

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra tepelné techniky

Návrh izolace potrubí pro rozvod chladu ve firmě Flídr plast s.r.o.
Design of tube insulation for chill distribution in Flídr plast s.r.o. company

Bakalářská práce

Autor:

Alice Pantůčková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Alice Pantůčková**
Studijní program: B2109 Metalurgické inženýrství
Studijní obor: 3904R020 Tepelná technika a životní prostředí
Téma: **Návrh izolace potubí pro rozvod chladu ve firmě Flídr Plast s.r.o.
Design of tube insulation for chill distribution in Flídr Plast s.r.o.
company.**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Popis stávající technologie výroby chladu firmy.
2. Popis výroby chladu.
3. Návrh izolace potrubí za účelem snížení tepelných ztrát.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] KRBEK, Jaroslav a POLESNÝ, Bohumil. *Kogenerační jednotky - zřízení a provoz*. 1. vyd. Praha: GAS, 2007, 201 s. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [2] ŠUROVSKÝ, Jan. *Mikroturbína*. Vyd. 1. Praha: Instalace, 2003, 220 s.
- [3] DVORSKÝ, Emil a HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 287 s. ISBN 80-7300-118-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D.**


Datum zadání: 30.11.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). V případě, kdy zadání BP vychází ze spolupráce se subjekty mimo VŠB -TU Ostrava a řešení studenta, týkající se citlivých dat spolupracujícího subjektu, je zpracováno v samostatné zprávě, tak zveřejněná část BP bude zpracována v rozsahu min. 15 stran a celkový rozsah BP bude min. 25 stran.

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku.

Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslvány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně věnovat do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahore: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

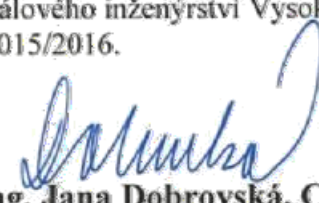
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2015/2016.

Ostrava 2. 11. 2015


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

Prohlášení

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně.

V Ostravě 23.5.2016



.....
podpis

Poděkování

Poděkování patří paní doc. Ing. Adéle Macháčkové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Děkuji firmě Flídr s.r.o., Vlastě Bednářové, Vojtěchovi Tobiášovi za poskytnutí podkladů a materiálů.

ABSTRAKT

PANTŮČKOVÁ A. Návrh izolace potrubí pro rozvod chladu ve firmě Flídr plast s.r.o. Ostrava: katedra tepelné techniky, fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2016. Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D.

Bakalářská práce obsahuje návrh izolace potrubí ve firmě Flídr plast s.r.o. V první části je popsána firma Flídr plast s.r.o., kde jsou popsány původní a nově navržené technologie. V další části se popisuje postup a princip výroby chladu a v poslední kapitole je vyřešena problematika, se kterou se potýká firma Flídr plast s.r.o. Jedná se o návrh izolace za účelem snížení ztrát.

Klíčová slova:

Trigenerace

Návrh izolace

Výroba chladu

Absorpční chlazení

ABSTRACT

PANTŮČKOVÁ, A. Proposal insulation pipes for chilling in the Flídr'sPlast company. Department of Thermal Engineering, Faculty of metallurgy and materials engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2016. Thesis head: doc.Ing. Adéla Macháčková, Ph.D.

This Baccalaureate work contains suggestions for the insulation of pipe lines in Flídr Plast L.t.d. The company profile of Flídr Plast L.t.d. is described in the first part, where you can find original and new designed technologies. In the next chapter we will have a look into the methods and fundamentals of production of cooling. In the last chapter resolves the issue in which Flídr l.t.d struggles the most, also describing how to prevent the company from any future loss of profits.

Key words:

Trigeneration

Proposal insulation

Cool production

Absorption cooling

Obsah

1	ÚVOD	9
2	STÁVAJÍCÍ STAV A POPIS TECHNOLOGIE VE FIRMĚ FLÍDR PLAST s.r.o.	10
2.1	Původní technologie ve firmě Flídr plast s.r.o.	11
2.2	Nově navržené technologie ve firmě Flídr plast s.r.o.	16
2.3	Shrnutí kapitoly	17
3	POPIS VÝROBY CHLADU	18
3.1	Kompresorové chlazení.....	19
3.2	Absorpční chlazení.....	20
3.3	Systém chlazení ve firmě Flídr plast s.r.o.	24
3.4	Shrnutí kapitoly	27
4	NÁVRH IZOLACE POTRUBÍ ZA ÚČELEM SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT	28
4.1	Matematický základ pro výpočet	28
4.2	Výběr izolačních materiálů	33
4.3	Porovnání vybraných materiálů	36
4.4	Shrnutí kapitoly	40
5	ZÁVĚR	41
6	PŘEHLED VELIČIN A JEJICH JEDNOTKY	42
7	SEZNAM LITERATURY	43
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	45
9	SEZNAM TABULEK.....	46
10	PŘÍLOHY	47

1 ÚVOD

Technický rozvoj týkající se energetiky, je současnou společností dosti podporován. Důvodem, proč je tato problematika podporována, jsou energetické nároky spotřebitelů a dále ubývání zásob fosilních paliv. A hlavně důsledky na kvalitu životního prostředí. Největším úsilím energetického zdokonalování je získat větší podíl dále využitelné energie z paliva běžně k dostání a vytvořit zařízení, které by přeměňovalo energii a nebylo by náročné na konstrukční materiál a provozní náklady.

Právě tímto se zabývá trigenerace a kogenerace, kde je palivo využito jak k výrobě tepelné energie a elektřiny. Zatímco trigenerace zahrnuje i výrobu chladu. Trigenerační jednotky jsou kombinací výroby elektřiny, tepla a chladu. V podstatě to je kogenerační jednotka spojená s chladicí jednotkou absorpčního typu. Toto spojení je rozšířené především letním období, kdy se nám teplo mění na chlazenou vodu. Díky této technologii nemusíme používat kompresor poháněný vyšší formou energie tj. zpoplatněná elektřina. Namísto toho je použita absorpční jednotka, která je poháněna odpadním teplem z mikroturbíny a dále je elektrický proud.

Absorpční (sorpční) jednotky je vhodné aplikovat tam, kde je zájem o snížení provozních nákladů oproti konvenčnímu kompresorovému chlazení a tam, kde je možné využívat zdroj tepla jakožto pohonnou energii pro absorpční jednotku. Jako pohonnou energii je možné využívat: horkou (teplou) vodu, plyn (spálení v hořáku), LTO, naftu, oleje nebo páru.

Firma Flídr plast s.r.o. se potýká s problematikou ochlazení haly a strojů. V letních měsících stoupají teploty až k 35°C. Příčinou jsou stroje, zařízení v provozu, které vytvářejí svými technologiemi teplo. Vhodným výběrem izolace na rozvody potrubí, které tyto stroje a zařízení ochlazují, bude tato problematika vyřešena, protože izolačním materiálem budou ztráty chladu sniženy na minimum.

2 STÁVAJÍCÍ STAV A POPIS TECHNOLOGIE VE FIRMĚ FLÍDR PLAST s.r.o.

V roce 1998 byla založena společnost Flídr plast s.r.o., kde hlavním předmětem činností společnosti Flídr s.r.o. jsou:

- Výroba plastových a pryžových výrobků
- Kovoobráběčství
- Silniční motorová vnitrostátní a mezinárodní doprava
- Velkoobchod a specializovaný maloobchod

Na obr. 1 je pohled budovy firmy Flídr plast s.r.o. červenou šipkou je označena budova, ve které se nachází stroje a zařízení, které budou využívat chlad z nové technologie.



Obr. 1 Zobrazení firmy Flídr plast s.r.o.

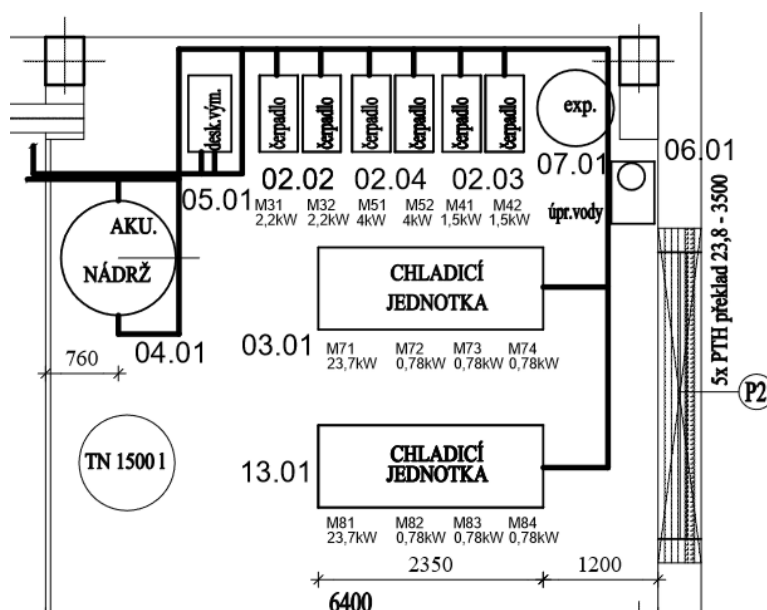
Společnost Flídr plast s.r.o. se dlouhodobě potýkala s nedostatkem elektrické energie pro výrobu plastových komponentů pro automobilový průmysl. Z tohoto důvodu firma zakoupila dvě mikroturbíny, které jsou schopny dodávat 2x100 kW elektrické energie. Zakoupením mikroturbín byl vyřešen nejen nedostatek elektrické energie, ale zároveň byla navržena a realizována nová technologie pro chlazení strojů ve výrobě. Mikroturbíny byly tedy využity jako trígnerační jednotka, kromě dodávky elektrické energie, zásobují odpadním teplem také absorpční jednotky. Mikroturbíny byly tedy zvoleny s ohledem na jejich vlastnosti,

oproti motorům mají nižší provozní náklady, nicméně pořizovací náklady jsou vyšší, jsou mnohem tišší a jsou ekologické. Je potřeba si uvědomit, že tato zařízení mohou současně vytápět i chladit.

V mé bakalářské práci se zabývám především ochlazení haly a strojů, ve které teplota v letních měsících uvnitř haly může vystoupat až na 35°C. Příčinou jsou rovněž stroje, zařízení v provozu, které vytvářejí svými technologiemi teplo. Po navržení trigenerace se změní nejen pracovní podmínky, ale také bude mít za následek vyšší výkon z řad zaměstnanců, kteří měli především v letních měsících dle zákona častější přestávky, a provoz technologií nebyl stálý.

2.1 Původní technologie ve firmě Flídr plast s.r.o.

Na obr. 2 můžeme vidět původní technologie. Na obrázku, který zobrazuje část výkresu, můžeme vidět dvě chladicí jednotky, akumulární nádrž, šest čerpadel na chlazenou vodu, expanzní nádobu, deskový výměník, chladicí věž a nádrž na vodu. Veškeré výše zmíněné zařízení budou detailně popsány v následujících stranách mé bakalářské práce, kde se dozvíme, k čemu slouží a jak pracují. Chladicí jednotky, čerpadla, akumulární nádrže a jsou umístěny přímo ve výrobní hale Flídr plast s.r.o. v 1.NP. Chladicí věž a nádrž na vodu jsou umístěny venku z přední strany haly.



Obr. 2 Schéma zobrazující původní technologie chladicího zařízení ve výrobní hale [19]

Chladicí zařízení je sestaveno z těchto základních zařízení:

- Chladicí věž
- Nádrž na vodu pod chladicí věží
- Dvě chladicí jednotky TAEevo 301 (obr. 3)
- Sada čerpadel pro jednotlivé okruhy vody Pedrollo HF 5AM (obr. 6)
- Deskový výměník (obr. 4)

- Akumulační nádrž (obr. 5)
- Expanzní nádoba
- Potrubní rozvody jednotlivých okruhů vody včetně armatur



Obr. 3 Původní chladicí jednotka TAEevo 301

V prvním nadzemním podlaží výrobní haly se nacházejí dvě chladicí jednotky TAEevo 301 o výkonu 80,7 kW, kde je teplota chlazené vody u vstupu 23°C a teplota chlazené vody u výstupu 18°C. Chladicí zařízení je určeno především pro ochlazení vody, která se používá v procesu výroby na lisech, které jsou určeny na lisování plastů.

Okruh strojního chlazení vody chladicími jednotkami. Je okruh chladicí vody chlazené strojním chlazením, tj. jednou případně i dvěma chladicími jednotkami TAEevo 301. Chladicí jednotka dochlazuje vodu na požadovanou teplotu v případě, že chlazení vody přes deskový výměník pomocí chladicí věže (např. v létě) je nedostatečné. Voda se odebírá ze střední části akumulární nádrže a čerpadlem je přivedena k chladicím jednotkám. Zde se voda dochladí na požadovanou teplotu a vrací se zpět do spodní části akumulární nádrže.

Chladicí zařízení pracuje v těchto provozních režimech:

- Chlazení vody pro chlazení lisů se provádí pouze pomocí chladicí věže. Takto bude zařízení provozováno v chladném (zimním) období.
- Chladicí voda pro chlazení lisů se předchladí pomocí chladicí věže a dochladí se pomocí chladicí jednotky.
- Chladicí voda pro chlazení lisů se ochlazuje pouze pomocí chladicí jednotky (provoz především v létě).

- Chladicí zařízení bude pracovat s nepřímým způsobem chlazení. Jako teplotonosná látka je použita voda.

Chladicí zařízení má několik okruhů chladicí vody:

- Okruh ochlazení vody na chladicí věži
- Okruh vody: deskový výměník – nádrž pod chladicí věží
- Okruh vody: deskový výměník – akumulární nádrž
- Okruh strojního chlazení vody chladicími jednotka
- Okruh vody pro chlazení lisů



Obr. 4 Původní deskový výměník patřící k akumulární nádrži

Okruh vody deskového výměníku – akumulární nádrž má uzavřený okruh vody. V tomto okruhu dochází k ochlazení vody, která je u lisů ohřátá. Ohřátá voda se přivádí z horní části akumulární nádrže čerpadlem do deskového výměníku, zde se voda ochladí a vrací se zpět do akumulární nádrže do její střední části.

Okruh ochlazení vody na chladicí věži. Na chladicí věži se ochlazuje voda, která se ohřeje v deskovém výměníku. Ochlazená voda se z části nádrže, která je určena pro studenou vodu, přivede k deskovému výměníku a pak se vrací do části nádrže s teplou vodou. Oteplená voda se čerpadlem čerpá na chladicí věž a ochlazená voda se vrací do nádrže, do části se studenou vodou.

Okruh vody deskového výměníku – nádrž pod chladicí věží se nachází pod chladicí věží. Chladicí věž se nenachází jako ostatní technologie v prvním nadzemním podlaží ve výrobní hale, ale z boční strany této haly. Studená voda, která byla vychlazená na chladicí věži, je z nádrže čerpána čerpadlem, které je umístěné v hale do deskového výměníku. V deskovém

výměníku se tato studená voda ochlazuje teplou vodou z okruhu pro chlazení lisů, která byla přivedena z akumulární nádrže. Voda se v deskovém výměníku ohřeje a vrací se zpět do teplé části nádrže.



Obr. 5 Akumulační nádrž o objemu 2500 l

Na obr. 5 akumulární nádrž je navržena tak, aby měla šest vstupů a výstupů.



Obr. 6 Čerpadla Pedrollo HF 5AM

Na obr. 6 je zobrazena sada čerpadel, která slouží k čerpání a dodání vody do výměníku, akumulární nádrže a chladicí věže.



Obr. 7 Rozvod potrubí v hale Flídr plast s.r.o.

Na obr. 7 je žlutou šipkou znázorněné potrubí, které je připojeno ke stojům ve výrobní hale. Jehož teplotou látkou na ochlazení strojů je voda.

Původní navržené technologie byly odstaveny a nahrazeny technologiemi. V případě technické odstávky nových technologií (např. údržba) se bude dále chladit pomocí kompresorů.

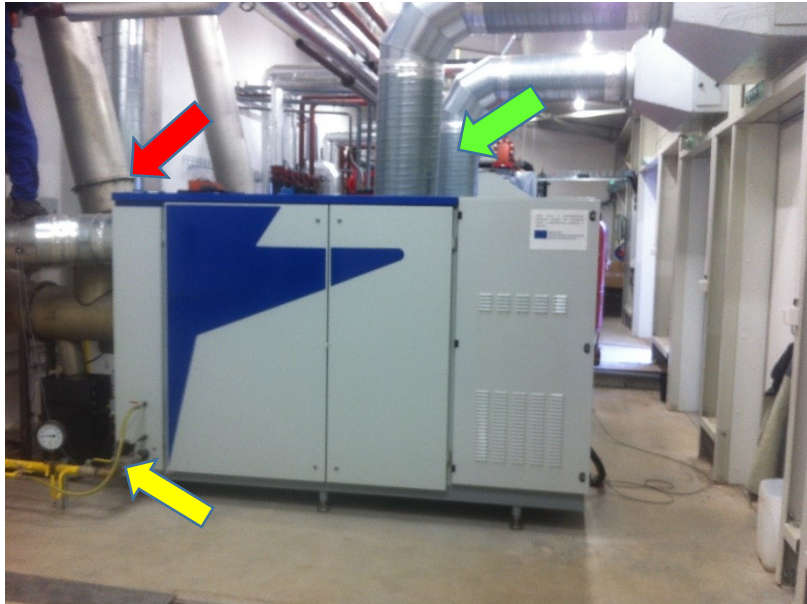


Obr. 8 Původní a nově navržené umístění technologií

Na obr. 8 šipka na obrázku vlevo zobrazuje umístění původní technologie a šipka vpravo zobrazuje umístění stávající technologie.

2.2 Nově navržené technologie ve firmě Flídr plast s.r.o.

Nově navržená technologie chlazení výrobních prostor je umístěna spolu s mikroturbínou v energobloku. Na obr. 9 je mikroturbína ANSALDO ENERGIA AET 100, připojena na systém odpadního traktu. V odtahovém traktu je umístěn originální výměník tepla. Výměník tepla z odpadního tepla spalin, pak ohřívá vodu. Ta je ohřívána na 70° C resp. 90°C a je vstupní teplotou pro chladicí jednotku.



Obr. 9 Mikroturbína ANSALDO ENERGIA AET 100

Na obr. 9 je zelenou šipkou znázorněné nasávání, červená šipka ukazuje na odtahový trakt a žlutá šipka značí plyn.



Obr. 10 Pohled zepředu a ze zadní strany chladicí absorpční jednotka BROAD

Chladicí jednotka BROAD je na obr. 10. Na tomto obrázku je přední a boční pohled na chladicí jednotku. Absorpční jednotky Broad jsou sorpční zařízení pracující s dvojicí pracovních látek LiBr/ H₂O (bromid lithný / voda). První ze zmiňovaných látek má funkci absorbentu a druhá (voda) slouží jako chladivo. Na základě schopnosti LiBr absorbovat a vypuzovat vodu je celý sorpční cyklus navržen. Vypuzování vody z roztoku s LiBr dochází na základě působení tepelné energie.

2.3 Shrnutí kapitoly

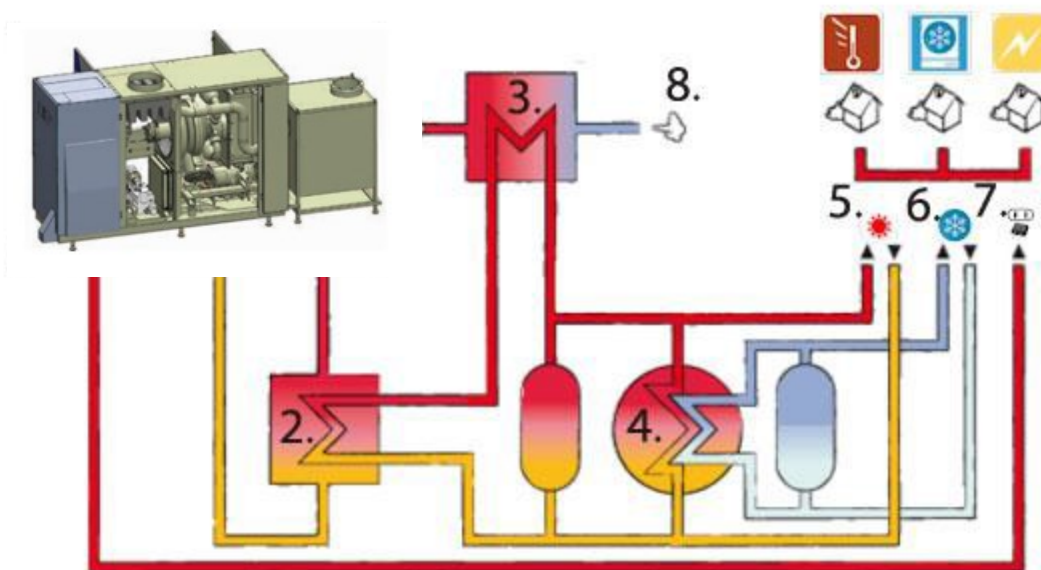
V této kapitole byly jednotlivě popsány původní a nově navržené technologie ve firmě. Jedná se o deskový výměník, akumulární nádrž, sadu čerpadel Pedrollo HF 5AM, dvě chladicí jednotky TAEevo 301 atd. V následující části byly popsány nové technologie, tedy mikroturbína ANSALDO ENERGIA AET 100 a absorpční jednotka BROAD. Původní technologie jsou odstaveny a slouží jako záložní zdroj chladu.

3 POPIS VÝROBY CHLADU

Trigenerační jednotky jsou kombinací výroby elektřiny, tepla a chladu. V podstatě to je kogenerační jednotka spojená s chladicí jednotkou absorpčního typu. Toto spojení je rozšířené především letním období, kdy se nám teplo mění na chlazenou vodu. Díky této technologii nemusíme používat kompresor poháněný vyšší formou energie tj. zpoplatněná elektřina. Namísto toho je použita absorpční jednotka, která je poháněna odpadním teplem z mikroturbíny a dále je elektrický proud.

Díky zvyšujícím se požadavkům na komfort v bytových jednotkách, firmách se klimatizační jednotky podstatně rozšířily. Tyto jednotky dodržují stabilní teploty. Jednotky se dělí podle toho, kde jsou použity. Dělí se na komformní (zdravotně hygienické) a technologické (průmyslové). Účinnost těchto klimatizací tj. ohřev nebo ochlazování vzduchu, dosahujeme požadovaným mikroklimatem.

V klimatizačních jednotkách převládá kompresorové chlazení, které využívá ke svému provozu elektřinu. Jestliže dochází k velkým rozdílům teplot u referenčních a okolních např. letní dny, zvyšuje se spotřeba elektřiny, protože kompresory pracují na velmi vysoký výkon.



Obr. 11 Příklad kombinované výroby elektřiny, chladu a tepla [4]

1. Mikroturbína, 2. Tepelný výměník voda/voda odebírající teplo z chladicí soustavy, 3. Tepelný výměník plyn/voda odebírající teplo ze spalin, 4. absorpční chladicí jednotka, 5.6.7. Odevzdané teplo, elektřina a chlad odběrateli, 8. spaliny

Příklad třígenerační jednotky s mikroturbínou na obr. 11 ukazuje klimatizační jednotku, která je schopna v zimním období vytápět (ohřev vody) a v letních měsících chladit. Paliva pro mikroturbínu mohou být nafta, bioplyn.

V současné době jsou rozšířeny dva typy pro ochlazení technologii resp. zařízení či budov:

- Kompresorové
- Absorpční

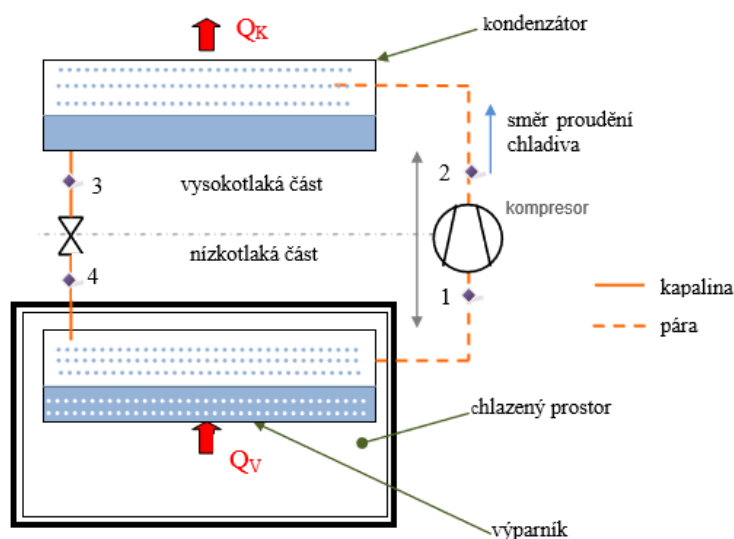
3.1 Kompresorové chlazení

S kompresorovým chlazením se setkáváme v podstatě každý den, např. když otevřeme lednici nebo pokud si pustíme klimatizaci v autě. V roce 1834 bylo sestrojeno první chladicí zařízení, které pracovalo s kompresí. Mělo nedostatky, protože chladivo (pracovní látkou) vylučovalo páry éteru, páry tvořily se vzduchem výbušnou směs. Kvůli častým únikům to bylo velice nebezpečné. Jakmile se elektřina stala běžně dostupnou, nastal velký rozmach používání tohoto zařízení, což platí dodnes.

Pokud se budeme snažit dosáhnout ke správné funkci chladiva, je potřebné, abychom měnili tlak paliva tak, aby za různých teplot docházelo ke změně skupenství.

Jsou čtyři základní komponenty, s kterými kompresorové chlazení pracuje a jsou to kondenzátor, kompresor, výparník a škrťací ventil.

Na obr. 12 je kondenzátor slouží jako tepelný výměník, ve kterém se předá přehřátá pára do okolí a díky tomuto jevu se mění v kapalinu. Kompresor nám slouží jako stroj, který zvyšuje tlak u plynného chladiva. Pokud chceme dosáhnout k vyrovnání tlaků mezi dvěma částmi, tak nám k tomu slouží škrťací ventil společně s kompresorem. Obdobně jako kondenzátor nám slouží výparník, který přemění skupenství. Z kapalného skupenství, při kterém se odebírá teplo z okolí, na plynné skupenství.



Obr. 12 Kompresorové chlazení [13]

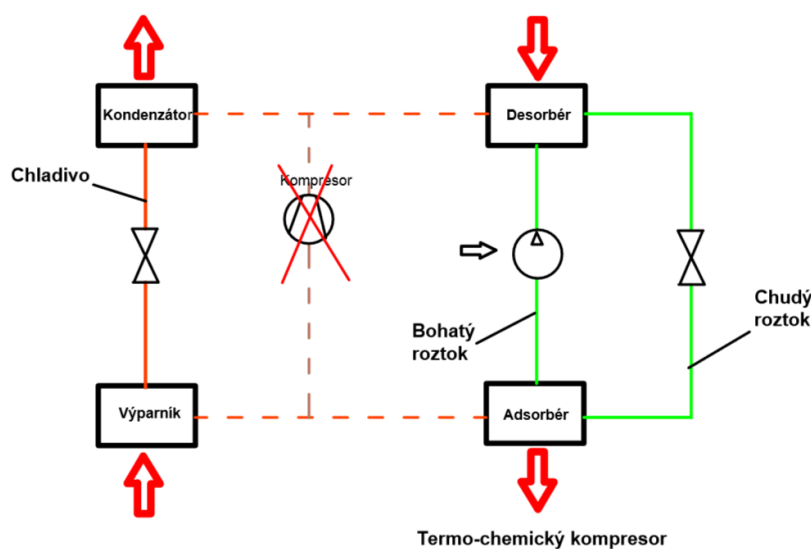
3.2 Absorpční chlazení

Hlavní myšlenka absorpčních (sorpčních) zařízení je využívat odpadní (zbytkové) teplo nebo teplo získané za výhodných podmínek pro výrobu chladu. V dnešní době, která s sebou přináší vysoké nároky na kvalitu vnitřního prostředí budov a stavební objekty mají zpravidla poměrně vysoké požadavky na odvod tepelné zátěže je volba absorpčního chlazení klíčová investice pro budoucí úspory provozních nákladů.

Úspora provozních nákladů na výrobu chladu u průmyslových aplikací je velmi výrazná díky možnosti využívání již zmiňovaného „odpadního“ tepla z technologických procesů.

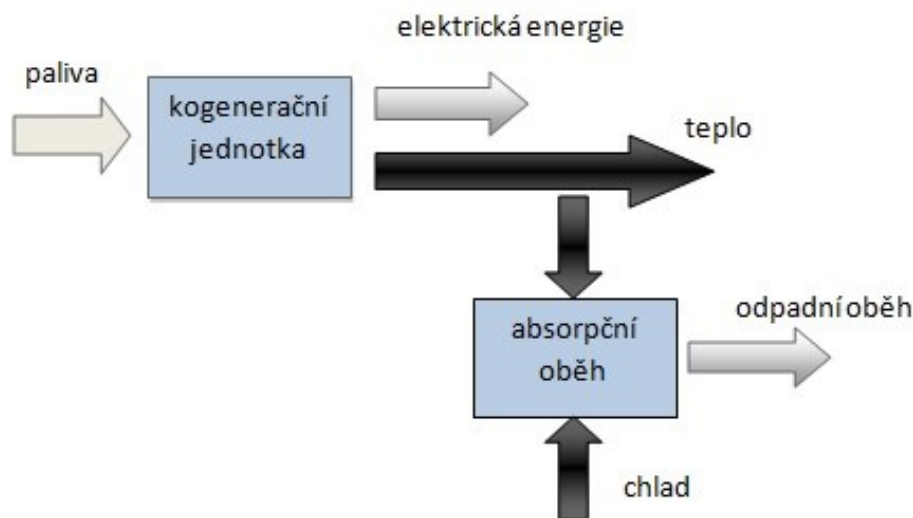
Jak již bylo výše zmíněno je vhodné absorpční (sorpční) jednotky aplikovat tam, kde je zájem o snížení provozních nákladů oproti konvenčnímu kompresorovému chlazení a tam, kde je možné využívat zdroj tepla jakožto pohonnou energii pro absorpční jednotku. Jako pohonnou energii je možné využívat: horkou (teplou) vodu, plyn (spálení v hořáku), LTO, naftu, oleje nebo páru. Zejména pak aplikaci s využitím teplé vody ze solárních kolektorů anebo z kogenerační se řadí mezi nejekologičtější a nejúspornější řešení. Při aplikaci dvojice absorpční a kogenerační jednotky se mluví o trigeneračním systému – společná výroba tepla, chladu a elektřiny.

Pro absorpční chlazení jsou typické dva okruhy, které však mají jednu společnou větev.



Obr. 13 Schématické znázornění absorpčního chlazení [4]

Větev obsahuje adsorbér a pohlcené páry z chladiwa, které jsou oběhovým čerpadlem vháněny do desorbéru. Dodáním tepla roztoku v desorbéru a zvyšuje se teplota absorbentu, který vypuzuje absorbovanou páru chladiwa. Pára proudí do kondenzátoru, kde za odevzdání tepla zkapalní a vtéká přes škrťací ventil do výparníku. V něm se změní kapalina zpět na páru při dodání tepla čerpaného z ochlazované látky. Vzniklá pára proudí do adsorbéru, kam také vtéká z desorbéru samostatnou větví druhého okruhu chudý roztok, ten pohltí chladiwo a je jako obohacený roztok čerpán zpět do desorbéru. Okruh obsahující chudý a obohacený roztok se nazývá tzv. termo-chemický kompresor. Dále se cyklus opakuje.



Obr. 14 Zobrazení energetických tepelných toků v kogenerační jednotce [1]

Jestliže zařadíme absorpční jednotku do kogenerace obr. 14, jedná se o spojení obou zařízení (absorpční oběh a kogenerační zařízení), která jsou velmi nezávislá a jejich skutečné propojení je jenom ve výměníku. Odpadní teplo spalin je čerpáno absorpčním oběhem z kogenerační technologie. Díky tomuto stavu, může být v letních měsících realizována výroba chladu. Kde, se absorpční oběh při ochlazení odpojí a vniklý potenciál spalin můžeme použít pro vytápění. Zatímco teplo, které je nezávislé na chlazení nebo vytápění se využívá k ohřevu teplé vody.

Absorpční chlazení dělíme podle ohřevu na:

- přímé
- nepřímé

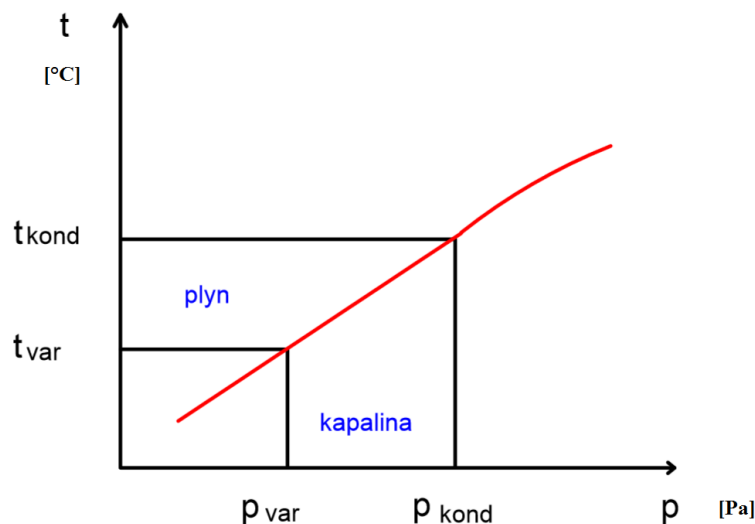
U ohřevu přímého je potřeba teplo, které je nutné k vypaření chladiva z desorbéru a to je dodáváno přímo z kotle. Jako nejčastější palivo je zemní plyn, biomasa nebo propan-butan. Způsob využití je u centralizovaného zásobování chladem. U nepřímého ohřevu hovoříme o trigeneraci. Je to určitý způsob transportu tepla od zdroje k desorbéru za pomoci teplotonosného média. Nejčastějším teplotonosným médiem bývá mokrá pára nebo voda.

Pracovní látky

V uzavřeném chladicím okruhu je k přenosu určená pracovní látka. Na pracovní látku jsou kladeny nároky nejenom z hlediska ekologické návaznosti a bezpečnosti, ale také i na termodynamické vlastnosti, které mohou ovlivnit vliv chladicího zařízení.

Chladiva

Pracovní látky (chladiva) se využívají u kompresorového chlazení, které dosáhnou varu ve výparníku při tlaku p_{var} (obr. Závislost teploty na tlaku) a při teplotě t_{var} (např. -5°C), kde je teplota nižší, než teplota v okolí chlazeného prostoru. A zároveň musí za tlaku p_{kond} kondenzovat a toho se dosáhne příslušným kompresorem při teplotě okolí (např. 20°C).



Obr. 15 Závislost teploty na tlaku při fázové přeměně [14]

Jestliže látka nebo směs podléhá fázové přeměně z kapaliny na plyn a opačně, jedná se o tzv. chladivo, které se používá v tepelném cyklu. Dvě nejčastější použití chladiv jsou v klimatizaci a mrazničkách. Nejvhodnější chladivo má dobré termodynamické vlastnosti, tedy je bezpečné a nekorozivní. Mezi požadované vlastnosti patří především vysoké výparné teplo, bod varu mírně pod finální teplotou, vysoká kritická teplota, nízká teplota v kapalně fázi i a vysoká hustota v plynné fázi.

Chladiva můžeme dělit na:

- syntetická
- přírodní

Syntetická chladiva

Mezi syntetická paliva řadíme tzv. fluorované uhlovodíky, neboli freony. Freony dělíme podle složení na CFC (chlorofluorocarbons), HFC (hydrogenfluorocarbons) a HCFC (hydrogenfluorocarbons). Díky obsahu chloru, který podporuje oteplování země tím, že rozkládá molekuly ozónu, tak právě z tohoto důvodu jsou zakázány dva výše uvedené typy syntetických paliv CFC (chlorofluorocarbons) a HCFC (Hydrogenchlorofluorocarbons). Nejpoužívanějším chladivem je tedy HFC, který slouží jako náhrada škodlivých freonů.

Přírodní chladiva

Mezi přírodní paliva řadíme a nejčastěji používáme amoniak (NH_3), oxid uhličitý (CO_2) a uhlovodíky. Z hlediska termodynamiky je nevhodnější přírodní chladivo amoniak. A však jeho velkou nevýhodou je hořlavost a toxicita. U kompresorového chlazení se používá velmi omezeně. Propan, izobutan, propylen jsou také velmi vhodné z termodynamické stránky, a však jejich výbušnost a hořlavost způsobuje, že jejich použití je velmi zřídka v chladírenství. Jestliže se budeme bavit o oxidu uhličitým, ten je naopak velmi žádaný kvůli své ekologičnosti a bezpečnosti. Pokud bychom chtěli dosáhnout kondenzační teploty, bylo by zapotřebí vysokých tlaků. Z ekologického hlediska by to bylo méně hospodárné.

Pracovní dvojice

Pracovní dvojice se využívá u absorpčního chlazení. Skládá se ze dvou látek absorpční a chladicí. Mají výbornou schopnost vzájemné absorpce. Mezi nejvyužívanější pracovní dvojici patří:

- čpavek / voda ($\text{NH}_3 / \text{H}_2\text{O}$)
- voda / bromid lithný ($\text{H}_2\text{O} / \text{LiBr}$)

Historicky nejčastější dvojicí, která je využívána v absorpčních jednotkách je čpavek/voda $\text{NH}_3 / \text{H}_2\text{O}$. Ta se díky svým výborným vlastnostem používá do dnes. Čpavek má přibližně o polovinu nižší výparné teplo než voda (teplota varu obou látek má rozdíl asi 135°C), proto je nutno použít větší množství obíhajícího roztoku k jeho chlazení. Možnou nevýhodou je vznik vodní páry, který může nastat při varu čpavkového roztoku v desorbéru a jeho následující unik do oběhu, který ovlivní účinnost systému. Agresivita čpavku může být další nevýhoda, která ovlivňuje, jak se bude chovat k běžným barevným kovům, především mědi. I když má nevýhody, stále je tato pracovní dvojice využívána. Obzvláště, díky jejím chladícím teplotám pod bodem mrazu.

Velmi dobrou pracovní dvojicí je voda a bromid lithný. V oblasti klimatizační techniky se nejčastěji využívá právě tato pracovní látka. Protože se jedná o čistou pracovní látku, která je bez zápachu. Proto se přednostně používá v domácnostech.

Tab. 1 Vlastnosti bromidu lithného (LiBr)

Bromid lithný		
Veličiny	Jednotky	Hodnoty
Hustota	($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	3,646
Teplota tání	($^\circ\text{C}$)	552
Teplota varu	($^\circ\text{C}$)	1265
Molární hmotnost	($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	6,845

Porovnání kompresorového a absorpčního chlazení v tab. 2.

Tab. 2 Porovnání absorpčního a kompresorového chlazení

[1]

Porovnávaný parametr	Absorpční oběhy	Kompresorové oběhy
Rozměry jednotky	velké	malé
Spotřeba el. energie	nízká (5 % výkonu)	vysoká (30 -50 % výkonu)
Investiční náročnost	vysoká	nízká
Nároky na obsluhu	žádné	žádné
Nároky na servis	velmi malé	malé
Životnost	vysoká	nízká
Požadavek na dodávku tepla	vysoký	žádný
Množství pracovních náplní	velké	malé
Hmotnost	velká	malá
Hlučnost	nízká	střední

Mezi těmito druhy chlazení je rozdíl vstupní energie. Kterou je především teplo a elektřina. Absorpční chlazení, je v některých parametrech horší než kompresorové chlazení např. větší hmotnost, rozměry i investiční náklady. Avšak k činnosti nám postačí tepelná energie. Další výhody jsou nízká hlučnost, spotřeba, vysoká životnost.

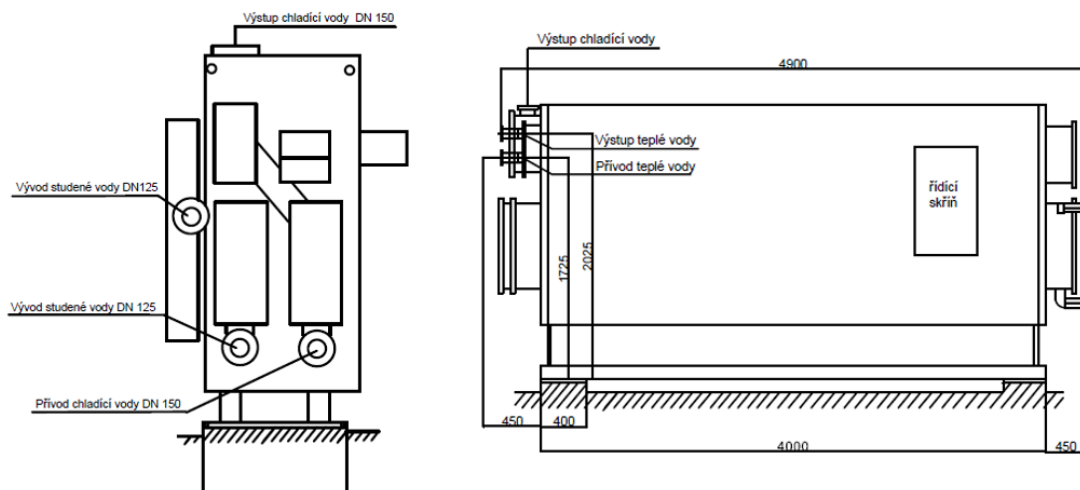
3.3 Systém chlazení ve firmě Flídr plast s.r.o.

Ve firmě Flídr plast s.r.o. byla navržena absorpční jednotka BROAD. V Tab. 3 jsou popsány požadované parametry a technická specifikace této chladicí jednotky. Výkon absorpční chladicí jednotky je 380 kW, teplota chlazené vody je 8°C/ 14 °C.

Tab. 3 Požadované a technické parametry absorpční jednotky BROAD

Požadované parametry		Technická specifikace			
Typ zařízení:	teplovodní	Průtok chlazené vody:	54 m ³ /h	Průtok chladicí kapaliny:	106 m ³ /h
Výkon chlazení:	380 kW	Tlaková ztráta:	50 kPa	Tlaková ztráta:	70 kPa
Teplota chlazené vody:	8/14°C	Účinnost chlazení COP:	0,792	Odvedené teplo:	760 kW
Teplota chladicí kapaliny:	32/25 °C	Průtok horké vody:	43 m ³ /h	Příkon:	3,1 kW
		Spotřeba tepla:	480 kW	Napájení:	400/50/3 V/Hz/f
Dostupné teplo:	-- kW	Tlaková ztráta:	90 kPa	Transportní hmotnost:	6500 kg
Počet zařízení:	1	Max. tlak ve výměnících:	0,8 MPa	Provozní hmotnost:	7000 kg

Zařízení používá především jako hlavní zdroj energie pro výrobu chladu nebo tepla plynná nebo kapalná paliva, jako jsou: LPG, nafta, topný olej a další. Hlavní výhodou přímo-vytápěných strojů je možnost umístění zdroje tepla a chladu do jedné strojovny díky konstrukci stroje, který má přídatný tepelný výměník na výrobu teplé užitkové vody (TUV) a topné vody pro vytápění.



Obr. 17 Výkres absorpční jednotky BROAD.

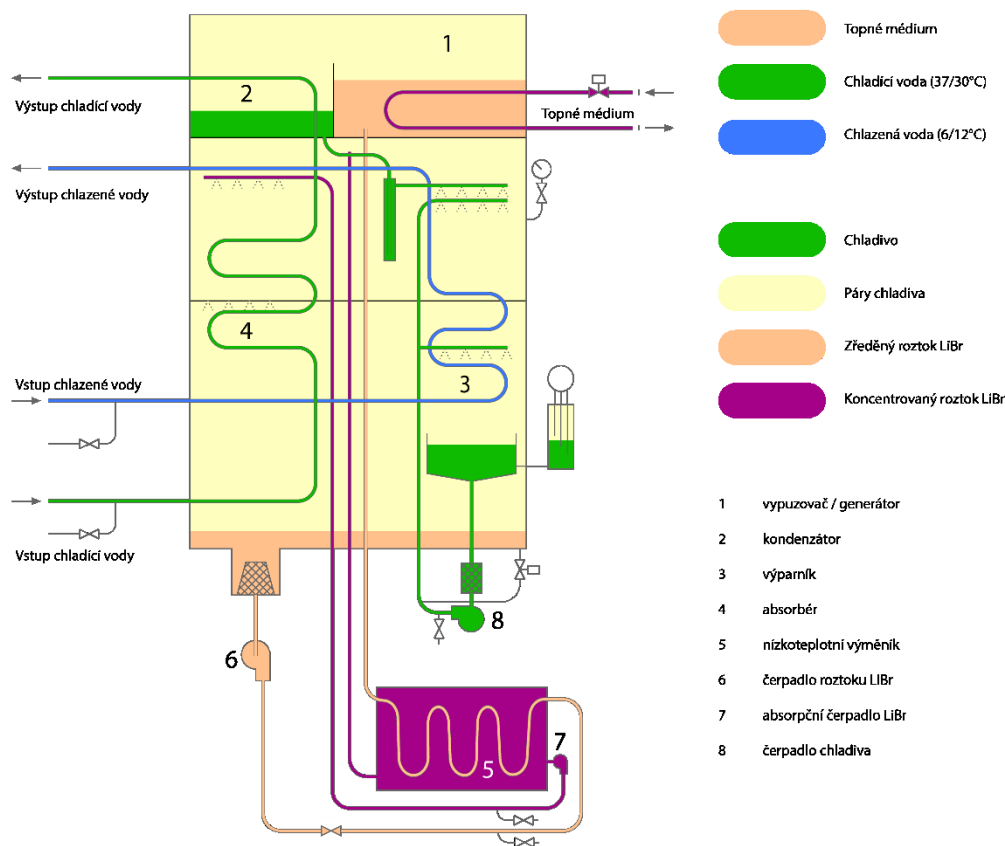
Na obr. 16 je vykreslena absorpční jednotka BROAD, která navržena pro firmu Flídr plast s.r.o.



Obr. 16 Navržená a realizována absorpční jednotka BROAD ve firmě Flídr plast s.r.o. [15]

Na obr. 17 Je vykreslen výkres absorpční jednotky BROAD, která je realizována ve firmě Flídr plast s.r.o. Na výkresu můžeme vidět výstup teplé vody, výstup chladicí vody, přívod chladicí vody, vývod studené vody a řídící skříň.

Chladicí okruh



Obr. 18 Princip absorpčního chladicího okruhu zařízení BROAD [14]

Na obr. 18 můžeme vidět chladicí okruh jednostupňového absorpčního stroje BROAD, který se skládá z:

- Výparníku
- Absorbéru
- Generátoru / vypuzovače
- Kondenzátoru
- Tepelného výměníku roztoku

Výparník

Chladicí voda z klimatizačního systému budovy vstupuje do měděného potrubí výparníku a rozstříkuje 4°C chladivo – voda pak ochlazuje chladicí vodu v trubkách. Chladivo absorbuje teplo z chlazené vody a přechází do stavu páry. Páry chladiva vstupují do absorbéru.

Absorbér

Silný roztok bromidu lithného (LiBr) má při nízkých teplotách silnou slučivost s vodou. Ve chvíli, kdy roztok absorbuje výpary vody z výparníku, jeho teplota vzroste a roztok se stává zředěným. Chladicí voda z chladicí věže je dopravována měděným potrubím do absorbéru a

odebírání tepla vzniklé sloučením. Zředěný roztok je čerpán do generátoru, ve kterém dojde k zahřátí a zvýšení koncentrace. Výparník a absorber sdílejí stejný prostor.

Generátor/vypuzovač

Topné médium prochází výměníkem z měděných trubek v generátoru a zahřívá zředěný roztok kolem trubek. Roztok produkuje páru, které vstupují do kondenzátoru. Koncentrovaný roztok se vrací do absorberu přes tepelný výměník.

Kondenzátor

Chladicí voda z absorberu prochází výměníkem z měděných trubek kondenzátoru, kde dochází ke kondenzaci par chladiva okolo trubek a odebírání tepla z generátoru na chladicí věž. Kondenzát vstupuje do výparníku jako chladivo. Generátor a kondenzátor sdílí stejný prostor.

Tepelný výměník roztoku

Vysokoteplotní koncentrovaný roztok z generátoru předává teplo nízkoteplotnímu zředěnému roztoku z absorberu. Teplota zředěného roztoku se zvýší před vstupem do generátoru průchodem tepelného výměníku, kdežto teplota koncentrovaného roztoku se sníží před vstupem do absorberu. Tepelný výměník velmi sníží teplo dodávané do generátoru a snižuje průtok vody pro chlazení roztoku. Jeho výkon je hlavním faktorem v úspoře energie chladicího stroje.

3.4 Shrnutí kapitoly

V kapitole č. 3 byl popsán princip výroby chladu. Trigenerační jednotky jsou kombinací výroby elektřiny, tepla a chladu. Jsou to kogenerační jednotky spojené s chladicí jednotkou absorpčního typu.

Zde jsou popsány kompresorové a absorpční chlazení, která jsou mezi sebou srovnána v tabulce. Pracovní látky, na které jsou kladeny nároky nejenom z hlediska ekologické návaznosti, ale také na termodynamické vlastnosti, které mohou ovlivnit vliv chladicího zařízení.

Chladiva můžeme dělit na syntetická tj. fluorované uhlovodíky nebo na chladiva přírodní. Chladivo použité v absorpční jednotce je bromid lithný, který se používá i do klimatizačních jednotek a do domácností. Jedná se o čistou látku bez zápachu.

4 NÁVRH IZOLACE POTRUBÍ ZA ÚČELEM SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT

Ve firmě Flídr plast s.r.o. vyvstal požadavek na návrh izolace přívodního potrubí k technologiím umístěným ve výrobní hale. V následujících odstavcích bude popsán přestup tepla a bude využito tabulkového programu EXCEL k výpočtu tloušťky izolace potrubí dodávající chlad.

4.1 Matematický základ pro výpočet

Izolace potrubí dodávajícího chlad k technologiím představuje kondukčně konvekční, neboli kombinovaný přestup tepla. Matematického hlediska bude využívána Fourierova parciální diferenciální rovnice vedení tepla s III. povrchovou podmínkou, kdy je potřeba určit charakteristiky daných prostředí – tedy součinitel přestupu tepla konvekce pro dané médium.

Pro určité zjednodušení výpočtu je uvažován stacionární stav - tedy stroje a zařízení ve výrobě pracují v ustáleném režimu a rovněž absorpční jednotka dodává chlad bez výkyvů.

Fourierova parciální diferenciální rovnice tepla ve stacionárním stavu je dále zjednodušena nepřítomností vnitřních objemových zdrojů s tím, že jsou uvažovány konstantní hodnoty termofyzikálních veličin.

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right) + q_v \quad (\text{W.m}^{-3}) \quad (1)$$

Jelikož jsme předpokládali, že fyzikální vlastnosti tělesa jsou konstantní, možno místo rovnice č. 1 psát

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{q_v}{c_p \cdot \rho} \right) \quad (\text{K.s}^{-1}) \quad (2)$$

Označíme-li

$$\frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3)$$

a

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \nabla^2 t \quad (\text{K.m}^{-2}) \quad (4)$$

Získáme ve vztahu č. 4 nejčastěji užívaný tvar Fourierovy rovnice vedení tepla

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t + \frac{q_v}{c_p \cdot \rho} \quad (\text{K.s}^{-1}) \quad (5)$$

kde a je součinitel teplotní vodivosti ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

∇^2 - Laplaceův operátor (m^{-2})

Za Laplaceův operátor ∇^2 dosadíme matematické vyjádření jedná-li se o válcovou stěnu

$$\left(\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{d^2t}{d\varphi^2} + \frac{d^2t}{dz^2}\right) = 0 \quad (6)$$

$$\left(\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr}\right) = 0 \quad (\text{K.m}^{-2}) \quad (7)$$

Sdílení tepla konvekcí se uskutečňuje při pohybu tekutiny, kde současně dochází k výměně tepla mezi tekutinou a tuhou látkou – proudící tekutina předává, či odebírá teplo z povrchu okolních těles. Ke konvekci může dojít nejen mezi tekutinou a tuhou látkou (např. chladivem), ale rovněž mezi dvěma plynnými, nebo dvěma kapalnými látkami, nebo mezi kapalnou a plynnou látkou. Konvekci lze rozdělit na přirozenou (volnou) a nucenou. Obě konvekce se mezi sebou liší svým vznikem.

- Přirozená konvekce je nejčastěji vyvolaná působením gravitačního pole na nerovnoměrně prohřátou tekutinu. Přirozenou konvekci tak vyvolává tíhová síla (nebo hmotnostní síly).
- Nucená konvekce je vyvolaná externím zásahem do tekutiny – tekutina je ke svému pohybu nucena, např. čerpadlem.

Oba typy konvekci jsou určovány na základě kritériálních rovnic. Každá kritériální rovnice je platná pro jednotlivé typy proudění.

Základní rovnice pro určení součinitele přestupu tepla vychází ze znalosti Nusseltova kritéria.

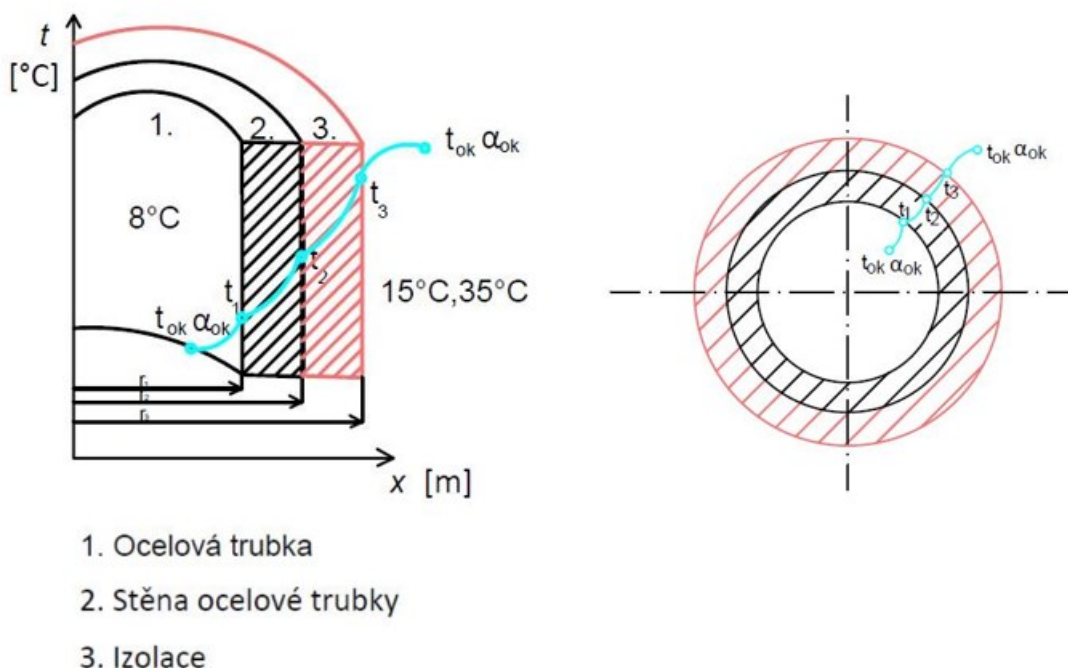
$$Nu = f(Re, Gr, Pr, Fo, Po, \zeta_x, \zeta_y, \zeta_z) \quad [1] \quad (8)$$

kde $\zeta_x, \zeta_y, \zeta_z$ jsou bezrozměrné souřadnice.

Avšak, budou použity pouze tři kritéria, a to Re, Gr a Pr . U dějů bez vnitřního objemového tepelného zdroje se neuvažuje kritérium Po , u stacionárních dějů se neuplatní kritérium Fo a je Nu po celém teplosměnném povrchu konstantní, degenerují kritéria $\zeta_x, \zeta_y, \zeta_z$. Uvážíme-li všechna tato zjednodušení, má kritériální rovnice č. 9 tvar

$$Nu = f(Re, Pr, Gr) \quad (9)$$

Obrázek. 19 popisuje sdílení tepla, kdy na vnitřním povrchu trubky probíhá nucená konvekce, protože je medium (voda) poháněná čerpadly, přes stěnu trubky probíhá vedení, stejně jako přes izolaci a na vnější straně trubky probíhá přirozená konvekce a je tímto znázorněna reálná situace trubek pro rozvod chladu.



Obr. 19 Schéma a řez složené válcové stěny (trubka + izolace) pro tento případ

Ve firmě Flídr plast s.r.o. je řešeno zaizolování trubek jdoucích ve výrobní hale ke strojům. Potrubí má průměr 63/80 DN. Teplota média (chladicí vody) proudící v trubkách je 8°C, teplota v hale je v letních měsících 35°C a v zimních měsících je 15°C. Průtok chlazené vody je 54 m³/h. Jedná se o ustálený stav, pro výpočet izolace byl použit tabulkový program Excel. K izolaci potrubí byly vybrány tři typy izolací (Kaučuk, izolace AIS, izolace Mirelon PRO), které jsou standardně k dostání v obchodech.

Tab. 4 Kinematická viskozita a součinitel tepelné vodivosti pro vodu při 8° C

Kinematická viskozita a součinitel tepelné vodivosti pro vodu 8° C		
	Jednotky	Hodnoty
Kinematická viskozita	m ² .s ⁻¹	1,6.10 ⁻⁶
Součinitel tep. vodivosti	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	0,56

V tabulce č. 4 je zobrazena kinematická viskozita a součinitel tepelné vodivosti pro vodu při 8°C. Hodnoty byly vyčteny z diagramu, které jsou zobrazeny v přílohách č. 3,4.

Určení součinitele přestupu tepla konvekcí pro chladicí vodu vychází z následující rovnice

$$Nu = f(Re, Pr)$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (-) \quad (10)$$

kde v je rychlost zjištěná z průtoku chlazené vody Q_v (m.s⁻¹)

d - průměr potrubí (m)

ν - kinematická viskozita ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Aby byla určena rychlost ν , bylo potřeba ji přepočítat z průtoku chlazené vody.

$$Q_v = \frac{\text{průtok chlazené vody}}{\text{sekunda}} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (11)$$

$$S \cdot \nu = Q_v \text{ kde } S \text{ je } = \frac{\pi d^2}{4} \quad (12)$$

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot \nu = Q_v \text{ po převedení se rychlost } \nu \text{ bude rovnat, } \nu = \frac{Q_v}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (13)$$

V tabulce č. 4 jsou zobrazeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ . Dané hodnoty jsou dosazeny do Prandtlova kritéria.

$$Pr = \frac{c_p \cdot \rho \cdot \nu}{\lambda_v} \quad (-) \quad (14)$$

kde ν je kinematická viskozita ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

c_p - střední měrné teplo ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ρ - hustota plynných látek pro dané teplotě ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

λ_{vody} - Součinitel tepelné vodivosti pro vodu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

V potrubí je voda poháněná čerpadlem, jedná se tedy o nucené proudění. Z toho důvodu budeme vycházet z následující rovnice č. 15

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad [22] \quad (15)$$

Pro výpočet tloušťky izolace bylo potřebné zjistit α_{vody} , která byla vypočtena přes Nusseltův vzorec sdílení tepla konvekcí tedy

$$Nu = \frac{\alpha_v \cdot d}{\lambda_v} \quad (-) \quad (16)$$

Po vyjádření α :

$$\alpha_v = \frac{Nu \cdot \lambda_v}{d} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (17)$$

kde α_v je součinitel přestupu konvekce pro chlazenou vodu ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Nu - Nusseltovo kritérium

λ_{vody} - Součinitel tepelné vodivosti pro vodu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

d - Průměr potrubí (m)

Tab. 5 Kinematická viskozita a součinitel tepelné vodivosti při 15°C a 35°C

Kinematická viskozita a součinitel tepelné vodivosti pro dané teploty			
	Jednotky	Vzduch 15°C	Vzduch 35°C
Kinematická viskozita	m ² .s ⁻¹	1,4.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻⁵
Součinitel tep. vodivosti	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	24.10 ⁻³	27.10 ⁻³

V tabulce č. 5 jsou zobrazeny kinematické viskozity a součinitele tepelné vodivosti, pro vzduch v zimních měsících (15°C) a v letních měsících teplota vzduchu dosahuje 35°C. Dále jsou zobrazeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ . Dané hodnoty jsou dosazeny do Prandtlova kritéria,

$$Pr = \frac{c_p \cdot \rho \cdot \nu}{\lambda_{vz}} \quad (-) \quad (18)$$

- kde ν je kinematická viskozita (m².s⁻¹)
 c_p - střední měrné teplo (J.kg⁻¹.K⁻¹)
 ρ - hustota plyných látek pro dané teplotě (g.cm⁻³)
 λ_{vz} - součinitel teplotní vodivosti pro vzduch (W.m⁻¹.K⁻¹)

Grashofovo kritérium slouží pro vyjádření intenzity cirkulace vlivem rozdílu teplot při přirozeném proudění tekutiny. Rozdíl teplot je řešen na teplotu v určitých ročních obdobích, kde teplota vzduchu v letních měsících je 35 °C, v zimních 15 °C. Kinematická viskozita ν , jak už bylo zmíněné, lze určit z diagramů uvedené v příloze 1,2. Hodnoty jsou zobrazeny v tabulce č. 5

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta t \cdot d^3}{\nu^2} \quad (-) \quad (19)$$

- kde g je tíhové zrychlení (m.s⁻²)
 Δt - rozdíl teplot (°C)
 ν - kinematická viskozita pro plyné látky (m².s⁻¹)
 d - průměr potrubí (m)
 β - Teplotní objemová roztažnost (K⁻¹)

Pokud se jedná o přirozené proudění, což je vzduch v letním období, tak v zimních měsících, vycházíme z rovnice č. 20

$$Nu = 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad [22] \quad (20)$$

Hodnota součinitele přestupu tepla konvekcí $\alpha_{vzduchu}$ pro 15°C a 35°C, byla vypočtena z Nusseltova vzorce sdílení tepla konvekcí tedy,

$$Nu = \frac{\alpha_{vz} \cdot d}{\lambda_{vz}} \quad (-) \quad (21)$$

Po vyjádření α :

$$\alpha_{vz} = \frac{Nu \cdot \lambda_{vz}}{l} \quad (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}) \quad (22)$$

kde α_{vzduch} je součinitel přestupu konvekce pro vzduch ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Nu - Nusseltovo kritérium

$\lambda_{vzduchu}$ - Součinitel teplotní vodivosti pro vzduch ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

d - Průměr potrubí (m)

Po vypočtení $\alpha_{vzduchu}$ a α_{vody} byly veškeré vypočtené hodnoty dosazeny do rovnice č. 24, aby byly vypočteny ztráty tepla (hustota tepelného toku). Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{izolace}$ se mění podle určeného materiálu (kaučuk, izolace AIS a izolace Mirelon PRO), hodnoty jsou zobrazeny v tabulkách (7), (8), (9).

Ztráty tepla izolovaného potrubí byly řešeny na letní a zimní období v rovnici č. 23.

$$q_l = \frac{\pi \cdot l \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{2r_1 \cdot \alpha_{ok,voda}} + \frac{1}{2\lambda_{trubka}} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\lambda_{izolace}} \cdot \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2r_3 \cdot \alpha_{ok,vzduch}}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (23)$$

pro výpočet neizolovaného potrubí byla použita rovnice č. 24.

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{2r_1 \cdot \alpha_{ok,voda}} + \frac{1}{2l} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2r_3 \cdot \alpha_{ok,vzduch}}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (24)$$

4.2 Výběr izolačních materiálů

Pro výpočet vhodné izolace byly vybrány 3 izolační materiály. V tabulkách č. 6 jsou zobrazeny tloušťky izolací, které jsou standardně k dostání v maloobchodních sítích. Jedná se o Kaučuk, izolaci AIS a izolaci Mirelon PRO.

Tab. 6 Tloušťky izolací standardně k dostání v prodeji

Izolace	Tloušťka izolace [mm]	Izolace	Tloušťka izolace [mm]	Izolace	Tloušťka izolace [mm]
Kaučuk	6	AIS	15	Mirelon	6
	10		18		9
	13		22		13
	16		28		20
	19		35		
	25		42		
	32		48		
	40		54		
	50		63		
	60				

Kaučuková izolace (obr. 20), je izolačním materiálem pro chlazení, vzduchotechniku, klimatizaci, rozvody solární technologie, topení, studené i teplé vody. Vyrábí se ve variantách izolačních trubek, plošné izolace ve formě nekonečných izolačních pásů a prefabrikovaných izolačních tvarovek. Výborných izolačních a parotěsných vlastností kaučukové izolace je dosaženo díky technologii uzavřené struktury buněk. To umožňuje použití izolace s menší tloušťkou a tím dosahovat úspor oproti běžně využívaným izolačním materiálům.

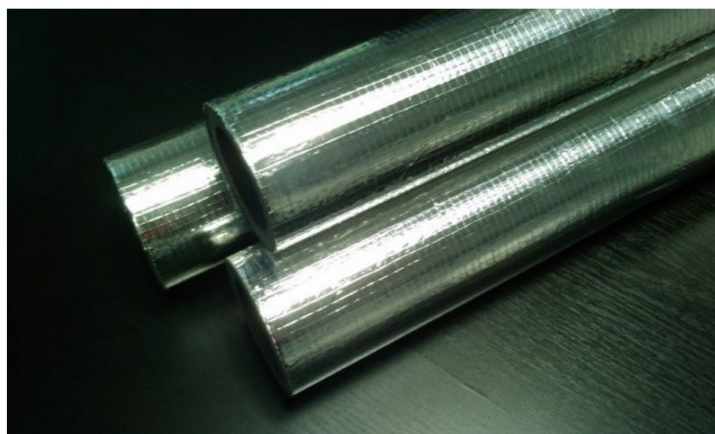


Obr. 20 Kaučuková izolace K-flex [16]

Tab. 7 Technické parametry kaučukové izolace ST PAS

Parametr	Značka	Jednotka	Hodnota	Zkušební metoda, protokol
Tepelná odolnost	-	°C	200 - +160	
Součinitel tepelné vodivosti	λ	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	0,034	EN 12667 (DIN 52612)
Odpor difúze vodní páry	μ	-	≤ 7000	EN 12086 (DIN 52615)
Objemová hmotnost	-	$\text{kg}\cdot\text{m}^3$	28-30	
Nasákavost		%	max. 0,05	
Odolnost	Proti vlhkostem, ropným látkám, kyselinám			

Druhým materiálem je kruhová extrudovaná polyetylenová izolace AIS trubek (obr. 21) pro tepelnou izolaci rozvodů vytápění a sanitárních zařízení. Izolace plní veškeré zákonné, izolační a montážní požadavky kladené na moderní izolaci trubek. Tvoří ji hliníková folie s vysokou radiační odrazivostí a je vyztužena skleněnou mřížkou pro zvýšení pevnosti a patřičným přesahem v podélné části pro usnadnění montáže a uzavření podélné spáry.

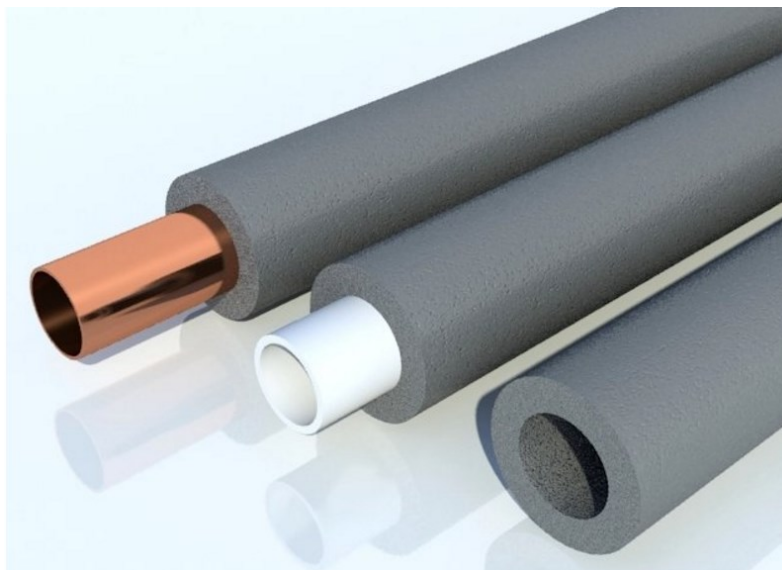


Obr. 21 Izolace AIS [17]

Tab. 8 Technické parametry izolace AIS

Parametr	Značka	Jednotka	Hodnota
Tepelná odolnost	-	°C	
Součinitel tepelné vodivosti	λ	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	0,038
Odpor difúze vodní páry	μ	-	≤ 16000
Objemová hmotnost	-	$\text{kg}\cdot\text{m}^3$	22-30
Nasákavost		%	max. 0,08
Odolnost	Proti vlhkostem, ropným látkám		

Obr. 22 zobrazuje termoizolační trubice z pěnového polyetylenu Mirelon PRO s uzavřenou buněčnou strukturou. Základní, ekonomicky výhodná izolační trubice, v nelaminovaném provedení s podélným nářezem. Mirelon PRO jsou trubice určené k izolaci rozvodů teplé i studené vody, k izolaci vedení ústředního vytápění, k izolaci sanitárních rozvodů. Izolace Mirelon PRO je díky vynikající tepelně izolační vlastnosti, ohebnosti a snadné zpracovatelnosti vhodným tepelněizolačním materiálem rozvodů pro novostavby a rekonstrukce.



Obr. 22 Izolace MIRELON PRO [18]

Tab. 9 Technické parametry izolace MIRELON PRO

Parametr	Značka	Jednotka	Hodnota
Tepelná odolnost	-	°C	
Součinitel tepelné vodivosti	λ	$W.m^{-1}.K^{-1}$	0,046
Odpor difúze vodní páry	μ	-	2247
Objemová hmotnost	-	$kg.m^3$	25-35
Nasákavost		%	max. 0,08
Odolnost	Proti vlhkostem, ropným látkám		

4.3 Porovnání vybraných materiálů

Porovnání tří izolačních materiálů (Kaučuk, izolace AIS a izolace Mirelon) bylo vypočteno v tabulkovém programu Excel. V následující části budou popsány změny ztrát tepla při dané tloušťce 3. izolačních materiálů a procentuální poměr měnící se s tloušťkou izolačních materiálů. Procentuální poměr zobrazuje, o kolik je tepelná ztráta u izolovaného potrubí nižší, než u potrubí neizolovaného.

Tab. 10 Vypočtené hodnoty

Kritéria	Vypočtené hodnoty	Konvekce	Vypočtené hodnoty	Jednotky
Re_{vody}	189475,758	α_{vody}	9069,299	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$Re_{15^{\circ}C}$	27497,616	α_{15}	4,481	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$Re_{35^{\circ}C}$	22645,095	α_{35}	6,429	$W.m^{-2}.K^{-1}$
Pr_{vody}	12,027			
$Pr_{15^{\circ}C}$	0,929			
$Pr_{35^{\circ}C}$	0,931			
$Gr_{15^{\circ}C}$	630171,977			
$Gr_{35^{\circ}C}$	1592167,481			
$Gr.Pr_{15^{\circ}C}$	585155,839			
$Gr.Pr_{35^{\circ}C}$	1481678,179			
Nu_{vody}	1020,296			
$Nu_{15^{\circ}C}$	14,935			
$Nu_{35^{\circ}C}$	18,840			

V tabulce č. 10 jsou zobrazeny kritéria, které byly použity pro výpočet součinitele přestupu tepla konvekci α . Z vypočtené hodnoty byly použity pro celkový výpočet tepelných ztrát potrubí pro izolované i neizolované potrubí.

Tab. 11 Změna ztráty tepla potrubí na tloušťce kaučukové izolace

Tloušťka izolace Kaučuk 15°C [m]	0	0,006	0,01	0,013	0,016	0,019	0,025	0,032	0,04	0,05	0,06
Ztráta tepla (W.m ⁻¹)	-7,871	-6,004	-5,216	-4,762	-4,389	-4,078	-3,588	-3,166	-2,810	-2,482	-2,238
Tloušťka izolace Kaučuk 35°C [m]	0	0,06	0,01	0,013	0,016	0,019	0,025	0,032	0,04	0,05	0,06
Ztráta tepla (W.m ⁻¹)	-43,534	-29,490	-24,483	-21,800	-19,700	-18,013	-15,466	-13,377	-11,678	-10,170	-9,077

Tab. 12 Změna ztráty tepla potrubí na tloušťce izolace AIS

Tloušťka izolace AIS 15°C [m]	0	0,015	0,018	0,022	0,028	0,035	0,042	0,048	0,054	0,063
Ztráta tepla (W.m ⁻¹)	-7,871	-4,720	-4,402	-4,047	-3,627	-3,251	-2,960	-2,757	-2,587	-2,377
Tloušťka izolace AIS 35°C [m]	0	0,015	0,018	0,022	0,028	0,035	0,042	0,048	0,054	0,063
Ztráta tepla (W.m ⁻¹)	-43,534	-21,490	-19,699	-17,782	-15,600	-13,734	-12,336	-11,389	-10,608	-9,662

Tab. 13 Změna ztráty tepla potrubí na tloušťce izolace Mirelon

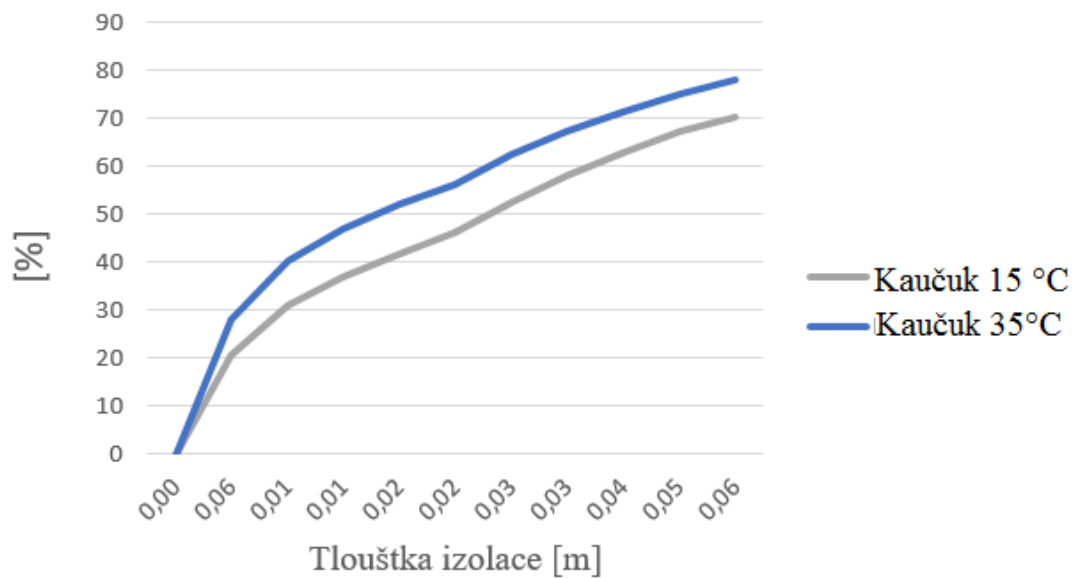
Tloušťka izolace Mirelon 15°C [m]	0	0,006	0,009	0,013	0,02
Ztráta tepla (W.m ⁻¹)	-7,871	-6,496	-5,991	-5,442	-4,718
Tloušťka izolace Mirelon 35°C [m]	0	0,006	0,009	0,013	0,02
Ztráta tepla (W.m ⁻¹)	-43,534	-32,638	-29,142	-25,600	-21,285

V tabulkách č. 11, 12, 13 jsou znázorněny změny ztrát potrubí při daných tloušťkách 3. izolačních materiálů. Ztráty tepla jsou rozděleny na zimní (15°C) a letní (35°C) období. Nulová hodnota je ztráta tepla potrubí bez izolačního materiálu.

Tab. 14 Změna procentuálního poměru ku ztrátám chladu přes kaučukovou izolaci

Tloušťka izolace [m]	0,0000	0,0600	0,0100	0,0130	0,0160	0,0190	0,0250	0,0320	0,0400	0,0500	0,0600
Procentuální poměr Kaučuk při 15°C [%]	0,00	20,53	30,95	36,97	41,90	46,01	52,50	58,08	62,81	67,15	70,38
Procentuální poměr Kaučuk při 35°C [%]	0,00	28,19	40,38	46,92	52,03	56,14	62,34	67,43	71,56	75,24	77,90

Procentuální závislost na tloušťce izolace (Kaučuk)

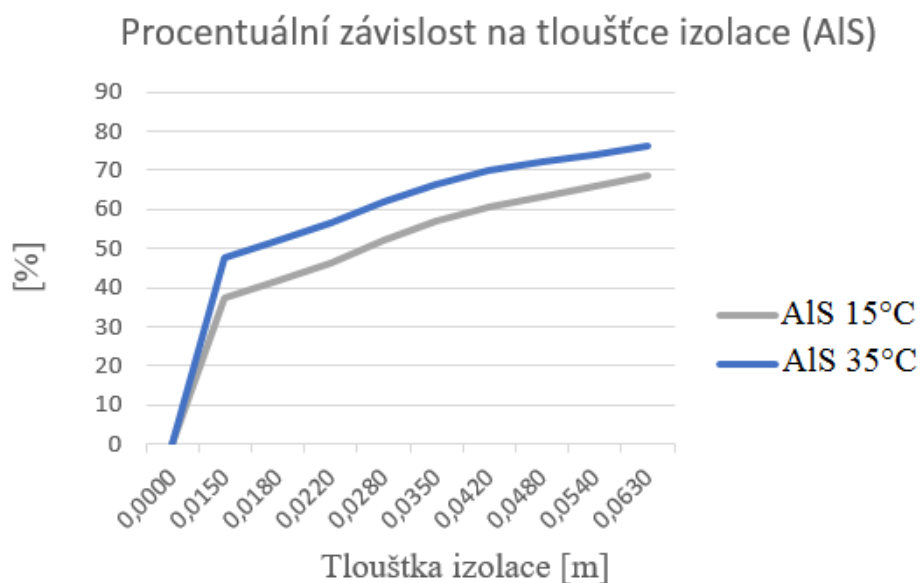


Obr. 23 Procentuální závislost na tloušťce kaučukové izolace

Tab. 14 a obr. 23 znázorňují, jak se mění procenta při dané tloušťce kaučukové izolace. Procenta zobrazují, že neizolované potrubí má vyšší tepelnou ztrátu potrubí, než potrubí izolované. Křivky na grafu zobrazují kaučukovou izolaci při letním a zimním období.

Tab. 15 Změna procentuálního poměru ku ztrátám chladu přes izolaci AIS

Tloušťka izolace [m]	0,0000	0,0150	0,0180	0,0220	0,0280	0,0350	0,0420	0,0480	0,0540	0,0630
Procentuální poměr AIS při 15°C [%]	0,00	37,52	41,73	46,42	51,99	56,96	60,82	63,50	65,76	68,53
Procentuální poměr AIS při 35°C [%]	0,00	47,67	52,03	56,70	62,01	66,56	69,96	72,27	74,17	76,47

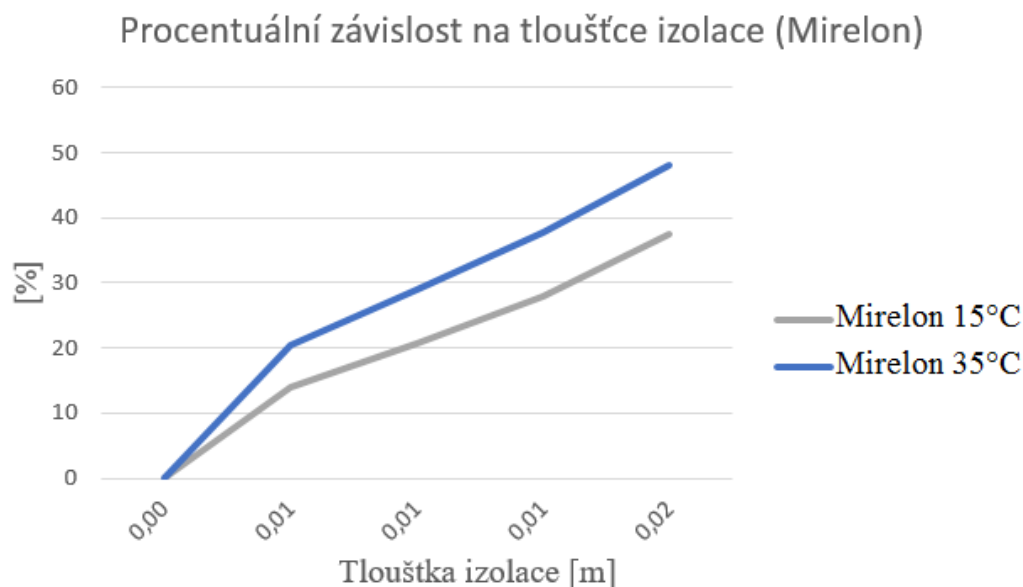


Obr. 24 Procentuální závislost na tloušťce izolace (AIS)

Tab. 15 a obr. 24 znázorňují, jak se mění procenta při dané tloušťce izolace AIS. Procenta zobrazují, že neizolované potrubí má vyšší tepelnou ztrátu potrubí, než potrubí izolované. Křivky na grafu zobrazují izolaci AIS při letním a zimním období.

Tab. 16 Změna procentuálního poměru ku ztrátám chladu přes izolaci Mirelon

Tloušťka izolace [m]	0,0000	0,0060	0,0090	0,0130	0,0200
Procentuální poměr Mirelon při 15°C [%]	0,00	14,01	20,69	27,96	37,55
Procentuální poměr Mirelon při 35°C [%]	0,00	20,52	29,04	37,66	48,17



Obr. 25 Procentuální závislost na tloušťce izolace (Mirelon)

Tab. 16 a obr. 25 znázorňují, jak se mění procenta při dané tloušťce izolace Mirelon. Procenta zobrazují, že neizolované potrubí má vyšší tepelnou ztrátu potrubí, než potrubí izolované. Křivky na grafu zobrazují izolaci Mirelon při letním a zimním období.

4.4 Shrnutí kapitoly

V kapitole č. 4 byla nejprve popsána a matematicky vyjádřena konvekce. Konvekci lze rozdělit na přirozenou (volnou) a nucenou. Přirozená konvekce se týká vzduchu proudícího okolo potrubí a nucená konvekce je médium (chlazená voda), která je poháněna čerpadly. Obě konvekce se mezi sebou liší svým vznikem. Poté byl zvolen izolační materiál, jedná se o kaučuk, izolaci AIS a izolaci MIRELON. Veškeré izolace byly pro danou problematiku vybrány a z jejich tloušťky vypočteny v tabulkovém programu EXCEL. Výpočet se zabývá právě problematikou mé bakalářské práce, kde je potřeba zamezit ztrátám, popř. je snížit na minimum.

5 ZÁVĚR

V první části mé bakalářské práce byly jednotlivě popsány původní a nově navržené technologie ve firmě. Jedná se o deskový výměník, akumulční nádrž, čerpadla a dvě chladicí jednotky. Následně byly popsány nové technologie, tedy mikroturbína a absorpční jednotka.

Dále byl popsán princip výroby chladu. Trigenerační jednotky jsou kombinací výroby elektřiny, tepla a chladu. Jsou to kogenerační jednotky spojené s chladicí jednotkou absorpčního typu, kde byly popsány kompresorové a absorpční chlazení.

Cílem mé bakalářské práce bylo zamezit, popřípadě snížit ztráty tepla z potrubí na minimum ve výrobní hale Flídr plast s.r.o. Potrubí dopravuje vodu ke strojům, které zároveň ochlazuje.

Původní stav izolovaného potrubí, které je vedeno v hale Flídr plast s.r.o. nevyhovuje z důvodu svých nevhodných izolací. Byl použit Mirelon, který je finančně levnější, ale procentuálně má nejvyšší ztrátu tepla potrubí.

Na potrubí byly navrženy tyto izolace: Kaučuk, izolace Mirelon PRO a izolace AIS. Pro tyto izolace byl zvlášť stanoven výpočet k daným tloušťkám. Nejméně vhodná je izolace Mirelon, která má při 0,002 m vysoké ztráty tepla zaizolovaného potrubí. Nejvíce vhodná se jeví kaučuková izolace o tloušťce 0,002m má minimální ztráty tepla, ale je finančně vyšší, než zbylé dvě izolace. Bylo zjištěno, že potrubí bez izolace, které je vedeno v hale, má větší ztrátu tepla, než potrubí s izolací. Rozdíl ztrát tepla vyjadřují procenta, která se liší od daných materiálů a tlouštěk izolací.

6 PŘEHLED VELIČIN A JEJICH JEDNOTKY

Základní symbol	Název	Jednotky
c_p	střední měrné teplo	$\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
d	průměr	m
g	tíhové zrychlení	m.s^{-2}
r	poloměr	m
t	Celsiova teplota	$^{\circ}\text{C}$
v	rychlost	m.s^{-1}
Q_v	průtok	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
S	plocha	m
α	součinitel teplotní vodivosti	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
β	teplotní objemová roztažnost	K^{-1}
ρ	hustota	kg.m^{-3}
λ	součinitel tepelné vodivosti	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Δt	rozdíl teplot	$^{\circ}\text{C}$
ν	kinematická viskozita	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$

7 SEZNAM LITERATURY

- [1] KLEČKOVÁ, Zuzana a Adéla MACHÁČKOVÁ. *Minimalizace emisí při energetickém využití odpadů*. Vyd. 1. V Ostravě: Marionetti Press, 2011, 147 s. ISBN 978-80-260-1279-5.
- [2] ŠUROVSKÝ, Jan. *Spalovací turbíny*. Česko: J. Šurovský, 2013, 245 s. ISBN 978-80-260-4106-1
- [3] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. 1. vyd. Praha: GAS, 2007, 201 s. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [4] TRI - GENERATION – CHP- COMBINED HEAT & POWER, 2G Bio – Energietechnik,[online]URL: <<http://2g-cenergy.com/trigen-more.html>>,[cit. 2010-5-10]. Bakalářská práce Hadrababa ...
- [5] ŠUROVSKÝ, Jan. *Mikroturbína*. Vyd. 1. Praha: Instalace, 2003, 220 s.
- [6] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 287 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [7] RÉDR, Miroslav a Miroslav PŘÍHODA. *Základy tepelné techniky: celost. vysokošk. učebnice pro hutnické fakulty*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00366-0.
- [8] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. *Sdílení tepla a proudění* [CD-ROM]. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978- 80-248-2576-2.
- [9] Oesterreicher D., Pol O., Concerto Initiative and Polygeneration, Proceedings of the 1st European Conference on Polygeneration, Vol.1, No.1, pp. 39-54., 2007
- [10] PETCHERS, Neil. *Combined heating, cooling & power handbook: technologies & applications : an integrated approach to energy resource optimization*. New York: Distributed by Marcel Dekker, c2003. ISBN 0824742338.
- [11] Minciuc E., Corre O., Athanasovici V., Tazerout M., Fuel saving and CO2 emissions for tri-generation systems, Applied Thermal Engineering 23, pp. 1333- 1346, 2003
- [12] HADRABA, Jiří. *Trigenerace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Fortelný
- [13] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Vyd. 3. přeprac., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2409-5.
- [14] BROAD AIR CONDITIONING. . [online]. 22.4.2016 [cit.2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.broad.cz/broad2013/index.php>
- [15] K- FLEX izolace. . [online]. 22.4.2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.kflex-izolace.cz/index.php>

- [16] Izolace PRODMAX AIS. . [online]. 22.4.2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.dewitky.cz/izolace-technicke-2/011-izolace-prodmax-als/index.php>
- [17] MIRELON PRO. . [online]. 22.4.2016 [cit.2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.mirelon.com/c3/docs/termoizolacni-trubice-mirelon-pro-d00000107.pdf>
- [18] SOKRA group. . [online]. 26.4.2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.sokra.cz/sokra2013/index.php>
- [19] FLÍDR. . [online]. 26.4.2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.flidr.cz>
- [20] JUREČKA, Pavel. Proudění a sdílení tepla: cvičení do předmětu "Sdílení tepla a proudění". 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1083-2.
- [21] TUČEK, Jan. Výpočet tepelných ztrát a izolace potrubí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 68 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Bohuslav Kilkovský, Ph.D.
- [22] BÁLEK, Stanislav. *Tepelně technické tabulky a diagramy*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. ISBN 80-248-0828-5.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

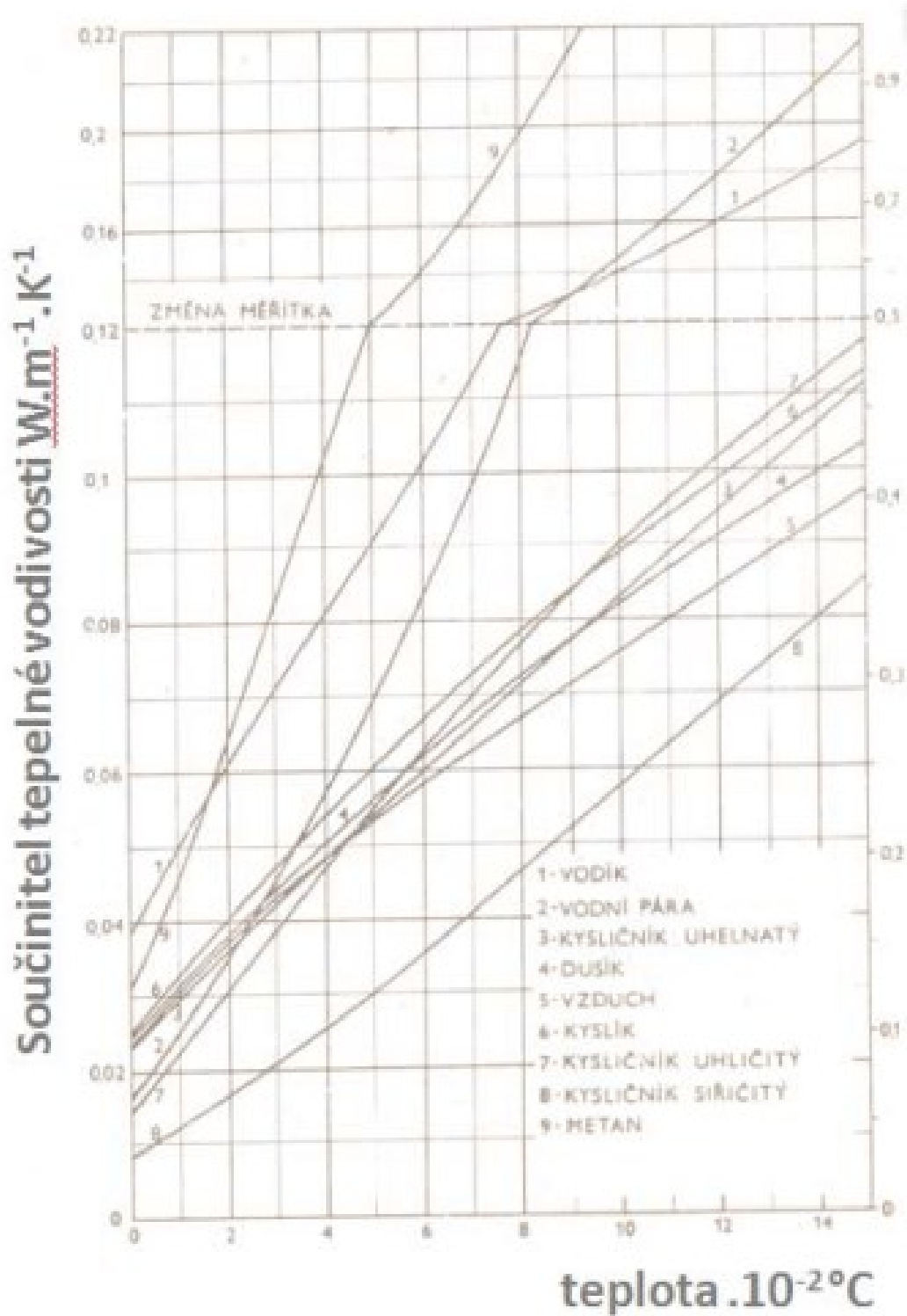
Obr. 1 Zobrazení firmy Flídr plast s.r.o.....	10
Obr. 2 Schéma zobrazující původní technologie chladicího zařízení ve výrobní hale.....	11
Obr. 3 Původní chladicí jednotka TAEevo 301.....	12
Obr. 4 Původní deskový výměník patřící k akumulární nádrži	13
Obr. 5 Akumulační nádrž o objemu 2500 l.....	14
Obr. 6 Čerpadla Pedrollo HF 5AM	14
Obr. 7 Rozvod potrubí v hale Flídr plast s.r.o.	15
Obr. 8 Původní a nově navržené umístění technologií.....	15
Obr. 9 Mikroturbína ANSALDO ENERGIA AET 100	16
Obr. 10 Pohled zepředu a ze zadní strany chladicí absorpční jednotka BROAD	16
Obr. 11 Příklad kombinované výroby elektřiny, chladu a tepla.....	18
Obr. 12 Kompresorové chlazení	19
Obr. 13 Schématické znázornění absorpčního chlazení	20
Obr. 14 Zobrazení energetických tepelných toků v kogenerační jednotce.....	21
Obr. 15 Závislost teploty na tlaku při fázové přeměně.....	22
Obr. 16 Navržená a realizována absorpční jednotka BROAD ve firmě Flídr plast s.r.o.	25
Obr. 17 Výkres absorpční jednotky BROAD.....	25
Obr. 18 Princip absorpčního chladicího okruhu zařízení BROAD	26
Obr. 19 Schéma a řez složené válcové stěny (trubka + izolace) pro tento případ.....	30
Obr. 20 Kaučuková izolace K-flex	34
Obr. 21 Izolace AIS.	34
Obr. 22 Izolace MIRELON PRO	35
Obr. 23 Procentuální závislost na tloušťce kaučukové izolace	38
Obr. 24 Procentuální závislost na tloušťce izolace (AIS).....	39
Obr. 25 Procentuální závislost na tloušťce izolace (Mirelon).....	40

9 SEZNAM TABULEK

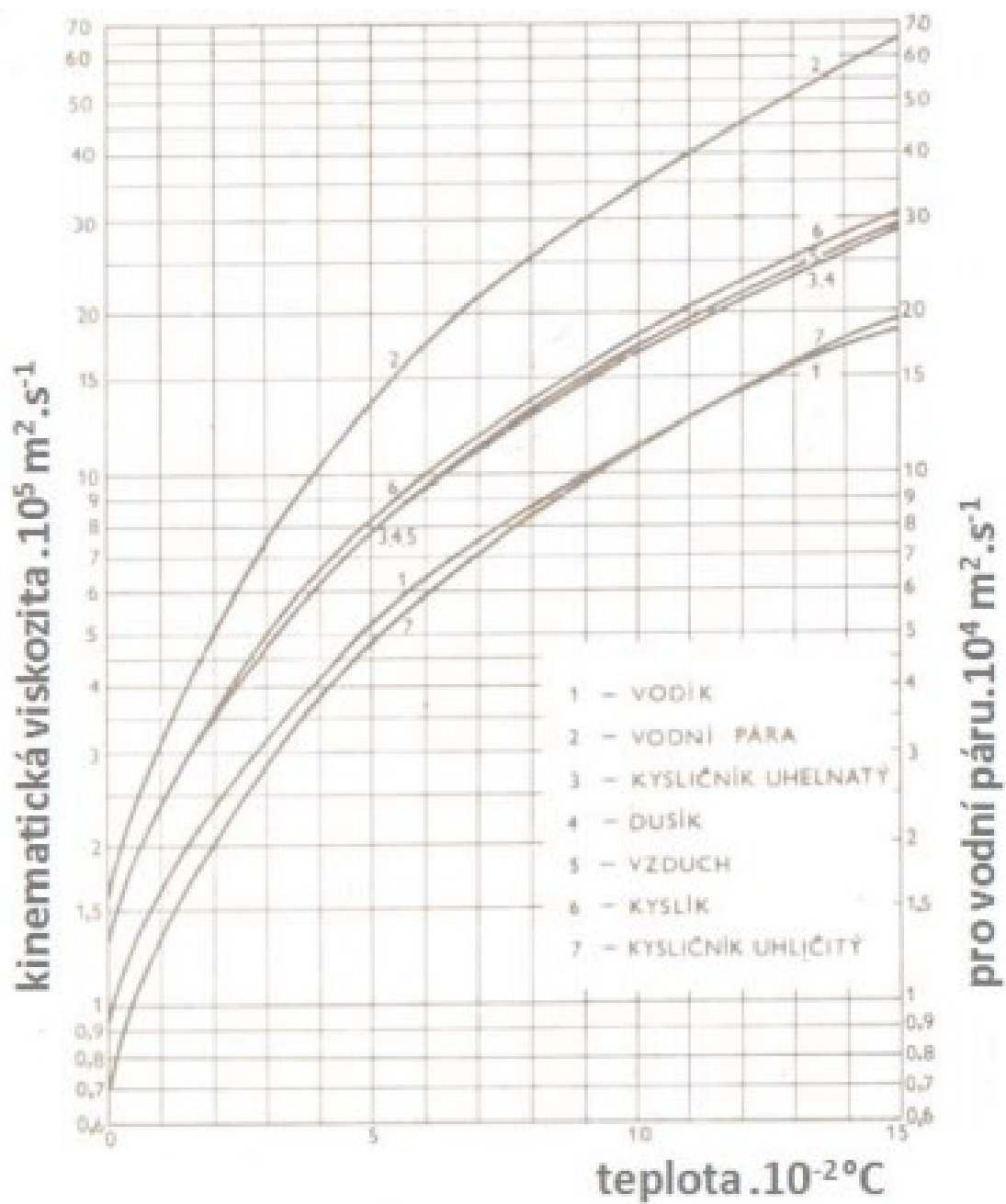
Tab. 1 Vlastnosti bromidu lithného (LiBr).....	23
Tab. 2 Porovnání absorpčního a kompresorového chlazení [1].....	24
Tab. 3 Požadované a technické parametry absorpční jednotky BROAD.....	24
Tab. 4 Kinematická viskozita a součinitel tepelné vodivosti pro vodu při 8° C	30
Tab. 5 Kinematická viskozita a součinitel tepelné vodivosti při 15°C a 35°C.....	32
Tab. 6 Tloušťky izolací standardně k dostání v prodeji	33
Tab. 7 Technické parametry kaučukové izolace ST PAS	34
Tab. 8 Technické parametry izolace AIS.....	35
Tab. 9 Technické parametry izolace MIRELON PRO.....	36
Tab. 10 Vypočtené hodnoty	36
Tab. 11 Změna ztráty tepla potrubí na tloušťce kaučukové izolace	37
Tab. 12 Změna ztráty tepla potrubí na tloušťce izolace AIS	37
Tab. 13 Změna ztráty tepla potrubí na tloušťce izolace Mirelon	37
Tab. 14 Změna procentuálního poměru ku ztrátám chladu přes kaučukovou izolaci	37
Tab. 15 Změna procentuálního poměru ku ztrátám chladu přes izolaci AIS	38
Tab. 16 Změna procentuálního poměru ku ztrátám chladu přes izolaci Mirelon.....	39

10 PŘÍLOHY

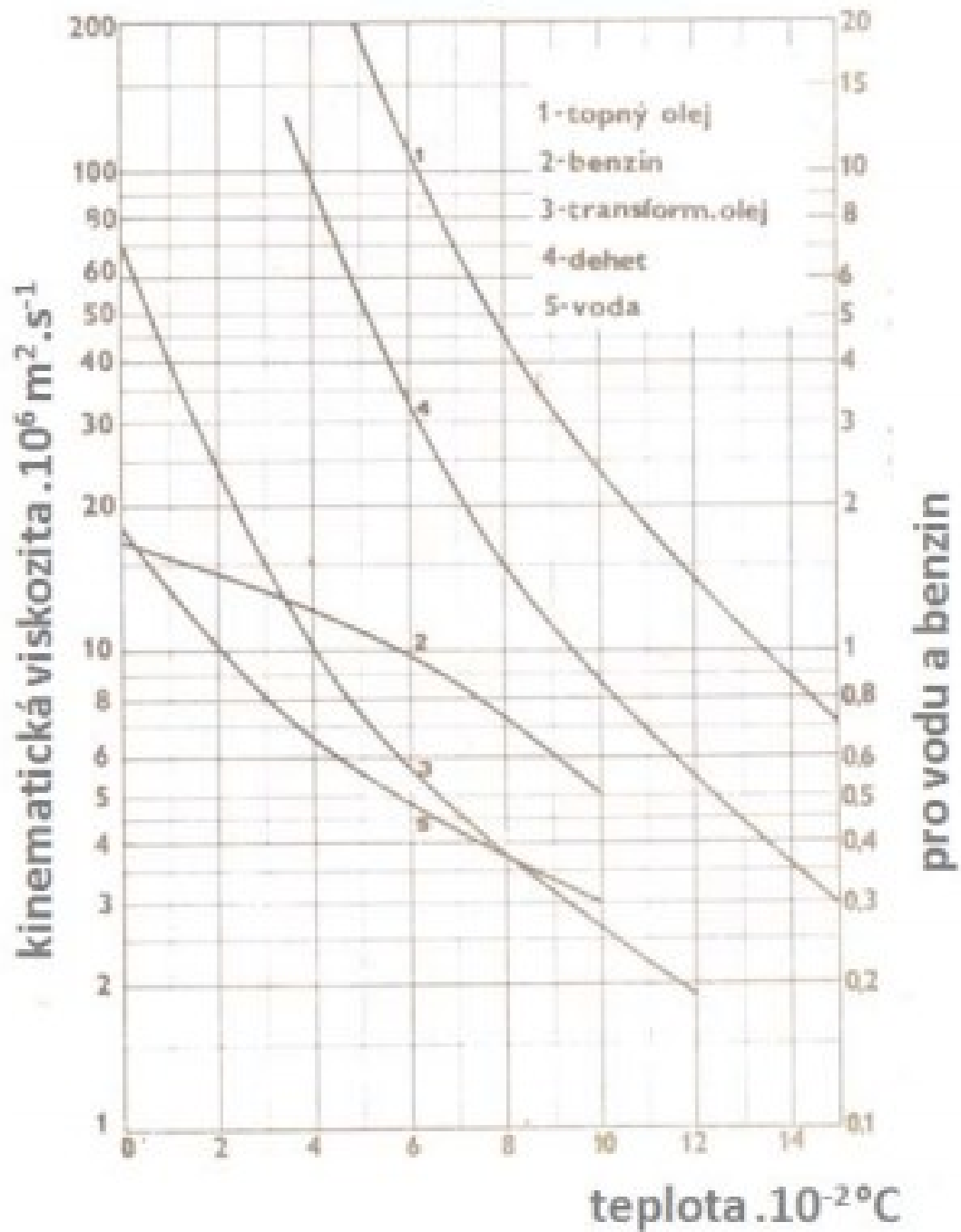
1. Součinitel tepelné vodivosti pro plynné látky $W.m^{-1}.K^{-1}$ [8]



2. Kinematická viskozita pro plynné látky $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ [8]



3. Kinematická viskozita pro vodu $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ [8]



4. Součinitel tepelné vodivosti pro vodu $W.m^{-1}.K^{-1}$ [8]

