Ekowatt, o.s., 2008
[online]. [cit. 2014-05-05].
Dostupné z: hnutiduha.cz/sites/default/files/.../moznosti_efektivnosti_prumysl.pdf
- [11] **Národní akční plán energetické účinnosti České republiky**, MPO, Praha 2011
[online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z:
download.mpo.cz/get/45106/50714/583777/priloha002.pdf
- [12] Spitz, J. a kol.: **Hodnocení a monitorování energetické efektivity v ČR a srovnání s dalšími členskými zeměmi EU**, ENVIROS, s.r.o. pro ČEA, 2007
- [13] Norman, J.: **Industrial energy use and improvement potential**, 2013
[online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: eetd.lbl.gov/node/49461
- [14] **Guidelines for conducting an energy audit in industrial facilities**, Berkley National Laboratory
[online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: eetd.lbl.gov/node/49461
- [15] **Waste heat recovery** [online]. [cit. 2014-05-05].
Dostupné z: www1.eere.energy.gov/manufacturing/.../pdfs/waste_heat_recovery.pdf
- [16] **MPO efekt** [online]. [cit. 2014-05-05].
Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/cz/legislativa/>
- [17] Kachelmeier, J. **Snížení energetické náročnosti průmyslového podniku**: diplomová práce. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2013, 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Musálek.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Postup energetického auditu v průmyslu[14]	15
Obrázek 2 Spotřeba energie v průmyslových sektorech 2005 [TJ] [10]	16
Obrázek 3 Pro úspěšné využití odpadního tepla (VOT) musí být splněny tři základní podmínky [16]	25
Obrázek 4 Vliv teplotního rozdílu na velikost teplosměnné plochy výměníku; zobrazeno pro přenášený výkon 1kW a uvažovaný součinitel přestupu tepla $U=10W/m^2K$	28
Obrázek 5 Carnotova účinnost tepelného oběhu pro referenční teplotu 25°C	29
Obrázek 6 Situační plán.....	41
Obrázek 7 Rozdělení měřené spotřeby	43
Obrázek 8 Diagram trvání tepelného příkonu vytápění.....	51
Obrázek 9 Diagram trvání tepelného příkonu na TUV	51
Obrázek 10 Měřená technologická spotřeba elektřiny	54
Obrázek 11 Tepelné ztráty kabelovna	56
Obrázek 12 Tepelné ztráty opletárna.....	56
Obrázek 13 Tepelné ztráty haly.....	57

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Typické zdroje odpadního tepla a možnosti jejich využití.....	26
Tabulka 2 Výkonové parametry tepelného čerpadla 100kW	35
Tabulka 3 Seznam budov, které jsou předmětem EA	40
Tabulka 4 Energetická bilance	42
Tabulka 5 Nákup tepla.....	44
Tabulka 6 Nákup elektrické energie.....	45
Tabulka 7 Výkonové parametry vzduchových kompresorů.....	46
Tabulka 8 Konstrukční charakteristiky hodnocených budov	49
Tabulka 9 Průměrné tepelné příkony	52
Tabulka 10 Struktura spotřeby tepla.....	52
Tabulka 11 Hodinová denní maxima elektrického příkonu	53
Tabulka 12 Struktura spotřeby elektřiny v 2011	54
Tabulka 13 Výkonové parametry odběrových diagramů technologie.....	55
Tabulka 14 Průměrné teploty vytápění hal.....	59
Tabulka 15 Nároky a účinky opatření – Snížení teploty vytápění	59
Tabulka 16 Nároky a účinky opatření – Úprava režimu větrání hal	60
Tabulka 17 Výkonové parametry vzduchových kompresorů.....	61
Tabulka 18 Spotřeba elektřiny vzduchových kompresorů (1.7.2011-30.6.2012)	61
Tabulka 19 Charakteristika odběrových diagramů elektřiny (říjen - duben)	61
Tabulka 20 Charakteristika odběrových diagramů tepla v halách (říjen - duben)	61
Tabulka 21 Úspora tepla a nákladů rekuperací tepla kompresorů.....	62
Tabulka 22 Nároky a účinky opatření – Vzduchové kompresory	63
Tabulka 23 Základní energetické parametry TČ	64
Tabulka 24 Cena elektřiny a tepla	64
Tabulka 25 Roční provozní náklady projektu TČ	64
Tabulka 26 Nároky a účinky opatření - TČ.....	65
Tabulka 27 Nároky a účinky opatření – Zateplení výrobní haly	65
Tabulka 28 Nároky a účinky opatření – Zateplení kabelovny.....	65
Tabulka 29 Nároky a účinky opatření – Zateplení opletárny	66

Tabulka 30	Soubor hodnocených projektů.....	66
Tabulka 31	Výsledky hodnocení	68
Tabulka 32	Nároky a účinky Varianty A.....	70
Tabulka 33	Nároky a účinky Varianty B.....	70
Tabulka 34	Souhrn výsledků hodnocení variant	71
Tabulka 35	Energetická bilance před a po zavedení optimální varianty	72

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Diagram toků energie v energetické bilanci ČR 2010

Příloha 2: Identifikace energeticky úsporných opatření v průmyslu