

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Roman Kučera

ID: 155189

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Návrh systému pro využití nízkopotenciálního tepla

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište základní možnosti využití nízkopotenciálního tepla a rozdělení zdrojů nízkopotenciálního tepla.
2. Zpracujete a popište provozní vlastnosti tepelných výměníků a tepelných čerpadel.
3. Pro definovaný objekt stanovte energetický potenciál odpadního tepla pro další využití.
4. Navrhněte technické řešení pro využití odpadního tepla definovaného objektu a proveďte energeticko-ekonomické vyhodnocení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 5.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace

KUČERA, R *Návrh systému na využití nízkopotenciálního tepla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 63s.
Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma *Návrh systému na využití nízkopotenciálního tepla* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a vedoucího pro úsek energetiky ve firmě *Huhtamaki a.s.* v Přibyslavicích s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **6. červen 2017**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petrovi Mastnému, Ph.D. za trpělivost, účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce, mojí rodině za podporu v průběhu nejen vypracování bakalářské práce, ale po celou dobu studia, vedoucímu zadaného projektu ve firmě *Huhtamaki a.s.* v Příbyslavicích panu Kučerovi Davidovi a dále oponentovi Ing. Janu Bartoňovi.

V Brně dne **6. červen 2017**

.....

podpis autora



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**NÁVRH SYSTÉMU PRO VYUŽITÍ NÍZKOPOTENCIÁLNÍHO
TEPLA**

SYSTEM PROPOSAL FOR THE USE OF LOW-POTENTIAL HEAT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Kučera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2017

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou nízkopotenciálního tepla z pohledu energetiky, jeho zdroji a následným využitím. V první řadě se zmiňuje o původu těchto zdrojů a uvádí, kde můžeme takové zdroje najít. Jsou zde zmíněny technologie, které dokáží s tímto teplem pracovat, například tepelná čerpadla a solární kolektory. V další části se práce zabývá využitím odpadního tepla pro vytápění a výrobu elektrické energie. V poslední části je pak představen projekt, který řeší konkrétní návrh systému pro vytápění objektu odpadním teplem.

Klíčová slova

Nízkopotenciální, výměník, tepelné čerpadlo, teplo, Sluneční energie, geotermální energie, systém, vzduchotechnika.

Abstract

This bachelor thesis deals with the problematics of a low-potential heat from the energetics point of view. It also deals with the sources and subsequent use of the low-potential heat. First of all, the thesis mentions the origin of these sources and also describes where they can be found. Also the technologies, that are able to utilize this heat, like heat pumps and solar collectors, are mentioned in this part of the thesis. In its next part, the bachelor thesis deals with use of the waste heat for heating and production of electrical energy. In the last part, the thesis presents the project that introduces a specific concept of the system for object heating from the waste heat.

Keywords

low-potential heat, exchanger, heat pump, heat, solar energy, geothermal energy, systém, air conditioning.

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Energie na Zemi	11
2.1 Energie Slunce.....	11
2.1.1 Stavba Slunce	12
2.1.2 Sluneční záření	13
2.1.3 Sluneční záření v ČR.....	14
2.1.4 Využití Sluneční energie	15
2.2 Geotermální energie	15
2.2.1 Stavba Země a její teplota	15
2.2.2 Využívání geotermální energie	17
2.2.3 Výroba elektrické energie z geotermální energie	18
2.2.4 Příklady geotermálních elektráren	18
3. Nízkopotenciální zdroje energie na Zemi.....	19
3.1 Primární zdroje energie	19
3.1.1 Teplo z půdy a podloží.....	19
3.1.2 Teplo z podzemní a povrchové vody	20
3.1.3 Teplo z okolního vzduchu	20
3.1.4 Solární tepelná energie.....	21
3.2 Sekundární zdroje.....	21
3.2.1 Odpadní teplo.....	22
4. Systémy na využití nízkopotenciální energie.....	23
4.1 Tepelné výměníky.....	23
4.1.1 Použití teplených výměníků	23
4.1.2 Systémy výměníků a parametry.....	23
4.2 Tepelná čerpadla.....	24
4.2.1 Princip tepelného čerpadla	24
4.3 Solární tepelné kolektory.....	26
4.3.1 Konstrukce solárního kapalinového kolektoru.....	26
4.3.2 Instalace solárního kolektoru	27
4.3.3 Účinnost solárního kolektoru.....	28

5. Výroba tepla a elektřiny z odpadního tepla	29
5.1 Výroba tepla z odpadního tepla	29
5.2 Výroba el. energie z odpadního tepla	29
5.3 Výroba el. energie z odpadního tepla pomocí TE jevu	30
5.3.1 Peltierův článek	31
6. Praktická část	33
6.1 Představení firmy Huhtamaki Česká Republika a.s. Příbyslavice	33
6.2 Historie továrny	34
6.3 Výrobní proces	34
6.3.1 Rozvlákňování a třídění sběrového papíru	34
6.3.2 Princip výrobního stroje	35
6.3.3 Lisování, potisk	36
6.3.4 Skladování a expedice	36
6.3.5 Kvalita vlastních výrobků	36
7. Představení projektu	37
7.1 HALA 3	37
7.1.2 Prostor sušáren	37
7.2 Návrh systému vzduchotechniky pro využití odpadního tepla	38
7.2.2 Komponenty navrhované vzduchotechniky	39
7.3 Energeticko-ekonomické zhodnocení projektu	45
7.4 Výpočtová část	48
8. Závěr	57
Použitá literatura	58
Seznam symbolů, veličin a zkratk	60
Seznam příloh	62

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 Struktura Slunce [2]</i>	12
<i>Obrázek 2 Poměr složek slunečního záření dopadajících na Zemi [2]</i>	13
<i>Obrázek 3 Sluneční mapa pro Českou republiku [3]</i>	14
<i>Obrázek 4 Složení hmoty Země [5]</i>	16
<i>Obrázek 5 Tektonická mapa desek na Zemi [2]</i>	17
<i>Obrázek 6 Druhy využívání tepelných čerpadel [9]</i>	22
<i>Obrázek 7 Princip funkce tepelného čerpadla [17]</i>	25
<i>Obrázek 8 Schéma solárního kolektoru [2]</i>	27
<i>Obrázek 9 Výška Slunce nad obzorem [2]</i>	28
<i>Obrázek 10 Schéma a T-s diagram ORC oběhu [13]</i>	29
<i>Obrázek 11 Termoelektrické dvojice [16]</i>	31
<i>Obrázek 12 Konstrukce Peltierova článku [16]</i>	32
<i>Obrázek 13 Logo firmy Huhtamaki [18]</i>	33
<i>Obrázek 14 Závod v Příbyslavicích [18]</i>	33
<i>Obrázek 15 Ukázka výrobků [18]</i>	34
<i>Obrázek 16 Schéma výrobního stroje [18]</i>	35
<i>Obrázek 17 Logo normy FCS [18]</i>	36
<i>Obrázek 18 Hala3</i>	38
<i>Obrázek 19 Axiální ventilátor TBCT/4</i>	40
<i>Obrázek 20 Tabulka dostupných ventilátorů [19]</i>	40
<i>Obrázek 21 Pružná spojka [19]</i>	41
<i>Obrázek 22 Spiro potrubí [19]</i>	41
<i>Obrázek 23 Odbočka 45° jednostranná [19]</i>	42
<i>Obrázek 24 Oblouk 45° segmentový [19]</i>	42
<i>Obrázek 25 Regulační klapka KU [19]</i>	43
<i>Obrázek 26 Protipožární klapka [19]</i>	44
<i>Obrázek 27 Množství spotřebovaného zemního plynu</i>	46
<i>Obrázek 28 Závislost součinitele tření λ na Re a relativní drsnosti ϵ</i>	54
<i>Obrázek 29 Tlaková ztráta regulační klapky v důsledku natočení listu klapky [19]</i>	55
<i>Obrázek 30 návrh vzduchotechniky na Hale 3</i>	56

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 Rozměry pružné spojky</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 2 Rozměry kruhového potrubí.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 3 Rozměry odbočky</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 4 Rozměry segmentového oblouku</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 5 Rozměry regulační klapky.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 6 Rozměry protipožárních klapek.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 7 Vzduchotechnika HALA3 - potřebné komponenty.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 8 Náklady za provoz klimatizačních jednotek SAHARA 75kW.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 9 Doba dosažení požadované teploty v místnosti.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 10 Tlaková ztráta 1. větve.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 11 Tlaková ztráta 2. větve.....</i>	<i>52</i>

1. ÚVOD

V teoretické části práce řešíme otázku nízkopotenciální energie. Na Zemi dopadá ze Slunce neustále obrovské množství energie. Země ovšem také velké množství energie vyzařuje. Ta pochází ze zemského jádra a nazýváme ji geotermální energií. Energie z obou těchto zdrojů se na Zemi hromadí do média, především ve formě tepla.

Obecně to jsou pevné, plynné nebo kapalné látky, které se vyskytují volně v přírodě a mají vlastní tepelnou kapacitu, jako například voda, vzduch nebo půda, přesněji řečeno zemské podloží. Můžeme sem zařadit i energii Slunce jako sluneční záření. Tato energie je v látkách ovšem uložena s nízkou teplotou (s nízkým potenciálem), proto ji nazýváme nízkopotenciální.

Po dlouhou dobu zůstávala NPT energie nepovšimnuta. S technologickým pokrokem a novými objevy jsme dokázali i tuto energii extrahovat z nosného média. Můžeme toho dosáhnout pomocí tepelného výměníku. V případě využití slunečního záření se nejčastěji používají solární kolektory.

V praktické části práce se zabýváme samotným návrhem systému na využití nízkopotenciálního tepla ve výrobním závodu *Huhtamaki a.s.* v Příbyslavicích na Třebíčsku. Problém se týká vytápění odpadním teplem z výrobního procesu a návrhu systému klimatizace ve výrobní hale, pomocí které budeme dále rozvádět teplý odpadní vzduch do dalších prostor haly. Tím by se měly ušetřit výdaje za vytápění plynem pomocí klimatizačních jednotek.

2. ENERGIE NA ZEMI

Zdroje energie můžeme z pohledu dopadů na životní prostředí rozdělit na dva základní druhy, obnovitelné a neobnovitelné.

Obnovitelné zdroje energie mají schopnost se částečně nebo úplně obnovovat. Jsou projevem přirozených geofyzikálních a kosmických toků energie a řídí je procesy, které nejsou závislé na člověku. Většina z nich má svůj původ v procesech, které probíhají v jádru Slunce, jiné souvisejí s geofyzikálními pochody na Zemi.

Mezi obnovitelné zdroje energie řadíme energii větru, energii slunečního záření, energii vody, geotermální energii a energii biomasy.

Neobnovitelné zdroje energie se na Zemi vyskytují pouze v omezeném množství a nemají schopnost „obnovy“. Na výrobu energie se v současné době hojně využívají tzv. fosilní paliva. Mezi fosilní paliva řadíme uhlí, ropu a zemní plyn. [3]

My si rozebereme dva základní zdroje energie na Zemi, sluneční a geotermální.

2.1 Energie Slunce

Využití slunečního záření je nejčistší a nejšetrnější způsob získávání energie. Přibližně jedna polovina zářivého toku ze Slunce je pohlcena zemským povrchem a přemění se v teplo. Pohlcená energie se následně vyzáří v podobě infračerveného záření, s vlnovou délkou 10μm do okolního vesmíru. Země se tedy chová jako transformátor energie.

Velká část energie dopadající na oceány se spotřebuje k odpaření vody. Páry jsou vynášeny vzestupnými proudy vzhůru, kde kondenzují a předávají své skupenské teplo okolí. Toto je základní způsob ohřevu horních vrstev troposféry. Cirkulací zahřátého vzduchu vzniká vítr.

Kinetická energie větru pochází tedy ze slunečního záření. Procesy přeměny slunečního záření v biosféře jsou sice z energetického hlediska zanedbatelné (asi 1 %), ale pro život na Zemi jsou nezbytné. [1]

2.1.1 Stavba Slunce

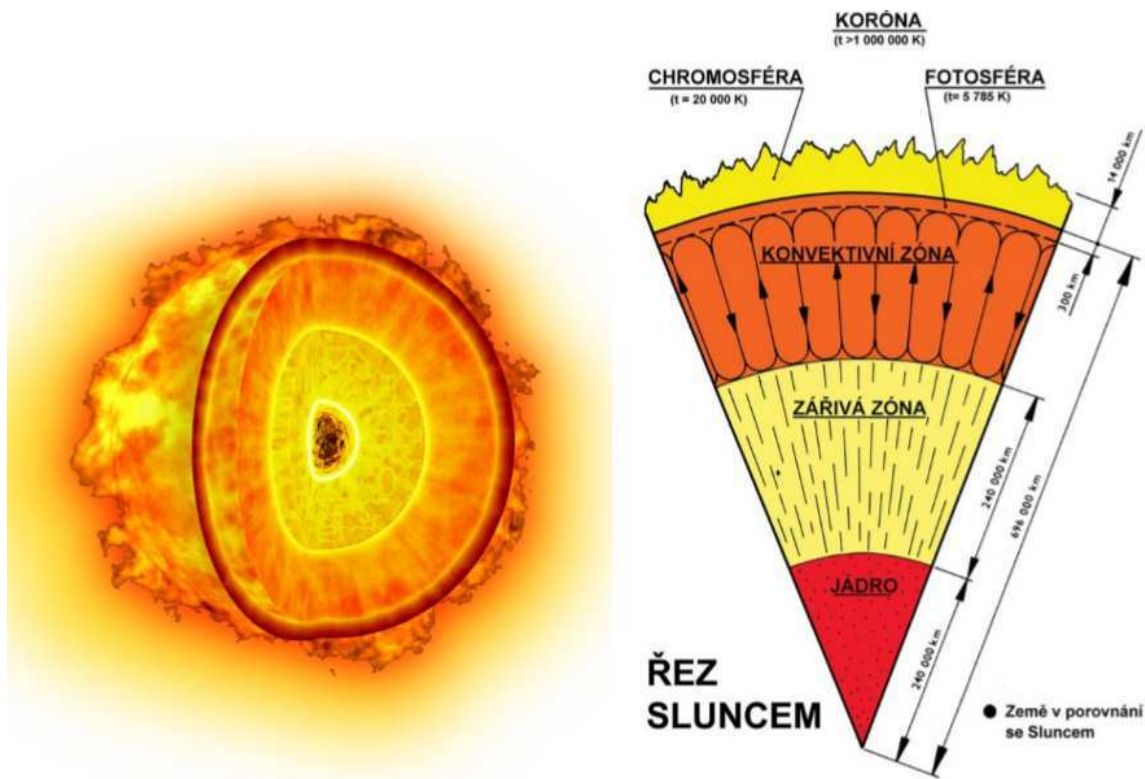
Slunce je hvězdou naší sluneční soustavy. Teplota na jeho povrchu je asi 5 780 K (proto ho vnímáme jako žluté), hmotnost $2 \cdot 10^{30}$ kg, průměr $1,4 \cdot 10^6$ km. Jeho výkon se odhaduje zhruba na $3,8 \cdot 10^{26}$ W. Na Zemi však dopadá jen minimální část ($1,7 \cdot 10^{17}$ W). Tok energie ze Slunce na Zemi činí průměrně 1,367 kW/m². [2]

Slunce je složeno zejména z vodíku (73,46 %) a helia (24,85 %), dále pak v menším množství z kyslíku (0,77 %), uhlíku (0,29 %) a dalších prvků. Průměrná hustota je o něco málo větší než je hustota vody. [2]

Ve středu Slunce se nachází jádro, ve kterém díky termonukleárním reakcím dochází k uvolňování energie. V jádru Slunce se teplota pohybuje kolem $14 \cdot 10^6$ K a tlak přibližně $20 \cdot 10^{10}$ MPa. V těchto podmínkách jsou všechny atomy ionizovány a vodíková jádra se slučují na jádra hélia, díky tomu se každou sekundu přemění 560 milionů tun vodíku na hélium a hmotnost Slunce se zmenší o 4 miliony tun v souladu s Einsteinovým vztahem: [2]

$$E = m \cdot c^2 \quad (2.1.)$$

E	totální energie	[J]
m	pohybová hmotnost	[kg]
c	mezní rychlost (rychlost světla ve vakuu – 299 792 458 m/s)	[m/s]



Obrázek 1 Struktura Slunce [2]

2.1.2 Sluneční záření

Záření, které vzniká při termonukleární reakci v jádře, postupně proniká sluneční hmotou, až se dostane na povrch ve formě infračerveného, rentgenového, ultrafialového a světelného záření. Na viditelné světlo připadá přibližně 60 % vyzářené energie, podíl infračerveného záření je asi 30 %. Zbytek vyzářené energie činí ultrafialové a rentgenové záření. [2]

Přibližně 26% energie se při průchodu zemskou atmosférou a mraky odrazí zpět do vesmíru, 19 % energie je pak atmosférou pohlceno nebo rozptýleno a zároveň ji zahřívá. Energie, která tedy dopadá na povrch Země a je jím pohlcena, činí 51 % a zbylá 4 % energie se od zemského povrchu odráží zpět do atmosféry. Zemská atmosféra pohlcuje prakticky veškeré ultrafialové, rentgenové záření i záření gama. Na zemský povrch se tedy dostane pouze viditelné světlo, rádiové vlny a část infračerveného záření. Pozorování ostatních druhů záření je možné až ve velkých výškách. [2]

Dopadající sluneční záření na zemský povrch se skládá z přímého a difúzního záření. Přímé záření je tvořeno prakticky rovnoběžnými svazky paprsků, které směřují od Slunce k Zemi. Difúzní záření pak vzniká v atmosféře v důsledku rozptylu slunečních paprsků. Difúzní složka má také za následek, že se nebe zdá modré. Bez této složky by se obloha jevila i během dne černá s ostře zářícím slunečním kotoučem. [2]



Obrázek 2 Poměr složek slunečního záření dopadajících na Zemi [2]

2.1.3 Sluneční záření v ČR

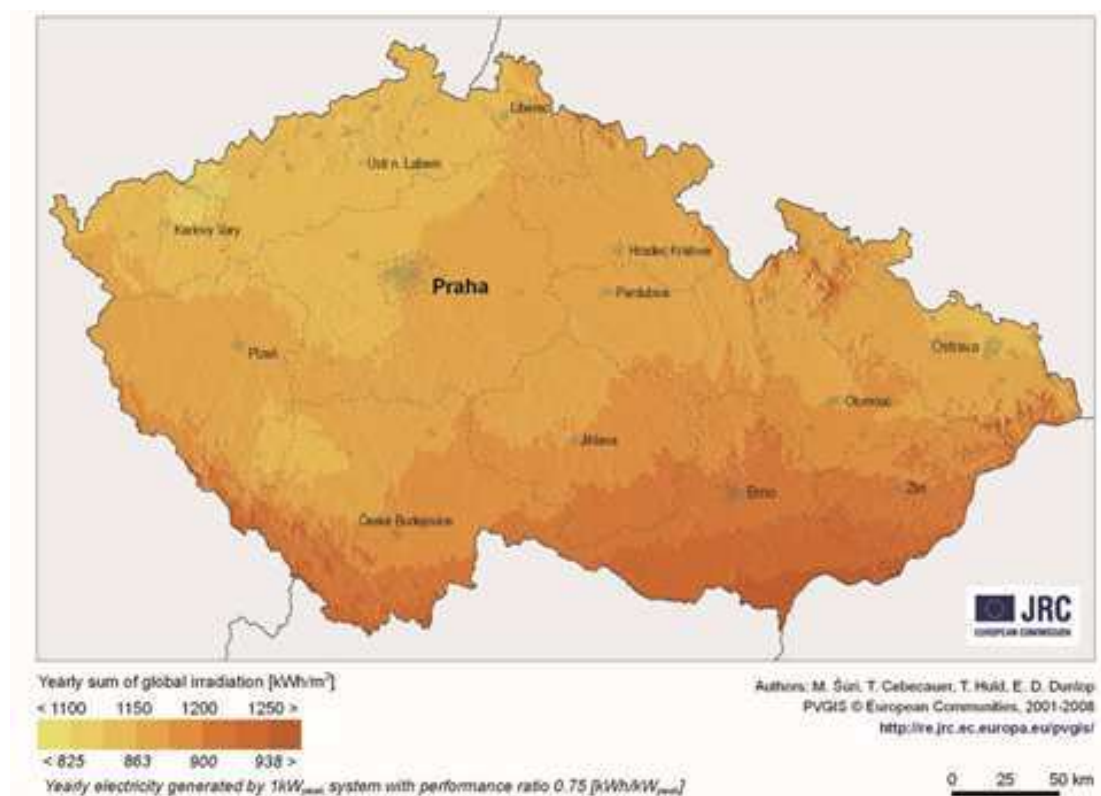
Roční zisk solární energie představuje asi $1,5 \cdot 10^{18}$ kWh, zatímco současná odhadovaná celosvětová spotřeba je $100 \cdot 10^{12}$ kWh za rok. Z toho plyne, že zisk solární energie ze Slunce převyšuje naše současné potřeby přibližně 15 000 krát.

V České republice se průměrný roční součet doby trvání slunečního svitu pohybuje mezi 1400 - 1800 hodin. Na plochu jednoho čtverečního metru dopadne za rok mezi 1000 - 1100 kWh energie, z čehož největší část (asi 75 %) v letním období, to odpovídá přibližně 3600 - 4000 MJ.

Celkový roční součet dopadající sluneční energie ovlivňuje zejména zeměpisná poloha, nadmořská výška, celková doba slunečního svitu, čistota ovzduší a vzhledem ke Slunci i orientace fotovoltaického systému.

Údaj o ročním součtu globálního slunečního záření je velmi důležitý pro výpočty budoucí energetické bilance fotovoltaického systému a tedy i návratnosti investice. Víme-li, kolik slunečního záření ročně dopadne na 1m^2 fotovoltaického systému a známe-li konverzní účinnost fotovoltaického panelu, která je přibližně 14%, dostaneme z této plochy asi 133 - 188 kWh elektrické energie za rok. [2]

Vhodnost lokality pro využití sluneční energie z dlouhodobých meteorologických měření globálního slunečního záření nejlépe vystihuje sluneční mapa (obr. 3). V České republice jsou nejvhodnější oblasti pro výstavbu fotovoltaických elektráren v jižních Čechách a na jižní Moravě. [3]



Obrázek 3 Sluneční mapa pro Českou republiku [3]

2.1.4 Využití Sluneční energie

Naše Země je v podstatě největším odběratelem sluneční energie, její flóru i faunu (vyhřívání na slunci, světlo) souhrnně nazývané biosféra (veškerá živá hmota na planetě Zemi). Ohřev povrchu Země a atmosféry je hlavním zdrojem klimatických procesů, jako je oceánské a vzdušné proudění, vypařování a déšť. Díky těmto procesům se na Zemi udržuje klima vhodné pro život. Nebýt Slunce, byla by teplota na Zemi -263°C (bez geotermální energie dokonce -270°C). [4]

Člověk využívá sluneční energii k výrobě elektrické energie a tepla. Pomocí solárních kolektorů (teplo), v **solárních elektrárnách** na principu přímé přeměny tzv. fotovoltaického jevu (el. energie) a pomocí koncentrování slunečních paprsků pro ohřev pracovního media tepelných motorů s vnějším přestupem tepla. [4]

2.2 Geotermální energie

Slovo geotermální má svůj původ v řečtině. Skládá se ze dvou slov – Geos a thermos, tedy země a teplo. Uvolňovaná energie ze země pochází z menší části z doby vzniku naší planety a její významnější část z dalších druhotných zdrojů. Mezi ně můžeme zahrnout pohyb litosférických desek nebo jaderné pochody uvnitř planety. Ze štěpení prvků (například uran, thorium, draslík a jiné) pochází až 40 % celkové tepelné energie. [5]

Ve své podstatě se jedná o energii nevyčerpatelnou (její potenciál dosahuje každý rok hodnoty až $5 \cdot 10^{20} \text{ J.rok}^{-1}$).

Tato energie je však rozptýlena po celém povrchu Země, průměrný výkon ze zemské kůry je tedy 57 mW.m^{-2} . Tento výkon ale může být vyšší v oblastech se zvýšenou sopečnou činností a to až 300 Wm^{-2} . Teplo zemského jádra je k povrchu přenášeno pomocí konvekce (proudění) a kondukce (vedením). Radiační složka není příliš významná. Gradient teploty se zvyšuje směrem k zemskému jádru o $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ na 1 km hloubky. [5]

2.2.1 Stavba Země a její teplota

Samotná teplota kůry se zvyšuje od 17°C až na 30°C na kilometr hloubky ($50 - 87^{\circ}\text{F}$ na míly hloubky). Pod kůrou se nachází plášť, který se skládá z částečně rozpuštěných hornin a teplota toho pláště je mezi 650 a 1250°C ($1200 - 2280^{\circ}\text{F}$). V samotném jádru Země by teplota mohla být mezi 4000 a 7000°C ($7200 - 12600^{\circ}\text{F}$). [2]

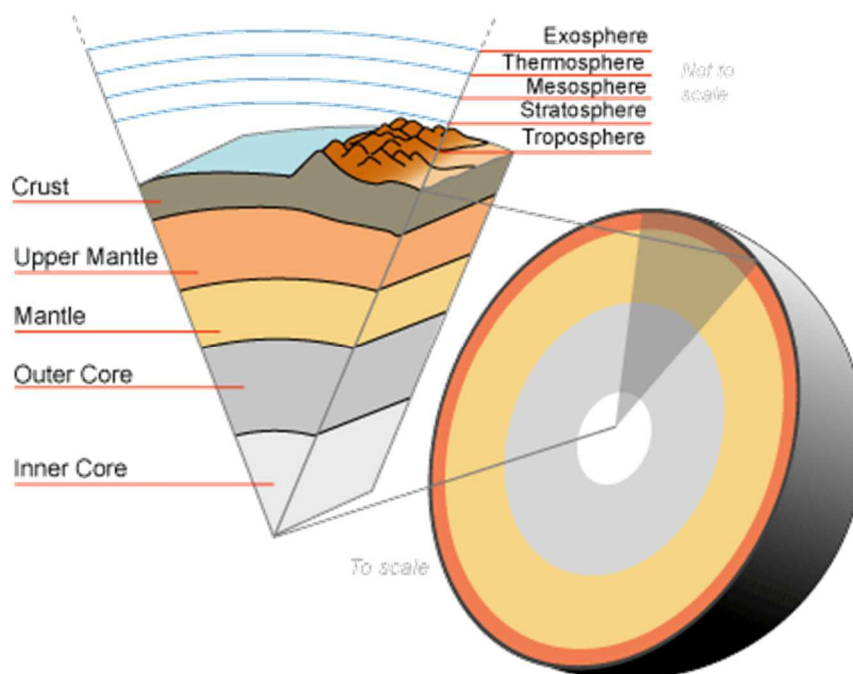
Teplo vždy přechází z teplejších částí do chladnějších, teplo z vnitrozemí se přenáší k povrchu a tento přenos tepla je zásadní hybnou silou tektonických desek.

Na místech, kde se spojují tektonické desky, může dojít k pronikání magmatu vrchními vrstvami, kde se magma následně ochladí a vytvoří novou vrstvu zemní kůry.

Když se magma dostane až k povrchu, může vytvořit sopky, ale většina zůstává pod povrchem a tvoří ohromné bazény magmatu, kde se chladí (až milióny let). Území, pod kterými se nacházejí takovéto bazény magmatu, mají velký teplotní vzestup, teplota zde roste velmi rychle s hloubkou a taková území jsou velmi výhodná pro využívání geotermální energie.

Vnější tvrdá kůra Země je hluboká 5 až 50 kilometrů a skládá se z různých hornin. Hmoty z vnitřní vrstvy neustále vychází na povrch skrze sopeční jícny a pukliny na dně oceánu. Pod kůrou se nachází plášť a sahá až do hloubky kolem 2900 kilometrů. Skládá se ze sloučenin bohatých na železo a magnézium. Pod touto vrstvou se nacházejí další dvě vrstvy jádra- tekoucí vrstva a tvrdá vrstva v samém jádru planety. [2]

Poloměr Země je kolem 6378 kilometrů. Nikdo přesně neví, co se nachází uvnitř Země, všechno jsou vlastně pouze vědecké předpoklady o vzhledu vnitrozemí planety. Tyto předpoklady se zakládají na pokusech v podmínkách vysokého tlaku a velkých teplot. [2]



Obrázek 4 Složení hmoty Země [5]

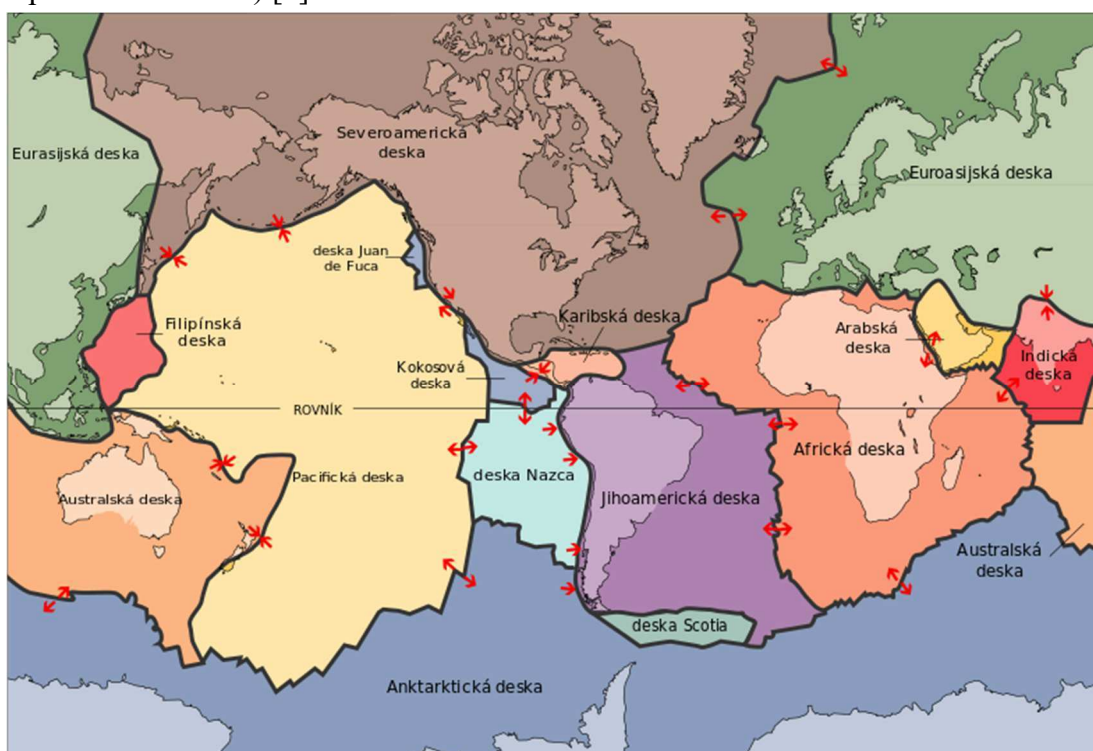
(Exosphere – exosféra, Termosphere – termosféra, Mesosphere – mezosféra, Stratosphere – stratosféra, Troposphere – troposféra, Crust – kůra, Upper Mantle – svrchní plášť, Mantle – plášť, Outer Core – vnější jádro, Inner Core – vnitřní jádro).

2.2.2 Využívání geotermální energie

Potenciál geotermální energie na zemi je obrovský, je jí 50000 krát více než ostatní energie, která se může získat z ropy a plynu na celém světě. Geotermální zdroje se nacházejí v širokém spektru hlubin, od mělkých povrchních až více kilometrů hlubokých rezervoáru vroucí vody a páry, která se může přivést na povrch a využít. V přírodě se geotermální energie nejčastěji objevuje ve formě sopek, pramenů vroucí vody a gejzírů. [5]

Geotermální energie se využívá tisíciletí ve formě lázní. Geotermální energie však můžeme pomocí vědy využít i k výrobě elektrické energie nebo k topení v domácnostech a průmyslových zařízeních. Vytápění budov a využívání geotermální energie jsou hlavní způsob využívání této energie. Hlavní nevýhodou využívání geotermální energie je, že neexistuje mnoho míst na zemi, která jsou vhodná pro čerpání této energie. [5]

Nejvýhodnější jsou naopak území na okrajích tektonických desek, vlastní území velké sopeční a tektonické aktivity. Země je rozdělena na tektonické desky, které se pohybují a srážejí, tímto tak tvoří místa výhodná pro využívání geotermální energie. Následující obrázek znázorňuje tektonickou mapu světa. (viz. Obrázek 5 Tektonická mapa desek na Zemi) [5]



Obrázek 5 Tektonická mapa desek na Zemi [2]

2.2.3 Výroba elektrické energie z geotermální energie

Jedno z nejvýznamnějších využití geotermální energie je výroba elektrické energie. Využívá se vřelá voda a pára ze Země pro rozpohybování generátoru. Nejsou zde tedy potřeba fosilní paliva, díky tomu nejdou do atmosféry žádné škodlivé emise plynu, vypouští se pouze vodní pára. Další výhodou je, že se takovéto elektrárny mohou použít v různých prostředích (farma, citlivé pouštní území a lesní-rekreační území). [5]

Začátky využívání teploty Země pro tvoření elektrické energie se spojují s využitím páry, která se použila pro roztočení malé turbíny, která napájela pět žárovek. Tento experiment je považován za první použití geotermální energie pro výrobu elektrické energie. [5]

Zásada práce je jednoduchá: chladná voda se vpumpuje do vřelých žulových hornin, které se nachází blízko povrchu, a ven vychází vřelá pára, která je větší než 200 °C, pod velkým tlakem. Tato pára pak roztáčí generátory. [5]

2.2.4 Příklady geotermálních elektráren

Momentálně se používají tři základní druhy geotermálních elektráren:

Suchá pára (Dry steam) - Horká pára s teplotou nad 235 °C se využívá pro přímý pohon turbíny generátoru. Můžeme říci, že je to nejjednodušší a nejstarší způsob výroby elektrické energie z geotermální energie. Předehřátá pára uniká z vrtů nebo vývěrů, po odfiltrování kapek vody pak pohání turbínu elektrárny. Po ochlazení a zkondenzování zpět na vodu se vrací sousedním vrtem zpět do země. [2]

Mokrá pára (Flash steam) – Zde se využívá horká voda z geotermálních rezervoárů s velkým tlakem a teplotou větší než 182 °C. Voda se vede do odtlakovací nádrže, ve které se pomocí rychlého snížení tlaku změní část vody v páru, která následně pohání turbínu. Zbylá část vody se vrací zpět k opětovnému použití. Tento způsob využívá většina moderních geotermálních elektráren. [2]

Binární cyklus (Binary cycle) – Voda, která se u tohoto cyklu používá je chladnější, než voda u ostatních způsobů získávání elektrické energie z geotermálních pramenů (107 °C - 182 °C). Horká voda se používá k ohřevu binární kapaliny, ta má mnohem nižší teplotu varu než voda (propan, isobutan, freony nebo směs vody a čpavku), následně se mění v páru a pohání turbínu generátoru. Výhody tohoto způsobu jsou účinnost, dostupnost geotermálních rezervoárů a úplná uzavřenost systému, z důvodu vrácení veškeré použité vody zpět do země. Díky tomu jsou ztráty tepla menší a neztrácí se tolik vody. Tento princip bude využívat většina budoucích geotermálních elektráren. [2]

3. NÍZKOPOTENCIÁLNÍ ZDROJE ENERGIE NA ZEMI

Kapitolu můžeme rozdělit na primární a sekundární zdroje nízkopotenciální energie. Primární zdroje můžeme chápat jako zdroje energie, které se vyskytují přirozeně v přírodě (sluneční energie, geotermální energie). Sekundární zdroje jsou primární transformované zdroje energie jinou než přirozenou cestou (odpadní teplo z technologických procesů).

3.1 Primární zdroje energie

Zdroje nízkopotenciální tepelné energie prostředí se nacházejí **všude kolem nás** a v dnešní době je jejich využití technicky možné a velmi žádané. Nízkopotenciální teplo, které je obsažené v zemi, ve vodě nebo ve vzduchu vzniká dopadáním sluneční energie a jako důsledek geotermální energie (energie zemského jádra, radioaktivní rozpad uvnitř Země). [6]

Tuto energii lze využít pomocí tepelných čerpadel (TČ). Ta umožňují odnímat teplo okolnímu prostředí, převádět ho na vyšší teplotní hladinu a předávat pro potřeby vytápění nebo ohřev teplé užitkové vody. [6]

Teplota látky a její množství rozhoduje o využitelnosti tepelné energie v ní obsažené a je na ní vázaná. Podobně jako vodní čerpadlo přečerpává vodu z nižší hladiny na vyšší, tepelné čerpadlo převádí teplo o nízké teplotě na teplotu vyšší. [6]

3.1.1 Teplo z půdy a podloží

Obvykle se získává pomocí hlubinných vrtů nebo zemních kolektorů.

TČ země – voda

Tepelná energie se získává ze zemské půdy a topným jednotkám je předávána prostřednictvím vody, která cirkuluje v sekundárním okruhu. Tato čerpadla jsou schopna dodávat dostatek energie po celý rok. Nevýhodou jsou však potřebné zemní práce při instalaci. To má vliv i na pořizovací náklady. Podle způsobu čerpání energie z půdy můžeme rozdělit čerpadla podle provedení vrtu na s geotermálním vrtem nebo plošným kolektorem. [7]

- Geotermální vrt – využívá se nízkopotenciální energie uložená v zemi. S jeho hloubkou se zvyšuje i teplota hornin. Hloubka vrtu se pohybuje maximálně do 150 m. Pokud není vrt schopen zajistit dostatečnou energii, navrhuje se více vrtů pro jeden společný systém. Doporučovaná hloubka je 50 m z důvodu dostatečné teploty. Realizace vrtu není technologicky náročná, je však nákladná. Výhodou je, že není potřeba rozsáhlá plocha, jako tomu je

například u plošných kolektorů, a nezávislost na klimatických podmínkách. Na 1 kW výkonu čerpadla je potřeba vrt hluboký 12 až 18 m, což pro 10 kW čerpadlo odpovídá 140 m nebo 2 x 70m. [7]

- Plošný kolektor – využívá se naakumulovaná energie ze Slunce pod povrchem země. Ve srovnání s geotermálními vrty jsou investiční náklady poměrně malé, ale práce na výkopech jsou náročné a zdlouhavé. Navíc využívání pozemku nad zabudovaným kolektorem je omezené. Topný faktor je zde nižší a v průběhu roku navíc kolísá s teplotou zeminy. [7]

3.1.2 Teplo z podzemní a povrchové vody

Nízkopotenciálním zdrojem tepla je voda, která se odebírá ze zdrojové studny, popřípadě rybníku nebo vodního toku, a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Tím se udržuje potřebná hladina spodní vody. [6]

TČ voda – voda

U těchto čerpadel se dosahuje v průměru nejvyšší hodnoty topného faktoru. Možnost instalace je však omezena počtem vhodných lokalit potřebné vody. Čerpadla se dále rozdělují na povrchová a podzemní, podle místa výskytu těchto vod. [7]

- Podzemní – Voda má ve všech ročních obdobích stabilní teplotu (kolem 10°C, někdy i vyšší) a je tedy nejteplejším přírodním zdrojem. Je zapotřebí dvou studní – topná a vsakovací. Topná dodává nízkopotenciální zdroj tepla a vsakovací studnou se ochlazená voda vrací zpět do země. Důležité pro topnou studnu je vydatnost spodní vody (min. 0,5 l.s⁻¹ pro rodinný dům). Vsakovací studna toto množství musí naopak pojmout. [7]
- Povrchová – Povrchová voda je například rybník, řeka nebo jiná vodní plocha. Tato tepelná čerpadla se vyskytují jen vzácně kvůli závislosti na kolísání teploty vzduchu. [7]

3.1.3 Teplo z okolního vzduchu

Nízkopotenciálním zdrojem tepla je okolní vzduch. Jedná se v pořadí o třetí nejrozšířenější systém (nazývaný vzduch/voda). [6]

TČ vzduch – voda

Nejsou investičně příliš nákladné, protože nevyžadují náročné zemní práce. Jejich nevýhodou je závislost na teplotě okolního vzduchu v průběhu roku. Se zvyšující se teplotou vzduchu se zvyšuje i jeho výkon a naopak. Proto se zajišťuje tzv. bivalentním provozem náhradní tepelná energie z náhradního zdroje při kriticky nízkých teplotách. [7]

Odpadní vzduch je vzduch odváděný větracím systémem objektu. Díky jeho relativně vysoké teplotě je v něm akumulováno velké množství energie. Jeho spotřeba na ohřev větracího vzduchu činí třetinu až polovinu celkové spotřeby tepla na vytápění. I zde je zapotřebí bivalentní provoz kvůli omezenému množství větracího vzduchu. [7]

3.1.4 Solární tepelná energie

Sluneční záření lze poměrně jednoduchou cestou přeměnit v tepelnou energii (fototermální přeměna). [8]

Sluneční záření je absorbováno povrchem tuhých látek a kapalin a dochází k fototermální přeměně, kde se energie fotonů mění v teplo (pohyb molekul). Hlavním prvkem je absorpční plocha, která se odebráním slunečního záření ohřívá. Takové zařízení se obecně nazývá solární kolektor. [8]

Tepelná energie je odváděna z absorpčního povrchu (kolektoru) různými teplonosnými látkami, nejčastěji však kapalinami (voda, nemrznoucí směs) proudícími v systému kanálkového uspořádání, které je spojené s absorpčním povrchem. [8]

3.2 Sekundární zdroje

V dnešní době nejrůznější technologické procesy, stejně tak jako velké množství vybudovaných kogeneračních jednotek (např. bioplynové stanice, KGJ - energetická centra), v praxi produkují velké množství odpadního tepla, které je dále nevyužité odváděno do vlastního okolí.

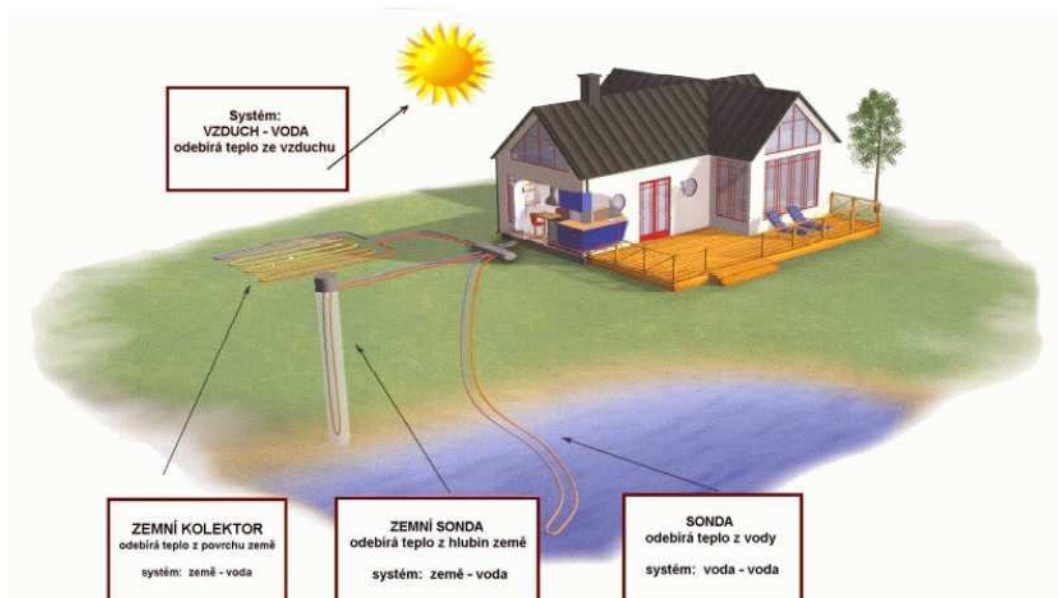
Stávající řešení zpravidla využívala odpadní teplo k zajištění vytápění či ohřevu teplé užitkové vody. Tento způsob využití však dnes není v praxi možné vždy efektivně aplikovat, zejména tehdy, kdy není zajištěn trvalý odběr vznikajícího využitelného tepla. Rovněž investice do tepelného hospodářství překračuje dosažitelný přínos z využití odpadního tepla s dlouhodobou návratností.

3.2.1 Odpadní teplo

Odpadní vzduch je vzduch odváděný větracím systémem objektu. Je v něm akumulováno velké množství energie, díky jeho relativně vysoké teplotě. Jeho spotřeba na ohřev větracího vzduchu činí třetinu až polovinu celkové spotřeby tepla na vytápění. I zde je zapotřebí bivalentní provoz, kvůli omezenému množství větracího vzduchu. [7]

TČ vzduch – vzduch

Médiem je zde vzduch, který odebírá teplo z vnějšího okolí a předává jeho tepelný výkon vzduchu uvnitř objektu. Čerpadla tohoto typu však nejsou moc rozšířená. Jejich uplatnění je spíše v menších objektech (chaty, chalupy). Často se využívají jako rekuperační zařízení, ale jejich systém je už složitější. [7]



Obrázek 6 Druhy využívání tepelných čerpadel [9]

4. SYSTÉMY NA VYUŽITÍ NÍZKOPOTENCIÁLNÍ ENERGIE

Systémy založené na využití nízkopotenciální energie jsou zatím nejrozšířenějším způsobem získávání energie ze Země nebo Slunce. Jejich konstrukce je rozdílná, většinou se ale jedná o tepelná čerpadla nebo solární systémy (solární tepelné kolektory).

4.1 Tepelné výměníky

Výměníky tepla se využívají pro předávání tepla. Hlavně tedy tam kde se nemůže teplo ze zdroje předávat rovnou do spotřebiče. Příkladem jsou odlišné teplotní látky (nemrznoucí kapalina - voda, otopná voda - teplá voda, centrální zásobování teplem - topná voda v objektu, apod.). [10]

4.1.1 Použití tepelných výměníků

Návrh tepelného výměníku je v každém systému velice důležitý a většinou na něm závisí funkčnost a účinnost celého systému. Protože v žádném tepelném výměníku nelze dosáhnout 100% termické účinnosti, existuje vždy větší či menší teplotní rozdíl mezi vstupní topnou látkou a výstupní ohřívanou látkou. [10]

Příkladem tepelných výměníků jsou solární systémy nebo tepelná čerpadla. Pokud se do otopného systému s těmito úspornými zdroji instaluje tepelný výměník, který není dostatečně velký, nestačí energii předávat a do zdrojů se pak vrací vyšší teplota kapaliny, která je nutí pracovat při vyšší teplotě. To má samozřejmě vliv na účinnost. U solárního systému se sníží zisky vlivem nižší účinnosti kolektorů a u tepelného čerpadla poklesne topný faktor. [10]

4.1.2 Systémy výměníků a parametry

Nejdůležitějším parametrem u každého tepelného výměníku je jeho předávací výkon. Ten se mění s mnoha faktory, hlavně s teplotním rozdílem mezi topnou a ohřívanou stranou výměníku, průtokem v topné i ohřívané straně výměníku a s typem protékající kapaliny. To je označováno jako teplotní spád výměníku, nebo střední teplotní rozdíl výměníku

Instalovaný výkon tepelného výměníku závisí na provozních podmínkách, ve kterých bude pracovat. Čím vyšší je teplotní rozdíl mezi topnou a ohřívanou stranou a čím vyšší jsou průtoky na obou stranách výměníku, tím je vyšší i předávací výkon výměníku.

Tepelné výměníky se navrhují pro konkrétní aplikace a podmínky provozu. Pro aplikaci výměníků se solárním systémem, tepelným čerpadlem nebo kondenzačním

kotlem je nutné navrhnout tepelný výměník pro nízký teplotní spád. (rozdíl mezi topnou a ohřívanou stranou).

Vyšší teplotní spád znamená vyšší pracovní teplotu solárního systému nebo tepelného čerpadla, jeho horší účinnost, resp. topný faktor. Naopak ale čím je navržený teplotní spád tepelného výměníku vyšší, tím je nižší i potřebná velikost výměníku nižší. Proto u systémů nebo zdrojů, u kterých se nekladou vysoké nároky na co nejnižší teplotu zdroje, postačují výměníky, které jsou menší a levnější, protože při vyšší pracovní teplotě těchto zdrojů neklesá jejich účinnost. (systémy s běžným plynovým kotlem, elektrokotlem nebo s kotlem na tuhá paliva) [10]

4.2 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení, které umí využívat nízkopotenciální energii. Samotné zdroje nízkopotenciálního tepla mohou být různé. Podle využívaného zdroje nízkopotenciálního tepla můžeme tepelná čerpadla rozdělit na tři základní systémy. [3]

- země – voda
- voda – voda
- vzduch – voda
- vzduch – vzduch

Tyto druhy tepelných čerpadel jsou definovány dvouslovným názvem, kde první definuje přírodní zdroj tepla pro tepelné čerpadlo a druhé podle média, kterému je teplo předáváno pro vytápění budov. Zvláštním typem je potom druh tepelného čerpadla vzduch – vzduch, ten můžeme označit jako klimatizační jednotku. [3]

4.2.1 Princip tepelného čerpadla

- První fáze - Vypařování:

Chladivo kolující v tepelném čerpadle odebírá teplo ze vzduchu, vody nebo země, čímž změni skupenství z kapalného na plynné a následně se odpařuje.

- Druhá fáze - Komprese:

Kompresor tepelného čerpadla prudce stlačí plynné chladivo ohřáté o několik stupňů, a díky fyzikálnímu principu komprese (při vyšším tlaku stoupá teplota), jako teplotní výtah znásobí malý přírůstek tepla na vyšší teplotní hladinu, která se pohybuje kolem 80°C.

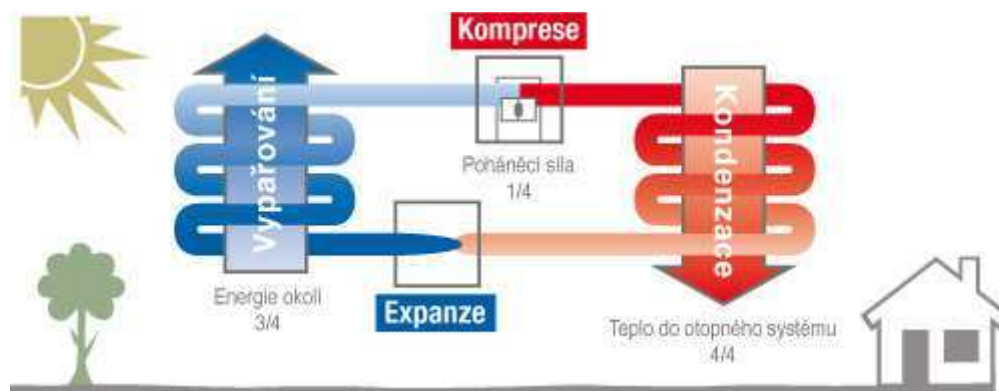
- Třetí fáze - Kondenzace:

Zahřáté chladivo předá pomocí druhého výměníku teplo vodě v radiátorech, následně se ochladí a zkondenzuje. Radiátory získané teplo vyzáří do místnosti a ochlazená voda v topném okruhu putuje nazpět k druhému výměníku pro opětovné ohřátí.

- Čtvrtá fáze - Expanze:

Chladivo putuje průchodem přes expanzní ventil nazpátek k prvnímu výměníku, kde se opět ohřeje.

Tento koloběh se neustále opakuje [17]



Obrázek 7 Princip funkce tepelného čerpadla [17]

Poměr tepelného výkonu čerpadla (energie dodané pro ohřev) k příkonu kompresoru (energii spotřebované pro pohon), resp. poměr energie dodané pro ohřev k energii spotřebované, se nazývá topný faktor. Topný faktor vyjadřuje, kolikrát více energie získáme, než ve formě pohánecí energie přivedeme. [3]

$$\varepsilon = \frac{Q_T}{Q_E} \quad (4.1.)$$

ε	topný faktor	[-]
Q_T	získané teplo	[W]
Q_E	energie potřebná pro přecherpání tepla	[W]

Nejpřůkaznější určení tepelného faktoru je z energetického toku v samotném čerpadle. Energetický topný faktor COP (Coefficient of Performance) můžeme vyjádřit ze vztahu: [3]

$$COP = \frac{P_{te}}{P_e} \quad (4.2.)$$

Kde pro P_{te} platí vztah

$$P_{te} = \Delta T * Q_m * c_p \quad (4.3.)$$

COP	energetický topný faktor	[-]
ΔT	rozdíl teplot na vstupu a výstupu kondenzátoru	[K]
Q_m	hmotnostní průtok chladiva	[kg.s ⁻¹]
c_p	měrná tepelná kapacita teplotnosné látky	[Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
P_{te}	tepelný výkon	[W]
P_e	elektrický příkon	[W]

Moderní tepelná čerpadla dosahují průměrného ročního topného faktoru kolem 3, případně i vyšší. V praxi to znamená, že na každou kWh dodanou do objektu, tepelné čerpadlo spotřebuje jen 0,3 kWh elektrické energie. Zbytek je dodán z nízkopotenciálního zdroje. [6]

4.3 Solární tepelné kolektory

Sluneční kolektory jsou zařízení, která slouží k zachytávání slunečního záření a jeho následné přeměně v tepelnou energii. Ta je následně předávána teplotnosné látce. [11]

Zařízením k přímé přeměně sluneční energie na teplo se říká různě - fototermická, solární, sluneční. Jejich základem však je solární (sluneční) kolektor, který toto záření shromažďuje, pohlcuje a mění jej na teplo. To je odváděno pomocí vzduchu nebo kapaliny k místu využití. Název "kolektor" bychom mohli nahradit i slovem "sběrač". [11]

Solární kolektory můžeme rozdělit podle různých hledisek. Podle tvaru (ploché, trubicové a koncentrační). Podle způsobu přenosu tepla (kapalinové, teplovzdušné a kombinované). My se zaměříme na nejběžnější typ a to na plochý kapalinový kolektor. [11]

4.3.1 Konstrukce solárního kapalinového kolektoru

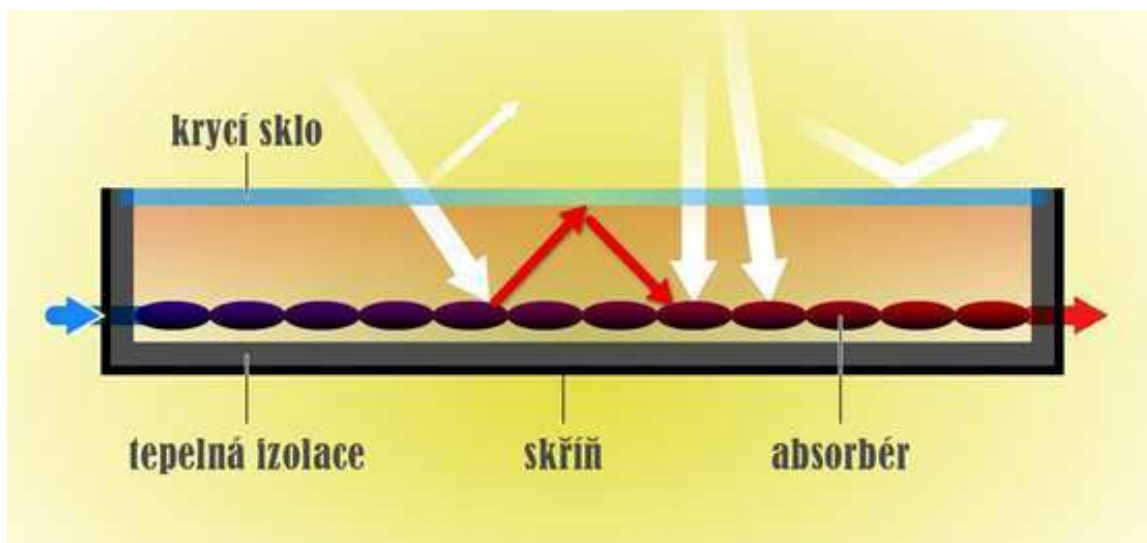
Základními konstrukčními prvky jsou absorbér, skříň, izolace a krycí sklo.

Absorbér - je vyroben z měděného nebo hliníkového plechu s připájenými nebo nalisovanými měděnými trubicemi k jeho zadní straně. Povrch absorbérů je upraven tak, aby pohlcoval co nejvíce záření. Levné absorbéry, které dostačují pro letní období, jsou natřeny matnou černou barvou. Kvalitnější typy absorbérů mají na povrchu tzv. selektivní spektrální nátěr, ten pohlcuje až 96 % záření, ale jen minimálně teplo vyzařuje. Tyto nátěry dokáží využít jak přímé, tak i rozptýlené sluneční světlo, jsou tedy vhodné pro celoroční využití. Teplo získané absorpcí slunečního záření se odvádí vodou nebo nemrznoucí kapalinou proudící v trubicích. [11]

Skříň – Může být plastová, kovová nebo dokonce i dřevěná vana, sloužící k uložení absorbérů a dalších prvků. Musí být dostatečně velká a pevná, protože slouží k dobrému uchycení kolektoru na střeše nebo stěnu budovy, a musí také chránit jeho prvky před poškozením. [11]

Izolace – Slouží k omezování tepelných ztrát a brání úniku tepla z absorbérů skrze stěny skříně. Nejčastěji se používá tepelná izolace z minerální vlny nebo polyuretanu. Izolace nesmí přijímat z okolního prostředí vlhkost a musí odolat teplotám do 200 °C. Také přírodní trubice musejí být opatřeny dobrou tepelnou izolací. [11]

Krycí sklo – Slouží k omezování tepelných ztrát přední stěnou kolektoru. Viditelné světlo jím lehce prochází a v absorbérů se pak mění na teplo. Sklo však nepropouští ven dlouhovlnné tepelné záření a uvnitř kolektoru tak vzniká skleníkový jev, při kterém se zvyšuje teplota proudící kapaliny. Používá se proto speciální bezpečnostní solární sklo s velkou propustností a dlouhodobou životností. [11]



Obrázek 8 Schéma solárního kolektoru [2]

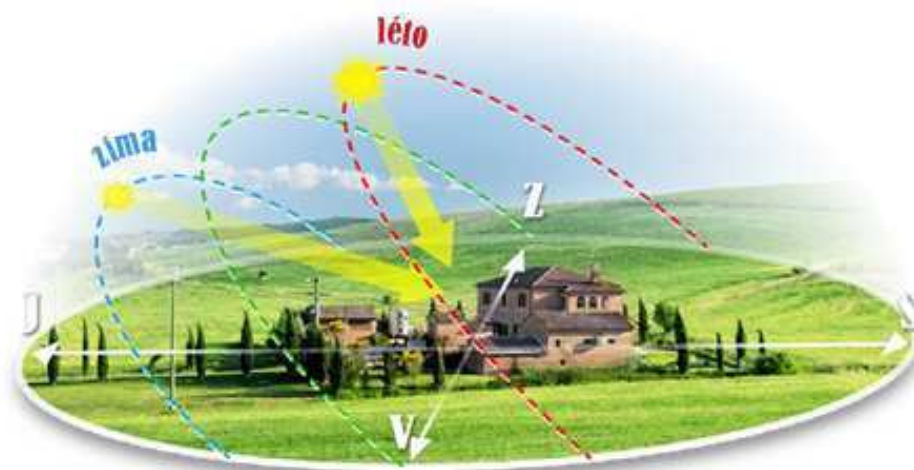
Zahřátá teplotonosná kapalina musí ale získané teplo přenést na místo spotřeby. Samotný kolektor tedy pro praktické využití sluneční energie nestačí. Ohřátá kapalina v solárním kolektoru se proto přivádí do zásobníku nebo výměníku tepla, který bývá součástí instalace stejně jako ventily, oběhové čerpadlo, regulační a další technické prvky. Všechny tyto součásti tvoří solární systém. [11]

4.3.2 Instalace solárního kolektoru

Při instalaci kolektoru na střeše, stěně budovy nebo na volném terénu je třeba splnit několik podmínek. Kolektor by měl mít pevnou konstrukci, aby dobře odolával různým přírodním vlivům (vítr, sníh, déšť). Při umístění kolektoru je třeba volit nějaké schůdné řešení, protože konstrukce je ve většině případů nepohyblivá. Zároveň by ale měl být co nejblíže místu spotřeby ohřáté vody, z důvodu co nejvíce omezit tepelné ztráty v rozvodném potrubí. [11]

Orientace kolektoru, neboli natočení kolektoru, je nejvhodnější směrem k jihu nebo jihozápadu, tím se využije největší intenzita slunečního záření kolem poledne. [11]

Sklon kolektoru by se měl volit tak, aby na plochu absorbéru dopadalo záření v ideálním případě stále kolmo. Výška Slunce se však mění jak během dne, tak i v průběhu roku (v létě je výš než v zimě). V létě je vhodný sklon kolektoru 30° od vodorovné roviny, v zimě pak kolem 60° . Obvykle se tedy jako kompromis volí sklon mezi 35° - 45° . [11]



Obrázek 9 Výška Slunce nad obzorem [2]

4.3.3 Účinnost solárního kolektoru

Energetická účinnost η_k , definována jako poměr mezi tepelným tokem q_k zachyceným kolektorem a tepelným tokem slunečního záření q_s dopadajícího na kolektor, nebo jako poměr mezi energií zachycenou kolektorem Q_k a energií zachycenou kolektorem Q_s , je vyjádřena vztahem:

$$\eta = \frac{q_k}{q_s} = \frac{Q_k}{Q_s} = (1 - r) \frac{(U_1 + U_2)(\theta_k - \theta_s)}{q_s} \quad (4.4.)$$

η	energetická účinnost	[-]
q_k	tepelný tok zachycený kolektorem	[W/m ²]
q_s	tepelný tok slunečního záření dopadající na kolektor	[W/m ²]
Q_k	energie zachycená kolektorem	[kWh/m ²]
Q_s	energie dopadající na povrch kolektoru	[kWh/m ²]
U	součinitel prostupu tepla	[W/(m ² K)]
θ_k	kondenzační teplota	[°C]
θ_s	průměrná roční teplota vzduchu	[°C]

Je vidět, že účinnost je tedy závislá na velikosti ztrát, jak optických, tak tepelných. Optické ztráty se odvíjejí od reflexních schopností a propustnosti krytu, ale nejsou závislé na teplotě. U tepelné ztráty odpovídají rozdílu teplot absorpční desky a okolního vzduchu, ale také na konstrukčním řešení kolektoru.

5. VÝROBA TEPLA A ELEKTŘINY Z ODPADNÍHO TEPLA

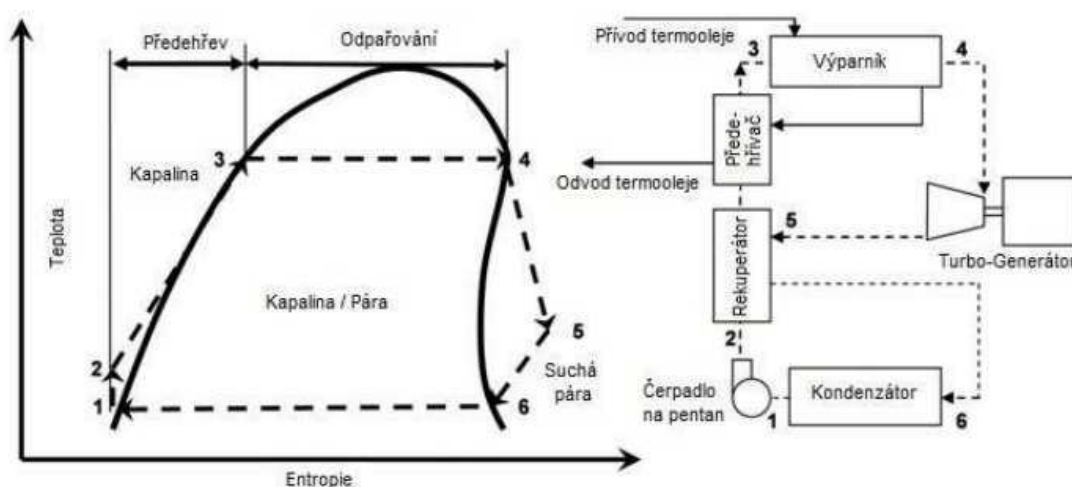
5.1 Výroba tepla z odpadního tepla

Využití odpadního tepla z procesu průmyslové výroby a technologie, nebo z provozu kogeneračních jednotek, se dnes stává stále více vyhledávaným řešením pro zpětné využití odpadní energie v procesu chlazení. Na rozdíl od elektrinou poháněných kompresorových chladiců jsou absorpční chladicí poháněny teplem. Tyto absorpční stroje mohou být poháněny teplem z celé řady zdrojů - párou, horkou vodou, kapalnými/plynnými palivy, výfukovými plyny a/nebo jejich kombinací a jsou velmi nízkonákladovou alternativou k elektricky poháněným kompresorovým chladicům, navíc přátelskou k životnímu prostředí. [12]

5.2 Výroba el. energie z odpadního tepla

Můžeme zde využít například systém ORC (Organický Rankinův Cyklus), to je zařízení využívající nízkopotenciální zdroj tepla k přeměně na elektrickou energii. Minimálním parametrem vstupního média nízkopotenciálního tepla pro výrobu elektrické energie je teplá voda 88 °C max. 116 °C, nebo spaliny komínů nebo páry. [12]

Princip ORC je, že při přivedení nízkopotenciálního tepla do parního generátoru, se pro příklad odpaří silikonový gel, který následně pohání parní turbínu a ta roztáčí generátor. Za parní turbínou je regenerátor, kde zbylé teplo předává zbylou energii předehřívání organické látky před vstupem do parního generátoru. Za regenerátorem je kondenzátor, kde dochází k odebírání výparného tepla teplotnosného média. To je předáno vodě, která je určena k vytápění. Z kondenzátoru putuje silikonový olej zpět přes regenerátor do parního generátoru. Tímto je uzavřen ORC cyklus [13]



Obrázek 10 Schéma a T-s diagram ORC oběhu [13]

Děj 1-2: Pracovní médium je pumpováno z nízkého na vysoký tlak pomocí čerpadla. Probíhající děj je adiabatická komprese.

Děj 2-3: Pracovní médium je ohříváno v rekuperátoru pomocí zbytkového tepla z pracovního média a následně je přehříváno v předehřivači pomocí odcházejícího termooleje.

Děj 3-4: Vysokotlaká kapalina vstupuje do výparníku, kde se zahřívá při konstantním tlaku horkým olejem a přemění se na sytou páru.

Děj 4-5: Sytá pára expanduje v turbíně a pomocí ní se generuje výkon. Expanze probíhá ideálně adiabaticky. Zde se snižuje teplota a tlak páry.

Děj 5-6: Pára opouští turbínu a vstupuje do rekuperátoru (viz. Děj 2-3), kde probíhá výměna tepla za konstantního tlaku.

Děj 6-1: Pára následně vstupuje do kondenzátoru, kde se přeměňuje za konstantního tlaku na kapalinu. Tím se celý okruh uzavírá. [13]

5.3 Výroba el. energie z odpadního tepla pomocí TE jevu

Termoelektrické jevy přeměňují nevyužitě odpadní teplo v elektřinu, popřípadě ho umí transportovat z tepla o nižší teplotní úrovni na úroveň vyšší. Tyto jevy probíhají v pevných látkách a pracovní média jsou nosiče elektrického náboje, jsou termoelektrická zařízení jednoduchá a provoz je bez chemických látek nebo bez pohyblivých částí. Jsou-li termoelektrická zařízení provozována správně, je zajištěna i spolehlivost a dlouhá životnost. [14]

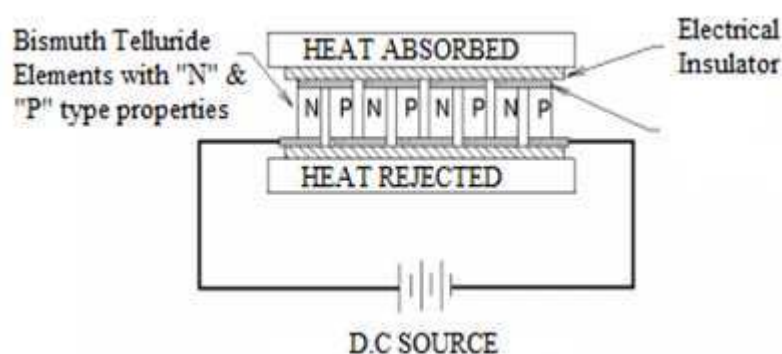
Možnosti využití při výrobě elektrické energie jsou však omezené kvůli nízké účinnosti termoelektrické přeměny. Jako zdroje elektrické energie pracují samostatně tzv. termoelektrické generátory (TEG), ty pro provoz spotřebovávají ušlechtilá primární paliva ve specifických aplikacích v těžko přístupných, odlehlých, nebo nebezpečných oblastech. [14]

Na základě stále vzrůstajících cen paliv a zájmu o šetrné technologie k životnímu prostředí, je snaha využívat odpadního tepla, jakožto termoelektriny pro produkci elektrické energie. Tento trend je ve světě od konce osmdesátých let. Použití termoelektrických zařízení při využití odpadního tepla může být přínosem a způsobem získání jakostní elektrické energie, které by bylo jinak jinými konvenčními způsoby obtížně realizovatelné. [14]

5.3.1 Peltierův článek

Peltierovy články pracují na základě termoelektrických jevů, konkrétně Seebeckova a Peltierova jevu. [14]

Seebeckův jev: T.J. Seebeck zjistil, že při zahřívání spoje mezi dvěma různými vodiči začne vznikat teplotní gradient, elektrony od teplého konce vodiče difundují k chladnějšímu. Tím zde vzniká tzv. elektromotorické napětí, to je přímo úměrné teplotnímu rozdílu mezi oběma konci. Tyto dva spojené vodiče z různých materiálů můžeme nazvat termodvojicí. Seebeckův jev spočívá v přeměně tepelné energie v elektrickou a můžeme se s ním setkat při měření teploty. [14]



Obrázek 11 Termoelektrické dvojice [16]

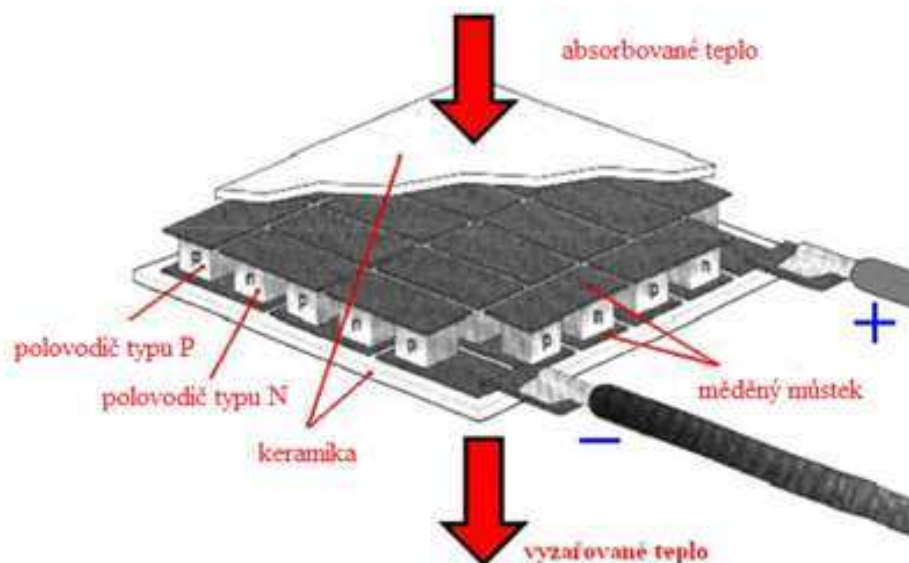
Peltierův jev:

Ch.A. Peltier zjistil, že při průchodu proudu v blízkosti spojů dvou vodičů dochází ke změnám teploty. V závislosti na směru proudu je toto teplo absorbováno nebo uvolňováno, čehož je hojně využíváno k chlazení. Princip je velmi jednoduchý, elektrony z materiálu s větší výstupní prací přecházejí do materiálu s menší výstupní prací. Díky menšímu odporu v místě styku mají elektrony přebytek kinetické energie, který uvolňují v podobě tepla. Peltierův jev je tedy pouze obráceným Seebeckovým jevem a tepelný tok je přímo úměrný protékajícímu proudu. [14]

Peltierovy články se používají k termoelektrickému ohřevu, chlazení, popřípadě výrobě elektrické energie. Jsou to zařízení malých rozměrů, která jsou složena z několika termoelektrických dvojic. Tvoří je dvě polovodičové oblasti typu p a n, které jsou umístěny mezi dvěma keramickými destičkami. Ty jsou důležitou součástí termočláunku a jsou obvykle vyrobeny z oxidu hlinitého Al_2O_3 . [15]

Ten je výhodný zvláště kvůli své nízké ceně, mechanickým vlastnostem a schopnosti připájet měděné můstky přímo na keramickou destičku. Důležitá u tohoto oxidu je jeho tepelná vodivost, která je však u tohoto materiálu poměrně malá, to zhoršuje přestup tepla

od termočlánku do okolí. Lepších hodnot tepelné vodivosti dosahuje např. nitrid hlinitý AlN, který je ale dražší. Destičky se vyrábějí v různých provedeních a tvarech, podle požadavků Peltierova článku. Nejpoužívanějším rozměrem je destička o rozměrech 30 x 30 mm. [15]



Obrázek 12 Konstrukce Peltierova článku [16]

Termoelektrické dvojice se musí sériově spojit pomocí měděných můstků do termoelektrické baterie z důvodu malého napětí samotných termočlánků. Protékající proud je ve všech člancích stejný. Výsledné napětí je tedy součtem napětí jednotlivých termočlánků. Potřebujeme rovnoměrný tepelný tok, vzdálenosti mezi jednotlivými články musí být tedy stejné. Pomocí keramických desek, na které jsou polovodičové termoelementy připájeny, je zajištěn přívod tepla a elektrická izolace. [16]

6. PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část bakalářské práce se zabývá návrhem vzduchotechnického systému na využití odpadního tepla ve výrobní hale firmy *Huhtamaki* v obci Příbyslavice na Třebíčsku. Nejprve si tedy představíme výrobní závod v Příbyslavicích. [18]

6.1 Představení firmy Huhtamaki Česká Republika a.s. Příbyslavice

Huhtamaki

Obrázek 13 Logo firmy Huhtamaki [18]

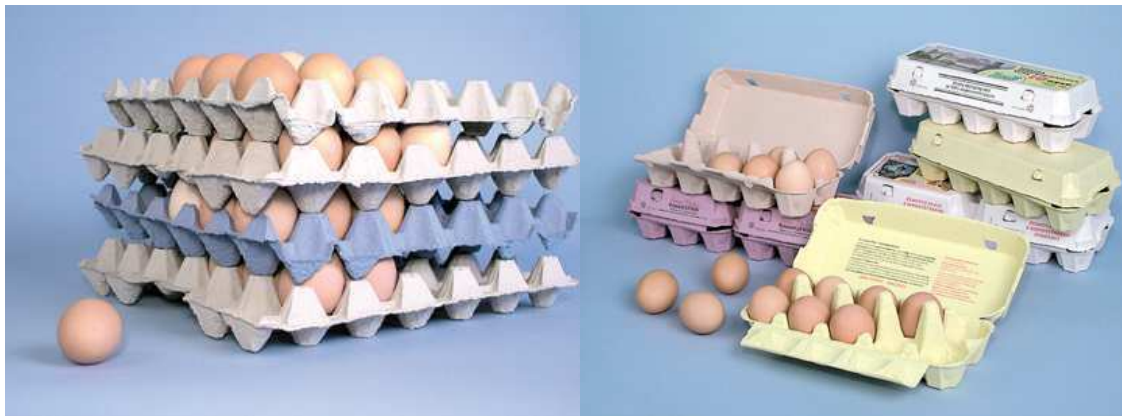
Výrobce a dodavatel obalů pro potravinářský průmysl. Výroba obalů na vejce, ovoce a zeleninu, držáků na nápoje, technických obalů.



Obrázek 14 Závod v Příbyslavicích [18]

6.2 Historie továrny

Historie továrny v Příbyslavicích je velmi bohatá a svoji stopu v ní zanechaly všechny historické epochy, zvraty a dramatické změny, kterými prošla celá naše země. Nejstarší písemnou zmínkou o příbyslavickém závodě je zápis v gruntovní knize z roku 1690, ve kterém se píše, že na místě dřívějšího mlýna a hamru byla brtnickou vrchností zřízena papírna s ruční výrobou papíru. [18]



Obrázek 15 Ukázka výrobků [18]

6.3 Výrobní proces

6.3.1 Rozvlákňování a třídění sběrového papíru

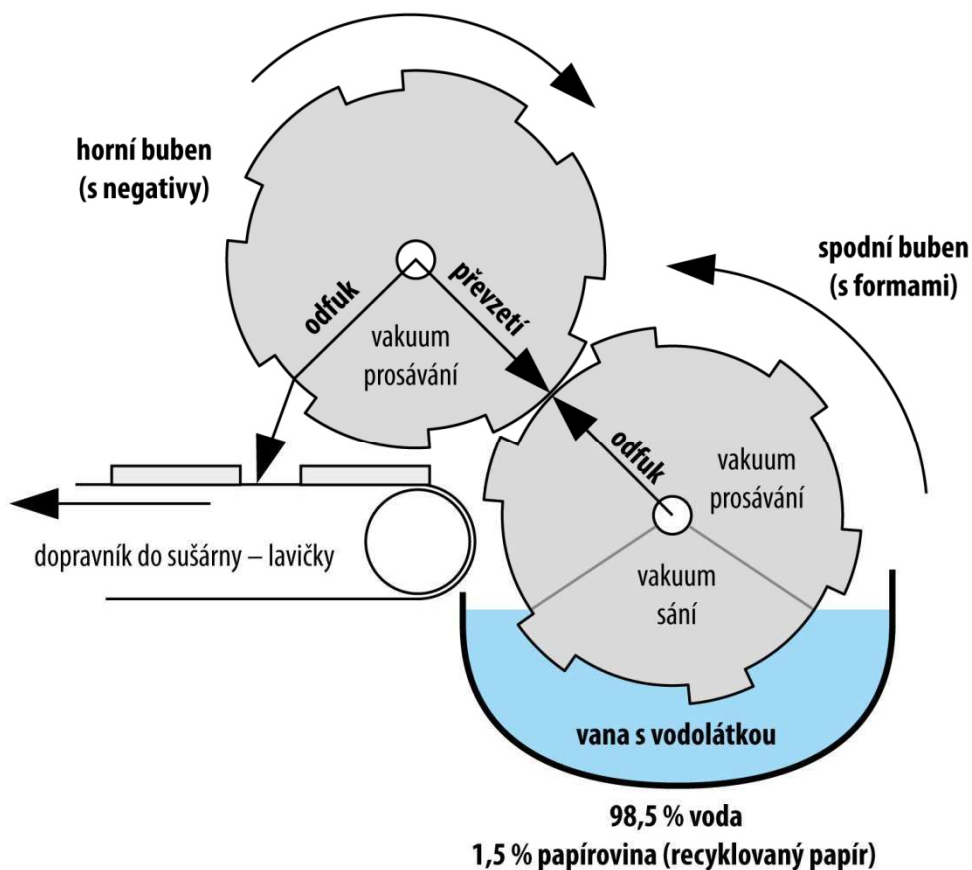
Rozvlákňování je první technologickou operací při výrobě nasávaných obalů. Je to proces, při kterém dochází k postupnému uvolňování vláken z původního materiálu. Jeho kvalita je určena množstvím nerozvlákněných podílů (shluků vláken).

Na proces rozvlákňování má rozhodující vliv obsah vody v rozvlákněvané vláknině. Obvykle se sušina sběrového papíru pohybuje mezi 85 – 92 %. Vsakováním vody do vláken se porušují jejich vzájemné vodíkové vazby. Tím se podstatně zmenšuje jejich vazebná pevnost. Pro oddělení vláken je pak potřebné vynaložit určité mechanické úsilí.

K rozvlákňování se používají rozvlákňovače nejrůznějších typů. Základní dělení je podle polohy osy rotoru na vertikální a horizontální. [18]

6.3.2 Princip výrobního stroje

Technologii výroby, která se v této firmě používá, se říká česky „nasávaná kartonáž“ a anglicky „molded fiber – tvarované vlákno“. Oba názvy stručně vyjadřují podstatu výroby: papírenská vlákna se při výrobě tvarují do nejrozličnějších nerovinných tvarů a skutečně se těchto tvarů dosahuje tak, že se vlákna nasávají na formu. [18]



Obrázek 16 Schéma výrobního stroje [18]

Výrobní stroj se ve své podstatě skládá ze dvou proti sobě rotujících válců - bubnů - osazených výrobními formami, pomocí nichž se výrobek vytvoří, a sušárny, kde se zbaví přebytečné vody. Schéma činnosti bubnů je nakresleno na obrázku.

Na spodním bubnu jsou umístěny formy ve tvaru výrobku. Formy jsou děrované a na jejich povrchu je jemné sítko – „košílka“. Buben je zčásti ponořen do vodolátky napuštěné ve vaně. Vodolátka se připravuje v rozvlákňovačích, s trochou nadsázky se dá říci, že je to chemicky upravená voda s velmi řídkým (jen 1 - 1,5%) výskytem jednotlivých papírových vláken. [18]

6.3.3 Lisování, potisk

Jakmile výrobek vyjede ze sušárny a následně přelisu, je v podstatě hotový. Klasické proložky na vejce se například nijak dále neupravují (tyto neprojíždí přeliséem), pouze se balí a expedují do skladů. [18]

6.3.4 Skladování a expedice

Hotové výrobky se na konci výrobní linky balí a odvázejí do skladů, kde jsou připraveny k expedici. Přestože jsou výrobky velmi sezónní, doba skladování výrobků se postupně snižuje. [18]

6.3.5 Kvalita vlastních výrobků

Mezi hlavní parametry, podle nichž se posuzuje kvalita výrobku z nasávané kartonáže, patří:

- jeho tvar
- jeho rozměry
- hmotnost
- vlhkost
- nasákavost

Norma FSC

Co to je FSC? Norma *Forest Stewardship Council*, původní základ normy je určen zejména pro zpracovatele dřeva a hlavním cílem je, aby dřevo bylo vytěžováno z lesů v souladu s ekologií, aby se lesy nedrancovaly, aby o ně bylo správně pečováno a za vytěžené stromy byly vysazovány stromy nové.

Norma FSC má verzi pro zpracovatele papíru, která se týká *Huhtamaki* a možná i jeho zákazníků – neboť stále více řetězců požaduje umístění FSC loga na svých výrobcích a logo nelze na výrobek umístit, aniž by byl dodavatel FSC certifikován. [18]



Obrázek 17 Logo normy FSC
[18]

7. PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU

Projekt řeší návrh systému na využití přebytečného odpadního tepla z prostoru sušáren na Hale 3, jeho následnou distribuci pomocí vzduchotechniky k vytápění skladu s dovezeným papírem, skladu hotových výrobků a haly kde je umístěn rozvlákňovač. V důsledku sušení výrobků je v prostoru sušáren průměrná teplota 38°C. Zpětné využití odpadního tepla pro vytápění by mělo ušetřit výdaje za vytápění pomocí plynu v prostoru skladu hotových výrobků a zabránit tvorbě plísní v prostoru, kde probíhá rozvlákňování.

V prostoru skladu hotových výrobků se nacházejí 2 klimatizační jednotky Sahara Maxx HG5 o tepelném výkonu 75kW, které slouží k vytápění skladu haly. Ostatní prostory haly 3, které jsou zahrnuty v řešení, nejsou vytápěny.

7.1 HALA 3

Jedná se o stávající dvoulodní halu, stojící v severovýchodním rohu výrobního závodu, s nosným železobetonovým skeletovým systémem, zastropení je řešeno plnostěnnými vazníky a žebříkovými panely. Severní část haly slouží pro přípravu výrobní hmoty, západní loď pro vlastní výrobu a následné sušení výrobků a východní pro skladování hotových výrobků. Předmětem projektu je odvedení tepelné zátěže z prostoru pro sušení výrobků (sušárna), který má rozměry cca 24x24x 9 m (délka /šířka/výška) a je vybaven linkami LEO 2000 (M6-M9), konkrétněji jejich částí pro sušení, výrobní část je v druhé místnosti a je oddělena stěnou. Každá sušárna je vybavena plynovým hořákem o výkonu cca 1 MW, který pracuje za běžných provozních podmínek na cca 60 % svého výkonu, sušárna pracuje s oběhovým vzduchem, přičemž část je odváděna se spaliny komínem nad střechu objektu. Provoz hal je nepřetržitý s výjimkou několika dní v roce.

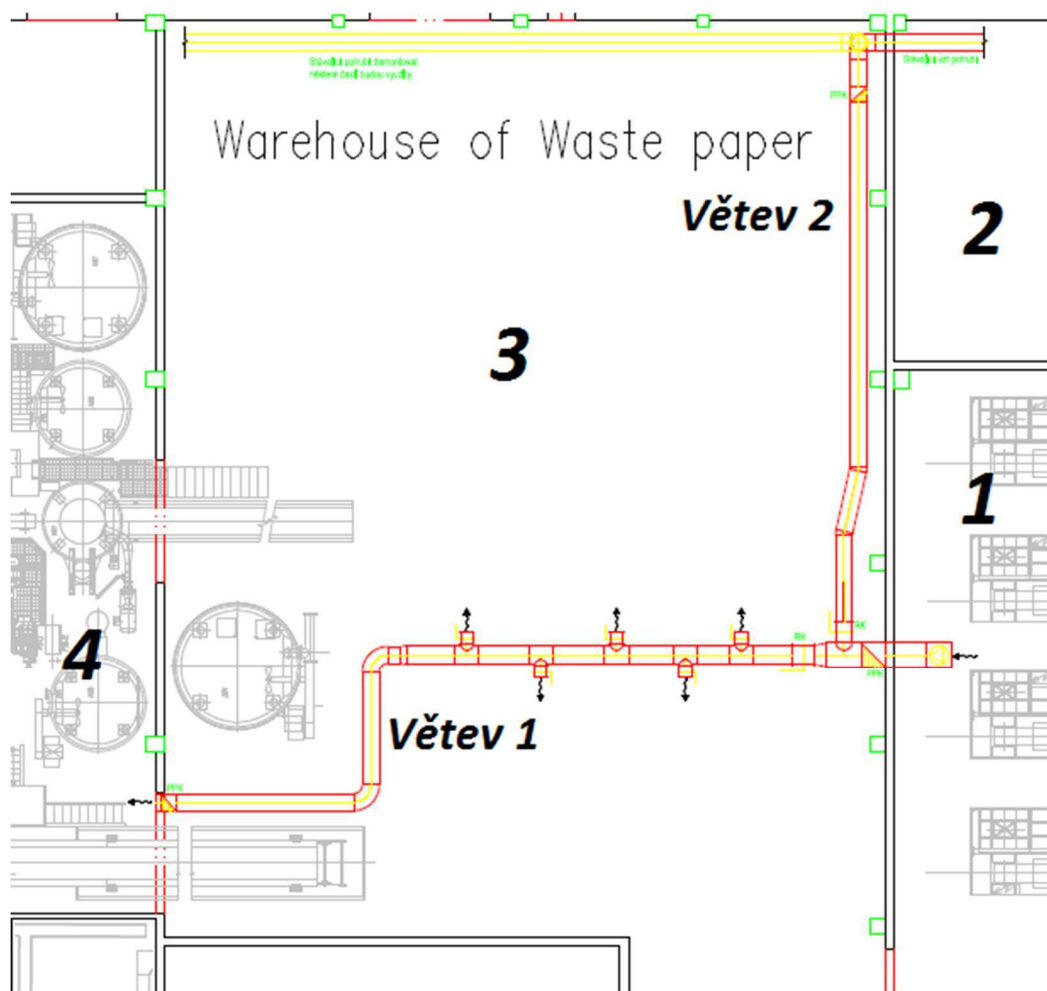
7.1.2 Prostor sušáren

V prostoru sušáren, odkud budeme odvádět přebytečné teplo a rozvádět dále po celé hale 3, je již instalováno zařízení pro odvod nadměrné tepelné zátěže, aby nedocházelo ke strhávání chladného nákladně upravovaného vzduchu z pracovní oblasti. Je zde navržen rovnotlaký systém z nuceného přívodu a odvodu vzduchu. Zařízení sestává z 3 přívodních potrubních axiálních ventilátorů, osazených na západní straně fasády, a z 3 odvodních ventilátorů, osazených na východní straně fasády. S celkovým vzduchovým výkonem 90000 m³.h⁻¹. Tyto ventilátory zajišťují cca 20násobnou výměnu vzduchu v prostoru sušáren za hodinu. Všechny ventilátory jsou vybaveny tlumiči hluku směrem ven, z důvodu nepřekročení hlukových limitů venkovního prostředí. Proti nežádoucímu větrání v době mimo provoz je každý ventilátor vybaven samočinnou klapkou. Jeden z ventilátorů je vybaven výtlačným potrubím, opatřeným vývody, směřovanými

k podlaze tak, aby chladnějším vzduchem z venkovního prostředí byly ofukovány vývěvy, a tak bylo dosaženo lepších pracovních podmínek pro dané stroje. Ovládání systému je realizováno z řídicího počítače a z rozvaděče. Spouštění je nastaveno od teploty 40 °C pod stropem a je umožněno nastavení časového režimu.

7.2 Návrh systému vzduchotechniky pro využití odpadního tepla

Samotný návrh bude sestávat z mnoha komponentů průmyslové vzduchotechniky. Hlavním článkem bude samozřejmě ventilátor, pomocí kterého budeme nasávat teplý vzduch z prostoru sušáren a dále ho distribuovat pomocí potrubí do dalších prostor haly. Ventilátor bude pracovat v kombinaci s jednou dvojicí ventilátorů (přívodního a odvodního), již instalovaných v prostoru sušáren, sloužících k přivedení čerstvého vzduchu a k odvedení tepelné zátěže v důsledku výrobního procesu.



Obrázek 18 Hala3

1-prostor sušáren, 2-prostor skladu hotových výrobků, 3-prostor skladování dovezeného papíru, 4-prostor rozvlákňování.

Při potřebě vytopení skladu hotových výrobků se odvodní ventilátor, který má za úkol odvádět tepelnou zátěž ven nad střechu. Nově instalovaný ventilátor se vypne, zapne a bude tak tímto teplem vytápět dané prostory haly. Z toho důvodu byl zvolen stejný typ ventilátoru jako jsou ventilátory, které jsou zde instalovány k odvedení nadměrné tepelné zátěže, aby docházelo ke stejnoměrnému odvodu vzduchu z místnosti a nedocházelo k přetlaku nebo naopak k podtlaku.

Tento ventilátor se bude spínat na základě poklesu teploty v prostoru skladu hotových výrobků pod hodnotu 20 °C v zimním období roku a vypnutí bude nastaveno při vytopení prostoru na hodnotu 24° C. To by mělo zajistit pracovní pohodu v celém prostoru skladu a ušetřit tak za externí vytápění plynem pomocí klimatizačních jednotek *SAHARA*. Dalším účelem bude i vytápění prostoru skladování dovezeného papíru a přívod suchého vzduchu do prostoru rozvlákňování a částečné zamezení tvoření plísni v důsledku vlhkosti.

7.2.2 Komponenty navrhované vzduchotechniky

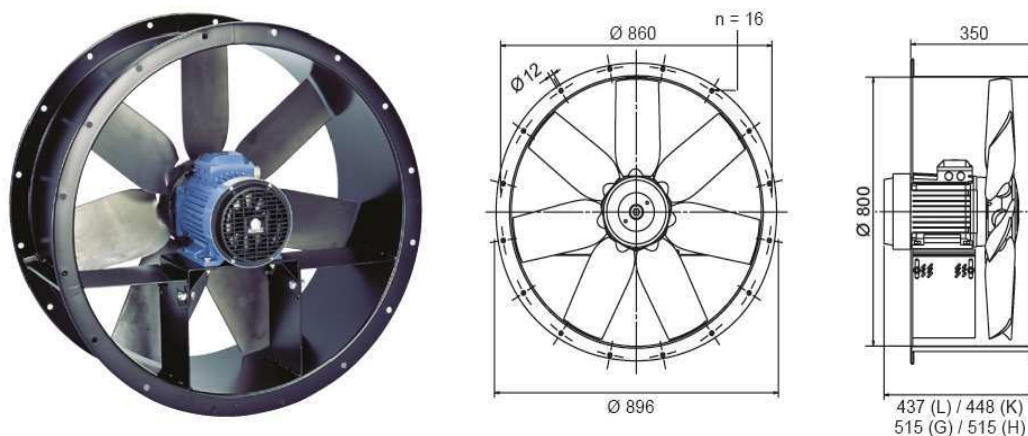
Vzduchotechnika bude sestávat z axiálního ventilátoru TCBT/4-800, který bude sloužit k rozvedení teplého vzduchu. Dále z kruhového potrubí (spiropotrubí), tvarovek a oblouků, přechodů na menší průřez potrubí, odbočky, která bude rozdělovat potrubí na dvě větve, z dýz s dalekým dosahem pro distribuci vzduchu z potrubní větve, z dvou regulačních klapek pro možnost regulace průtoku vzduchu v jedné nebo druhé potrubní větvi, z protipožárních klapek, které musí být umístěny v každém prostupu skrze zeď do další místnosti a z dalšího příslušenství (krycí mřížky, upevňovací a spojovací materiál, tlumiče vibrací, pružné spojky k ventilátoru).

Aby nedocházelo k přenosu vibrací, budou všechny rotující části pružně napojeny na potrubí a usazeny na tlumiče chvění, příp. gumovou podložku, všechna vedení budou zavěšena pružně nebo uložena pružně, tzn. na prvcích, vybavených gumou nebo silentblokem. Po konzultaci s vedoucím projektu ve firmě nebude ventilátor osazen tlumičem hluku.

Celé zařízení je navrženo v souladu s požárním zabezpečením objektu, vyhláškou č. 246/2011, ČSN 73 0810, ČSN 73 0872, 73 0872 a 73 0804. Otvory pro sání a výfuk jsou umístěny v souladu s příslušnými články ČSN 73 0872.

- Axiální ventilátor TCBT/4-800 PTC IP55

Je axiální ventilátor, podle typu použitelný k montáži na stěnu nebo do kruhového potrubí. Je vhodný pro větší průtoky a malé tlakové ztráty vzduchovodů. Je určen k dopravě vzduchu bez mechanických částic, které by mohly způsobit abrazi nebo nevyváženost oběžného kola. [19]



Obrázek 19 Axiální ventilátor TCBT/4

Jeho skříň je z ocelového plechu, opatřeného černým lakem, montážní konzoly a šrouby jsou galvanicky pokoveny. Oběžné kolo je vyrobeno z hliníkové slitiny, je staticky a dynamicky vyváжено, rozsah pracovních teplot je v rozmezí -40 až $+40$ °C. Motor je asynchronní, dle typu s odporovou kotvou nakrátko, stator s chladicími žebry.

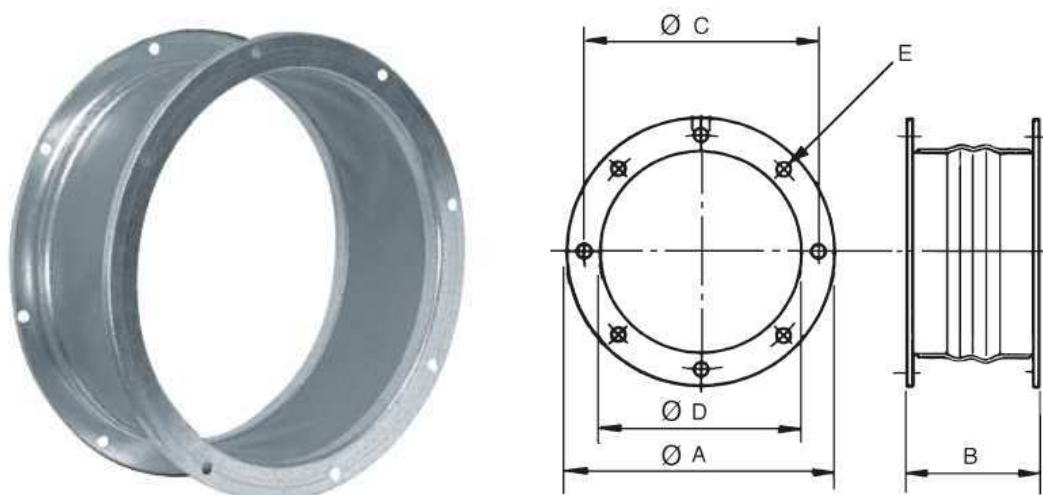
Motory s odporovou kotvou jsou vybaveny tepelnou ochranou (termokontakty nebo PTC), vinutí je tropikalizované s izolací třídy F a pracovní teplotou -40 až $+40$ °C. Kuličková ložiska mají tukovou náplň na dobu životnosti. Krytí IP55. Montáž ventilátoru v každé poloze osy motoru. Skříň nesmí přenášet mechanické namáhání z potrubních rozvodů. Je nutné použít pružné připojení k potrubí. [19]

Typ	otáčky [min ⁻¹]	průtok (0 Pa) [m ³ /h]	výkon [W]	napětí [V]	proud [A]	max. teplota [°C]	akustický tlak* [dB(A)]	hmot. [kg]	regulátor
TCBT/4-800L	1460	29950	3750	400	6,5	40	76	65	VFVN-020-3L-9-PTC
TCBT/4-800 K	1460	34950	5177	400	8,8	40	76	68	VFVN-020-3L-12-PTC
TCBT/4-800G	1470	38500	6146	400	11,1	40	77	81	VFVN-020-3L-16-PTC
TCBT/4-800 H	1475	42490	7688	400	13	40	78	89	VFVN-020-3L-16-PTC

Obrázek 20 Tabulka dostupných ventilátorů [19]

- Pružná spojka – ACOP 800

Pružná spojka pro potrubní ventilátory umožňuje připojit či odpojit ventilátor pro údržbu a čištění, je vyrobena z PVC a polyamidové tkaniny, velmi dobře tlumí případné kmity, přenášené z ventilátoru na potrubí. Spojka se připevňuje na ventilátor a potrubí dvěma přírubami. Příruba je vyrobena z ocelového pozinkovaného plechu. Pracovní teplota je 70 °C. [19]



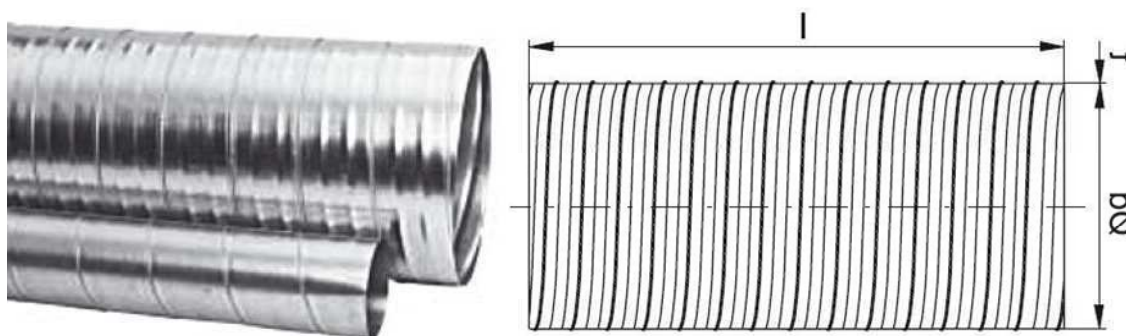
Obrázek 21 Pružná spojka [19]

Tabulka 1 Rozměry pružné spojky

ØA [mm]	B [mm]	ØC [mm]	ØD [mm]	E [-]
896	170	860	800	16x Ø12

- Spiropotrubí SPIRO DN 800, 710, 630

Falcované potrubí vyrobené z pozinkovaného plechu pro mechanická větrací a klimatická vedení, pro odtahy kouře a prachu. Silně mechanicky odolné. Barva přírodní pozink. [19]



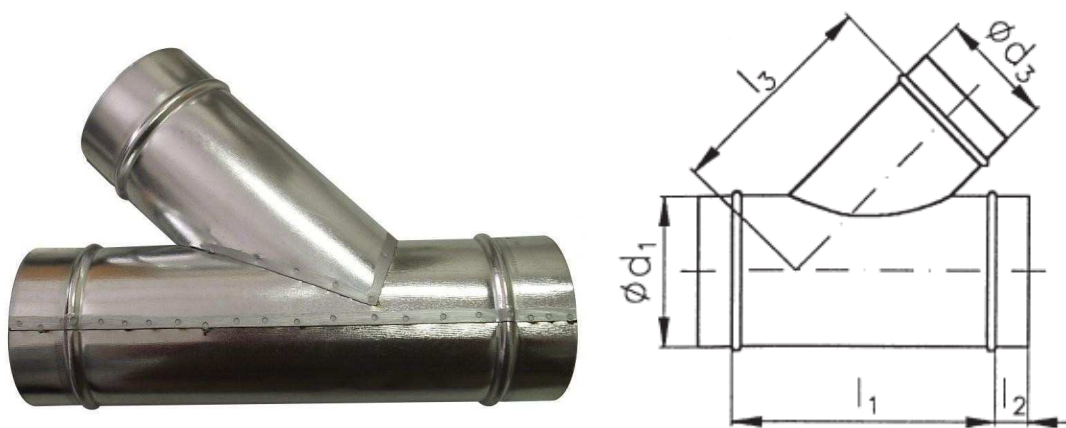
Obrázek 22 Spiro potrubí [19]

Tabulka 2 Rozměry kruhového potrubí

Ød [mm]	O [m]	A [m ²]	l [mm]	t [mm]	m [kg/m]
800	2,513	0,503	3000	0,8	17,4
710	2,231	0,396	3000	0,8	15,5
630	1,979	0,312	3000	0,7	12,0

- **Odbočka 45° jednostranná 800/800**

Silné mechanicky odolné potrubí určené pro dopravu vzduchu. Teplotní odolnost -30 °C až +100 °C krátkodobě -50 °C až +120 °C. [19]



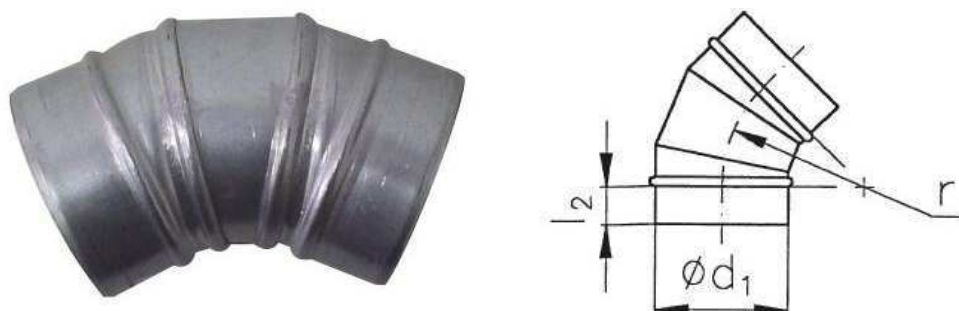
Obrázek 23 Odbočka 45° jednostranná [19]

Tabulka 3 Rozměry odbočky

Ød1, Ød3 [mm]	l1 [mm]	l2 [mm]	l3 [mm]	m [kg]
800	1380	100	1090	45

- **Oblouk 45° segmentový 800, 630**

Tvarovka, sloužící ke změně směru distribučního potrubí. Složená ze segmentů z pozinkovaného plechu. [19]



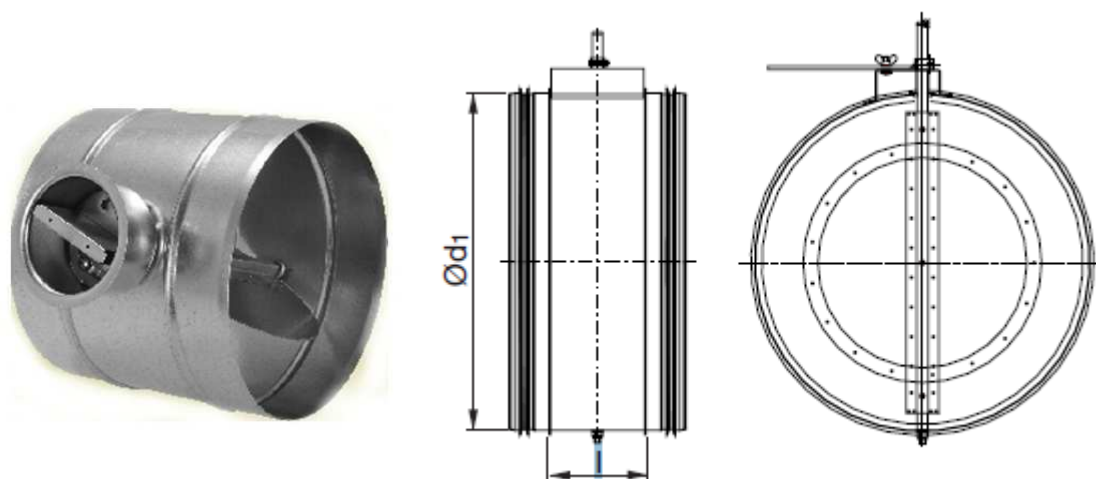
Obrázek 24 Oblouk 45° segmentový [19]

Tabulka 4 Rozměry segmentového oblouku

Ød1 [mm]	r1 [mm]	l2 [mm]	m [kg]
800	800	100	17,2
630	630	80	10,9

- **Regulační klapka kruhová KU 800**

Regulační klapky KU jsou určeny pro regulaci nebo uzavření průtoku vzduchu. Regulační klapka má nastavitelný plný otočný list. [19]



Obrázek 25 Regulační klapka KU [19]

Tabulka 5 Rozměry regulační klapky

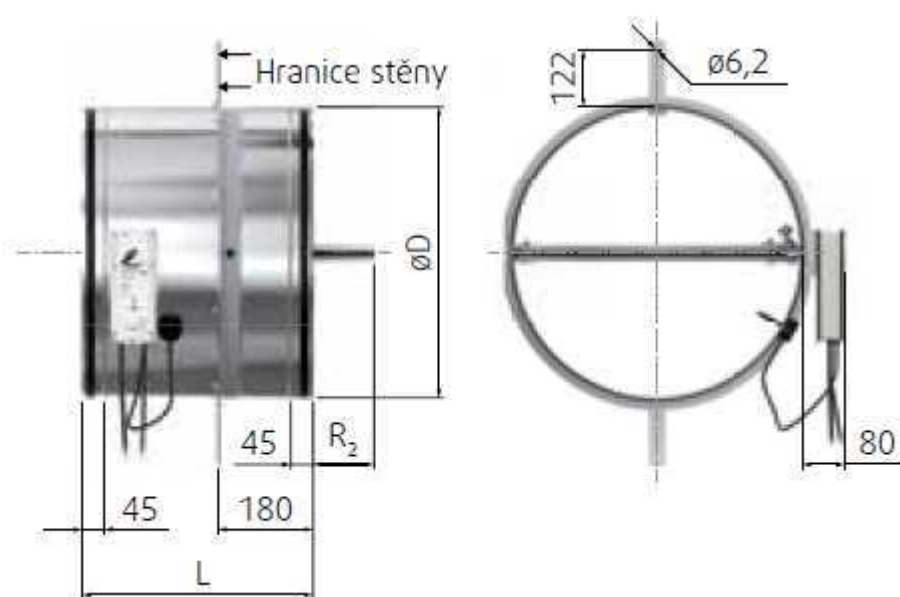
Ød1 [mm]	l [mm]	m [kg]	Třída přesnosti uzavřené čepele
800	230	19	1

- **Protipožární klapka DN 800, 630 se servopohonem**

Požární klapka je požární uzavěr vzduchotechnického potrubí vyrobený tak, aby list klapky na základě mechanického, teplotního nebo elektrického impulsu uzavřel potrubí a zamezil šíření plamenů, tepla a kouře.

Klapky jsou certifikované podle normy ČSN EN 15650, testované podle ČSN EN 1366-2 a klasifikované podle normy ČSN EN 13501-3.

Součástí servopohonu je termoelektrické spouštěcí čidlo, které při dosažení, setrvání nebo překročení teploty prostředí $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ s tolerancí $\pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ spustí servopohon a uzavře list klapky do 20 sec. [19]



Obrázek 26 Protipožární klapka [19]

Tabulka 6 Rozměry protipožárních klappek

rozměr [mm]	Ød [mm]	L [mm]	m [kg]	A [m ²]	R ₁ [mm]	R ₂ [mm]
800	798	500	17,8	0,459	58	236
630	627	427	41,5	0,283	-	198

7.3 Energeticko-ekonomické zhodnocení projektu

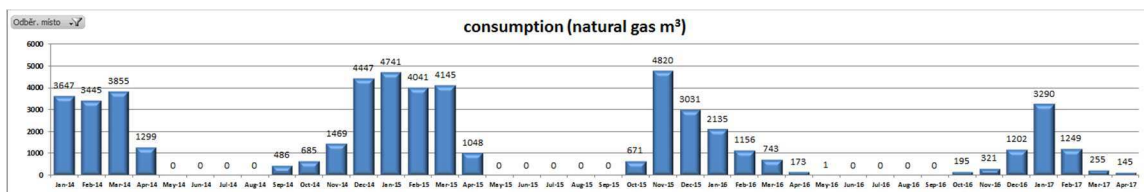
Nezbytným podkladem pro rozhodování investora je výpočet ekonomických dopadů hodnoceného projektu na ekonomiku investora.

Ekonomická efektivnost se měří penězi, proto její výpočet nemůže obsahovat penězi neměřitelné veličiny. Ekonomické hodnocení nám proto může dát pouze odpověď na otázku, co nás to stojí a jaký je ekonomický efekt.

Výpočet ekonomické efektivnosti hodnotí dosažené výnosy (efekty) ve srovnání s náklady (nároky) na realizaci a provoz posuzované investice.

Tabulka 7 Vzduchotechnika HALA3 - potřebné komponenty

Název položky	počet	mj	j. cena	celkem
Axiální ventilátor - TCBT/4-800 G	1	ks	56 920 Kč	56 920 Kč
Požární klapka DN 800 servopohon BF230	1	ks	15 400 Kč	15 400 Kč
Požární klapka DN 710 servopohon BF230	1	ks	13 200 Kč	13 200 Kč
Krycí mříž ventilátoru	1	ks	1 200 Kč	1 200 Kč
Odbočka OBJ45 800-800	1	ks	4 070 Kč	4 070 Kč
Odbočka OBJ90 800-400	5	ks	1382 Kč	6 910 Kč
Regulační klapka DN 800	2	ks	3 330 Kč	6 660 Kč
Regulační klapka DN 400	5	ks	1 020 Kč	5 100 Kč
Oblouk OS45 DN 800	2	ks	3 600 Kč	7 200 Kč
Oblouk OS45 DN 710	6	ks	3 400 Kč	20 400 Kč
Přechod 800-710	1	ks	1 890 Kč	1 890 Kč
Dýza s dalekým dosahem DN 400	5	ks	4 210 Kč	21 050 Kč
Spiro potrubí DN 800	6	m	1 030 Kč	6 180 Kč
Spiro potrubí DN 710	24	m	920 Kč	22 080 Kč
Pružná spojka DN 800	1	ks	4 120 Kč	4 120 Kč
Příruby volné DN 800	2	ks	2 200 Kč	4 400 Kč
Ochranná mřížka DEF DN 710	1	ks	1 439 Kč	1 440 Kč
závěsný materiál, objímky	1	kpl	12 400 Kč	12 400 Kč
demontáž stávajícího potrubí	1	kpl	5 600 Kč	5 600 Kč
zhotovení prostupů vč. Následného zapravení	2	ks	8 000 Kč	16 000 Kč
kabel CYKY 7x2,5	100	m	44 Kč	4 400 Kč
kabel JYTY 2x1	100	m	7 Kč	700 Kč
stykač Schrack	4	ks	1000 Kč	4000 Kč
pomocné relé	1	ks	500 Kč	500 Kč
přepínač do dveří rozvaděče	1	ks	600 Kč	600 Kč
úprava rozvaděče, zapojení, zprovoznění	1	kpl	6 000 Kč	6 000 Kč
montážní práce	1	kpl	cca 30 000 Kč	cca 30 000 Kč
Vzduchotechnika a elektro část – cena celkem			bez DPH	278 420 Kč
pozn. Cena nezahrnuje montážní plošinu, dopravu a přepravu materiálů				



Obrázek 27 Množství spotřebovaného zemního plynu

Tabulka 8 Náklady za provoz klimatizačních jednotek SAHARA 75kW

Zemní plyn	rok	Množství [m³]	Cena [Kč]
	2014	19 333	111 551,-
	2015	22 497	129 807,-
	2016	5 926	34 193,-
	2017 (4 měsíce)	4939	28 498,-
Elektrická energie	rok	Množství [kWh]	Cena [Kč]
	2014	2758.175	3586,-
	2015	3209.572	4172,-
	2016	845.443	1099,-
	2017 (4 měsíce)	704.631	916,-
Výdaje za rok 2014			115 137,-
Výdaje za rok 2015			133 980,-
Výdaje za rok 2016			35 292,-
Výdaje za stávající rok 2017 (4 měsíce)			29 414,-
Průměrné roční výdaje (2014, 2015, 2016)			94 803,-
Celkové výdaje od roku 2014			313 822,-

Příklad výpočtu pro rok 2015:

Za rok 2015 spotřebovaly klimatizační jednotky Sahara Maxx HG5, 22 497 m³ zemního plynu a zároveň potřebovaly na svůj provoz 3209.572 kWh elektrické energie. Současná cena za m³ zemního plynu je 5,77 Kč, cena za kWh (v rámci *Huhtamaki*) je 1,30 Kč.

Výpočet výdajů za zemní plyn

Počítáme množství spotřebovaného plynu za sledované období (rok 2015), v tomto případě 22 497 m³ a násobíme cenou za 1 m³ zemního plynu (5.77 Kč/m³).

$$22\,497 \cdot 5,77 = 129\,807,69 \text{ Kč} \quad (7.1.)$$

Výpočet výdajů za elektrickou energii

Počítáme množství spotřebovaného plynu v m³ a násobíme koeficientem 10,7 (roční průměrný koeficient) pro přepočet m³ na kWh, kdy tedy platí, že 1 m³ zemního plynu je 10,7 kWh elektrické energie.

$$22\,497 * 10,7 = 240\,717,7 \text{ kWh} \quad (7.2.)$$

Dále je potřeba počet kWh podělit tepelným výkonem klimatizačních jednotek, který činí 75 kW. Z následného výsledku dostaneme počet hodin, kdy byly jednotky v provozu.

$$\frac{240\,717,7}{75} = 3209.572 \text{ hodin} \quad (7.3.)$$

Tento počet hodin už pouze vynásobíme cenou za 1 kWh elektrické energie, a to v rámci firmy *Huhtamaki* činí 1,30 Kč/kWh.

$$3209.572 * 1,30 = 4172,44 \text{ Kč} \quad (7.4.)$$

Energetické výdaje za rok 2015 zjistíme součtem výdajů za zemní plyn a elektrické energie.

$$129\,807,69 + 4172,44 = 133\,980,13 \text{ Kč} \quad (7.5.)$$

V případě, že budeme uvažovat pracovní dobu ventilátoru podobnou jako u klimatizačních jednotek *SAHARA*, které jím budou nahrazeny, budeme počítat jeho roční pracovní dobu na cca 3200 hodin. Potom dostaneme výdaje související s jeho provozem.

$$3200 * 1,30 = 4160 \text{ Kč} \quad (7.6.)$$

Zjednodušený výpočet ekonomické efektivnosti lze provést porovnáním dosažených ročních přínosů z úspor energie s vynaloženými investičními náklady. Prostá návratnost vynaložené investice se vypočte takto:

$$CF = V - N_p = 94\,803 \text{ Kč} - 4160 \text{ Kč} = 90\,643 \text{ Kč} \quad (7.7.)$$

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{278\,420 \text{ Kč}}{90\,643 \text{ Kč}} = 3,07 \text{ roku} \quad (7.8.)$$

Kde je:

IN	investiční jednorázové náklady na realizace projektu
V	výnosy z realizace, např. roční hodnota úspor energie
N_p	roční provozní náklady
$CF = V - N_p$	roční úspory v peněžní formě
T_s	doba zaplacení projektu

7.4 Výpočtová část

Náš odvodní ventilátor bude nastaven na průtok vzduchu $Q = 30\,000\text{ m}^3/\text{h}$, aby se udržel rovnoměrný přívod a odvod vzduchu v prostoru sušárny, kde je instalován přívodní ventilátor též na $Q = 30\,000\text{ m}^3/\text{h}$.

Ventilátor bude umístěn za požární klapkou, která musí být v každém dalším prostupu z místnosti do místnosti. Na ni bude ihned navazovat rozbočka, která nám bude rozdělovat potrubí na dvě větve. Tlaková ztráta v obou větvích musí být stejná, aby byla soustava vyvážená.

Nejprve si však musíme spočítat, zda ventilátor bude s jeho průtokem vzduchu dostačující pro dodávku potřebného množství vzduchu, který nám musí primárně vytopit prostor skladu hotových výrobků.

Předpokládám, že průtok vzduchu $30\,000\text{ m}^3/\text{h}$, který bude na přívodu v odbočce, se rozloží přibližně rovnoměrně na polovinu do každé větve, tedy $15\,000\text{ m}^3/\text{h}$. Rychlost však zůstane konstantní a budu počítat, že vlivem odbočky i protipožární klapky klesne rychlost vzduchu z původních 16 m/s na cca 15 m/s do každé větve. Vzhledem k tomu, že až do přívodu přes protipožární klapku ve stěně do skladu, není v trase potrubí žádný odběr, budeme počítat s celým přivedeným hodinovým průtokem $15\,000\text{ m}^3/\text{h}$ a teplotou přiváděného vzduchu $38\text{ }^\circ\text{C}$.

Výpočet doby vytopení skladu

Objem skladu: 72x12x10 m (délka, šířka, výška)

Průměrná teplota odebíraného vzduchu ze sušáren je 38°C

$$V = 72 * 12 * 10 = 8640 \text{ m}^3 \quad (7.9.)$$

kde:

V objem vzduchu v místnosti [m³]

Hmotnost vzduchu v místnosti

$$m = \rho_{20^\circ\text{C}} * V = 1,188 * 8640 = 10\,368 \text{ kg} \quad (7.10.)$$

kde:

$\rho_{20^\circ\text{C}}$ hustota vzduchu [kg.m⁻³]

V objem místnosti [m³]

Potřebujeme vypočítat jaké množství vzduchu musíme přivést do místnosti o objemu V a teplotě T₁, aby se nám teplota v místnosti zvýšila o 1 °C. Výpočet provedeme za pomoci kilometrické rovnice.

$$(V - V_{př}) * c_{p20^\circ\text{C}} * (T_2 - T_1) = V_{př} * c_{p38^\circ\text{C}} * (T_3 - T_2) \quad (7.11.)$$

$$(V - V_{př}) * 1010 * (21 - 20) = V_{př} * 1013 * (38 - 21)$$

$$(V - V_{př}) * 1010 * 1 = V_{př} * 1013 * 17$$

$$V - V_{př} = \frac{17\,221}{1010} * V_{př}$$

$$V - V_{př} = 17,05 * V_{př}$$

$$V = 18,05 * V_{př}$$

$$V_{př} = \frac{V}{18,05} = \frac{8\,640}{18,05} = 478,67 \text{ m}^3$$

kde:

V	objem skladu	[m ³]
V _{př}	objem potřebného přiváděného vzduchu	[m ³]
c _{p20°C}	měrná tepelná kapacita vzduchu při 20 °C	[J.K ⁻¹ .kg ⁻¹]
c _{p38°C}	měrná tepelná kapacita vzduchu při 40 °C	[J.K ⁻¹ .kg ⁻¹]
T ₁ , T ₂ , T ₃	teploty	[°C]

Výpočet množství přivedeného vzduchu za jednu vteřinu.

$$Q = \frac{15\,000\,m^3 \cdot s^{-1}}{3600\,s} = 4,166\,m^3 \cdot s^{-1} \quad (7.12.)$$

Výpočet doby, kterou je potřeba přivádět množství teplého vzduchu pro ohřátí místnosti o 1 °C.

kde:

Q	průtok vzduchu	[m ³ .s ⁻¹]
---	----------------	------------------------------------

$$t = \frac{V_{př}}{Q} = \frac{478,67}{4,166} = 114,89\,sec \quad (7.13.)$$

$$t = \frac{114,89}{60} = 1,914\,minut \quad (7.14.)$$

kde:

t	čas	[s]
Q	průtok vzduchu	[m ³ .s ⁻¹]
V _{př}	objem potřebného přiváděného vzduchu	[m ³]

Z výpočtu plyne, že přiváděním 4,166 m³ za vteřinu teplého vzduchu o teplotě 38 °C se nám zvedne teplota v místnosti o objemu 8 640 m³ z teploty 20 °C na 21 °C za dobu 1,914 minut.

Tabulka 9 Doba dosažení požadované teploty v místnosti

teplota v místnosti [°C]	21	22	23	24
doba za kterou je teploty dosaženo [minuty]	1,914	3,82	8,74	7,65

Doba, po kterou musíme vhánět teplý odpadní vzduchu, abychom dosáhli požadované teploty 24°C je tedy přibližně 7,65 minut.

Ve skladu hotových výrobků je instalován stávající systém ventilátorů, který se stará o rovnoměrný odvod vzduchu, aby nedocházelo v prostoru k přetlaku přiváděným teplým vzduchem. K těmto ventilátorům však nemám žádnou dokumentaci ani technické parametry. Z informací, co mi byly poskytnuty vím, že ventilátory se vypínají v závislosti na otevření vstupních vrat při nakládce hotových výrobků, aby nedocházelo k nerovnoměrnému odvodu vzduchu z místnosti.

Prostor dovezeného papíru a rozvlákňování

Vytápění dvou dalších prostorů (sklad dovezeného papíru a prostor rozvláknování) není předmětem výpočtu této práce. Přínosy z řešení jsou zde obtížně vyčíslitelné a pro účely práce zanedbatelné, tedy je v práci neuvažuji. Ve skladu papíru navrhované řešení přispěje k lepším podmínkám především v zimě, kdy přiváděné teplo zabraňuje rychlejší degradaci papíru, snižuje vlhkost, avšak volně uniká často otevřenými vraty pro návoz. V prostoru rozvláknění přidané teplo snižuje vlhkost prostoru a vysušuje budovu s velmi vlhkým procesem zpracování. Tím přispívá k životnosti zařízení i budovy.

Výpočet tlakových ztrát ve větvích potrubí

Tabulka 10 Tlaková ztráta 1. větve

[illegible]

Tabulka 11 Tlaková ztráta 2. větve

úsek	l [m]	d [mm]	S [m ²]	Q [m ³ /h]	v [m/s]	ξ [-]	ΔP [Pa]
1	7,2	280	0,062	1 668	7,13	0,33	34
2	7,2	315	0,078	3 012	8,83	0,33	43
3	7,2	355	0,099	4 344	10,16	0,33	50
4	7,2	400	0,126	5676	11,21	0,33	56
5	7,2	450	0,159	7008	12,04	0,33	60
6	7,2	500	0,196	8 340	12,71	0,33	63
7	7,2	560	0,246	9 672	13,25	0,33	66
8	7,2	600	0,283	11 004	13,71	0,33	68
9	7,2	630	0,312	12 336	14,34	0,33	72
10	7,2	710	0,396	13 668	14,84	0,33	74
11	7,2	800	0,503	15 000	15	0,33	76
12	1	800	0,503	15 000	15	0,4	63
13	3	800	0,503	15 000	15	0,48	70
14	18	800	0,503	15 000	15	0,03	52
15	1	800	0,503	15 000	15	-	20
16	1	800	0,503	15 000	15	0,3	48
17	1	800	0,503	15 000	15	-	63
celková tlaková ztráta větve							978

Příklad výpočtu tlakové ztráty:

Pro 1. řádek tabulky 9

$$\Delta P_{zt} = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2} * \rho + \sum \xi * \frac{v^2}{2} * \rho \quad (7.15.)$$

$$\Delta P_{zt} = 0,012 * \frac{21}{0,8} * \frac{14,28^2}{2} * 1,188 + 1,78 * \frac{14,28^2}{2} * 1,2 = 265 \text{ Pa}$$

kde:

λ	součinitel třecích ztrát	[-]
l	délka potrubí	[m]
d	charakteristický průměr potrubí	[mm]
v	rychlost proudění	[m.s ⁻¹]
ρ	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
ξ	součinitel místních ztrát (ztrátový součinitel)	[-]

určení Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{v_s D_h}{\nu} = \frac{15 * 0,8}{1,7511 * 10^{-5}} = 685\,283.53 \, m^2 \cdot s^{-1} \quad (7.16.)$$

kde:

v_s	střední rychlost proudění	$[m \cdot s^{-1}]$
D_h	hydraulický průměr potrubí	$[m]$
ν	kinematická viskozita vzduchu	$[m^2 \cdot s^{-1}]$

výpočet kinematické viskozity

$$\nu = \frac{\eta_{40^\circ}}{\rho_{40^\circ}} = \frac{19,087 * 10^{-6}}{1,09} = 1,7511 * 10^{-5} \, m^2 \cdot s^{-1} \quad (7.17.)$$

kde

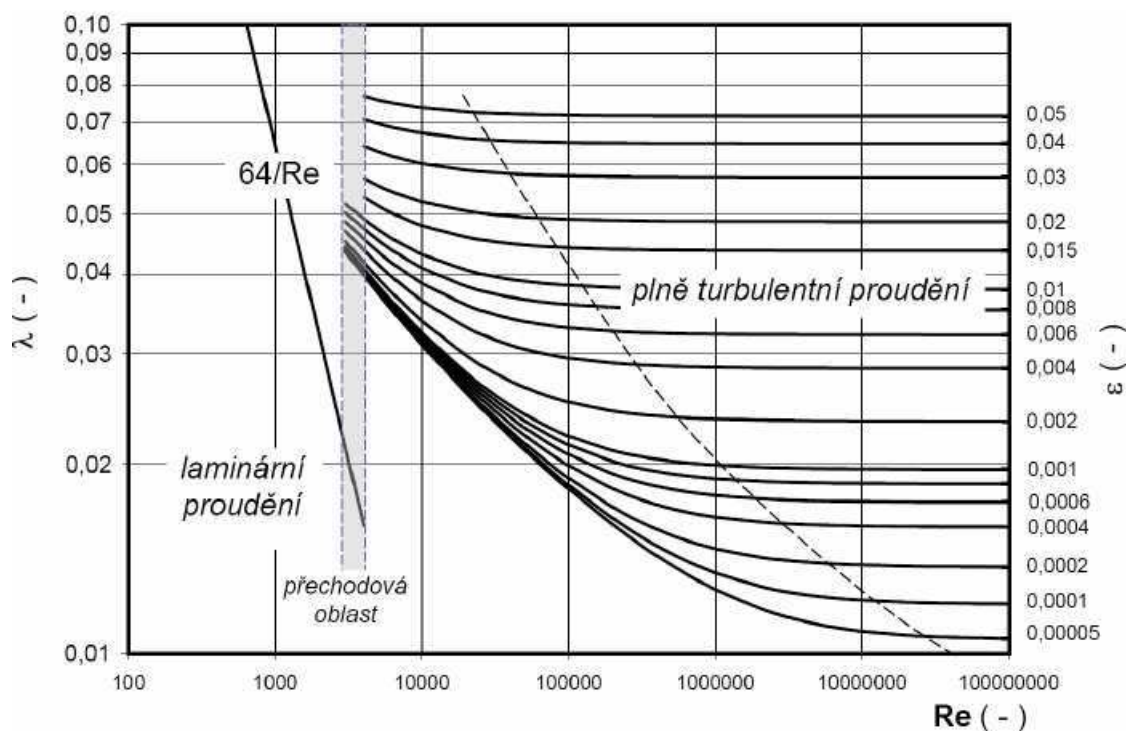
η_{40°	dynamická viskozita (Tab. Hod. pro 40°C je 19,087.10 ⁻⁶)	$[Pa \cdot s^{-1}]$
ρ_{40°	hustota vzduchu při 40°C (1,09)	$[kg \cdot m^{-3}]$

relativní drsnost potrubí

$$\varepsilon = \frac{K}{D_h} = \frac{0,15}{800} = 0,0001875 \quad (7.18.)$$

kde:

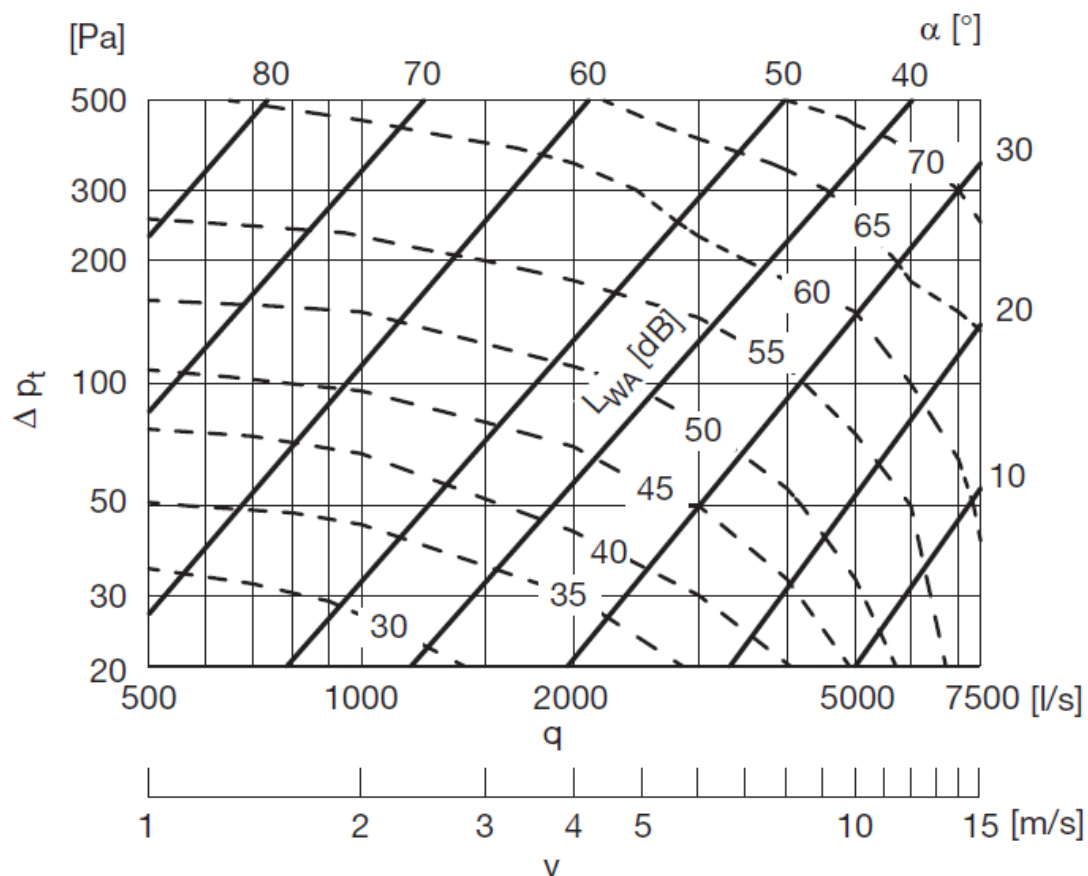
K	drsnost potrubí (pozink. plech 0,15)	$[-]$
D_h	hydraulický průměr potrubí	$[mm]$



Obrázek 28 Závislost součinitele tření λ na Re a relativní drsnosti ε [20]

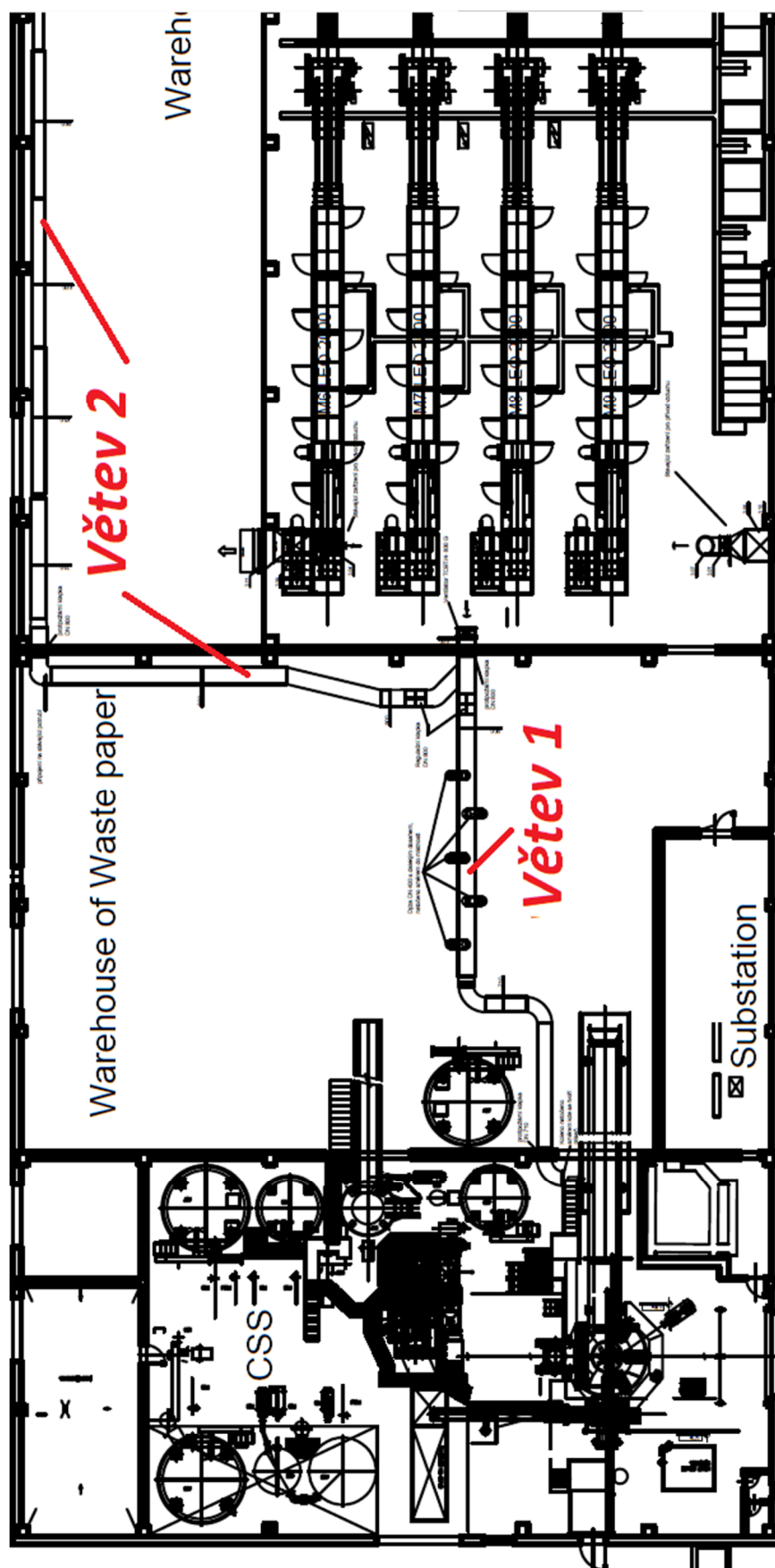
Z grafu je patrné, že proudění bude turbulentní. Hodnotu součinitele tření λ jsem určil přibližně 0,012.

Tlaková ztráta 1. (Obrázek 30) větve menší z důvodu menšího počtu místních odporů v potrubí, a i z důvodu kratší délky celé větve. Proto je v úseku 8 [Tabulka 10], kde je instalována regulační klapka, vypočtena tak velká tlaková ztráta, která je dána úhlem uzavření α [°] listu regulační klapky. Kde natočení listu o 30° odpovídá zhruba tlakové ztrátě na regulační klapce, kterou potřebujeme docílit k vyváženosti tlakové ztráty v obou větvích, aby nedocházelo v jedné větvi k podtlaku nebo naopak přetlaku. Druhá regulační klapka tedy zůstane plně otevřená, aby na ní docházelo k co nejmenší ztrátě cca 20 Pa.



Obrázek 29 Tlaková ztráta regulační klapky v důsledku natočení listu klapky [19]

Tlaková ztráta ve větvi 2, jak je vidět z tabulky (*Tabulka 11*), je sama o sobě velká, z důvodu většího počtu vřazených místních odporů, počtem vyústek, které jsou instalovány v potrubí, které vede celým skladem hotových výrobků a také samozřejmě mnohem větší délkou potrubí.



Obrázek 30 návrh vzduchotechniky na Hale 3

8. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo rozebrat problematiku na téma nízkopotenciálních zdrojů energie, které se můžou vyskytovat jak v přírodní podobě, jako například sluneční energie a geotermální energie, tak i například jako energie produkované z technologických procesů (odpadní teplo). Následně navrhnout systém na využití odpadního tepla pro daný objekt. Výsledkem návrhu je systém vzduchotechniky pro vytápění odpadním teplem z výrobního procesu.

Navržený vzduchotechnický systém plně dostačuje pro vytopení skladu hotových výrobků v zimních měsících na místo klimatizačních jednotek, které vytápěly prostor na základě plynového ohřevu. Tento systém vytopí sklad z 20 °C na požadovaných 24 °C při daném průtoku vzduchu ventilátoru a průměrné teplotě přiváděného vzduchu 38 °C přibližně za 7,66 minut. Teplota v místnosti se zvýší o 1 °C přibližně za 2 minuty. Návratnost navrhovaného řešení je přibližně 3,09 roku.

Vzduchotechnický systém byl navržen podle norem České republiky s ohledem na životní prostředí, hospodárnost a ekonomickou stránku.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MASTNÝ, Petr. Sluneční energie. *www.ueen.feec.vutbr.cz*. [online]. [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/06_pr.pdf
- [2] VANĚK, Jiří, KŘIVÍK, Petr. *Obnovitelné zdroje energie* [online]. 2014. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz>
- [3] MASTNÝ, Petr, Drápela, Jiří a další. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [4] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie. *Transformační technologie*. [online]. [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [5] Geotermální energie. *Zdroje energie*. [online]. 2008 [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: <http://www.zdrojeenergie.blogspot.cz/2008/10/geotermalni-energie.html>
- [6] Využití nízkopotenciální energie tepelnými čerpadly. *Energetický informační systém*. [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.eis.cz/problematika.php?klic=2/>
- [7] HRADÍLEK, Zdeněk, LÁZNIČKOVÁ, Ilona, KRÁL, Vladimír. *Elektrotepelná zařízení*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [8] MATUŠKA, T. Nová Alternativní zdroje energie – učební texty [online]. Skriptum UTP, FS, ČVUT Praha. 2010 (cs). [cit. 2015-11-11].
- [9] ŠRÁMEK, Václav a další. *OPTIMÁLNÍ VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE PŘI KONCEPČNÍM ŘEŠENÍ REGION* [online]. 2005. [cit. 2015-12-16].
- [10] Výměníky tepla. *Regulus*. [online]. [cit. 2015-11-26]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla>
- [11] Solární kolektory. ČEZ. [online]. [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [12] Komplexní využití odpadního tepla. *Gbenergy*. [online]. [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: <http://www.gbenergy.eu/gb/vyuziti-tepla.html>
- [13] (STEHLÍK, P. a kol.: Tepelné pochody. Výpočet výměníku tepla, 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 129 s., ISBN 80-214-0363-2.
- [14] BRÁZDIL, Marian. Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla Zdroj: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickych-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>. *tzb-info*. [online]. 13.08.2013 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickych-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>

- [15] ČERMÁK, P. Elektřina přímo z tepla. *3pol.* [online]. 15.02.2010 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.3pol.cz/cz/rubriky/studenti/1471-elektrina-primo-z-tepla>
- [16] BAJGL, Tomáš. TERMOELEKTRICKÉ GENERÁTORY A JEJICH VYUŽITÍ VE SPOJENÍ S OBNOVITELNÝMI ZDROJI ENERGIE. *Vysoké učení technické v Brně.* [online]. 2015 [cit. 2015-12-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102619
- [17] *Tepelna-cerpadla-mach.cz: tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/princip-tepelneho-cerpadla.php>
- [18] *Kompas pro zaměstnance firmy HUHTAMAKI a.s.: Interní materiály.*
- [19] Elektrodesign ventilátory s.r.o. *.elektrodesign.cz* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/uplny-sortiment/produkty>
- [20] *Vzduchotechnika.* Prof. Ing. František Drkal, CSc., Ing. Miloš Lain, PhD., Ing. Jan Schwarzer, PhD. a Ing. Vladimír Zmrhal, PhD. Praha, 2009, s. 134 [cit. 2017-06-05]

Seznam symbolů, veličin a zkratek

Značka	Veličina	Jednotka
E	totální energie	J
m	pohybová hmotnost	kg
c	rychlost světla ve vakuu	m.s^{-1}
ε	topný faktor	-
Q_T	získané teplo	W
Q_E	energie potřebná pro přečerpání tepla	W
COP	energetický topný faktor	-
ΔT	rozdíl teplot	K
Q_m	hmotnostní průtok	kg.s^{-1}
c_p	měrná tepelná kapacita teplonosné látky	$\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
P_{te}	tepelný výkon	W
P_e	elektrický příkon	W
η	energetická účinnost	-
q_k	tepelný tok zachycený kolektorem	W.m^{-2}
q_s	tepelný tok dopadající na kolektor	W.m^{-2}
Q_k	energie zachycená kolektorem	kWh.m^{-2}
Q_s	energie dopadající na povrch kolektoru	kWh.m^{-2}
U	součinitel prostupu tepla	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$
θ_k	kondenzační teplota	$^{\circ}\text{C}$
θ_s	průměrná roční teplota vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
λ	součinitel třecích ztrát	-
l	délka potrubí	m
d	charakteristický průměr potrubí	mm
v	rychlost proudění	m.s^{-1}
ρ	hustota vzduchu	kg.m^{-3}
ξ	ztrátový součinitel	-
v_s	střední rychlost proudění	m.s^{-1}
D_h	hydraulický průměr potrubí	m
ν	kinematická viskozita vzduchu	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
$\eta_{40^{\circ}}$	dynamická viskozita	Pa.s^{-1}
$\rho_{40^{\circ}}$	hustota vzduchu	kg.m^{-3}
K	drsnost potrubí	-
D_h	hydraulický průměr potrubí	mm
V	objem vzduchu v místnosti	m^3
$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$	hustota vzduchu	kg.m^{-3}
$c_{p20^{\circ}\text{C}}$	měrná tepelná kapacita vzduchu při 20 $^{\circ}\text{C}$	$\text{J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

$c_{p38^{\circ}\text{C}}$	měrná tepelná kapacita vzduchu při 40 °C	$\text{J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$
T_1, T_2, T_3	teploty	$^{\circ}\text{C}$
t	čas	s
Q	průtok vzduchu	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
$V_{\text{př}}$	objem potřebného přiváděného vzduchu	m^3

Seznam příloh

Příloha 1 CD – katalogové listy, Návrh vzduchotechniky v programu AutoCAD