

## Abstrakt

Hlavním tématem této diplomové práce je optimalizovat energetické hospodářství galvanovny. Cílem je navrhnout vhodná řešení pro snížení tepelných ztrát a využití odpadního tepla spalinych ztrát z parních výměníků.

V první části práce se hodnotí počáteční stav, vstupní a výstupní toky energií. V další části jsou porovnávána jednotlivá řešení jak z hlediska technického, tak z hlediska ekonomického.

## Klíčová slova

Tepelná ztráta budovy, vzduchotechnika, tepelný výměník

## Abstrakt

The main subject of that diploma thesis is an optimization energetic economy of a bathroom. The objective is propose suitable resolution for decrease decrement heating and employ outlet heat of burnt gas which are going from steam generator.

In the first part of the thesis is evaluation inceptive state, inlet and outlet flows of energies. In the next part, there are confront individual resolving from technically angle and economically angle.

## Keywords

heating decrement of a building, air-conditioning, heat exchange

**Bibliografická citace práce:**

PAVLÍČEK, L. *Optimalizace energetického hospodářství galvanovny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 73 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

### **Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 28. května 2009

\_\_\_\_\_  
**Lukáš Pavlíček**

### **Poděkování:**

Rád bych zde poděkoval panu Doc. ing. Jiřímu Pospíšilovi Ph.D., za poskytnutí cenných informací, rad a pomoc při řešení této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Bc. Jaroslavu Štěpáně Valešovi za poskytnutí cenných konzultací a informací v oblasti vzduchotechniky a dále všem lidem, kteří mi pomohli a podávali cenné informace a zkušenosti při řešení dílčích problémů.

## Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2. Popis současných stavů energetického zásobování galvanovny</b>	<b>8</b>
2.1 Energeticky významné technologie	8
2.2 Energetické vstupy	9
2.2.1 Spotřeba plynu	9
2.2.2 Spotřeba elektrické energie	9
2.3 Energetické zdroje	9
2.3.1 Technickoekonomické údaje koteln	9
2.3.2 Kotelna K1	9
2.3.3 Kotelna K2	10
2.3.4 Údaje o topném systému	11
2.3.5 Údaje o vzduchotechnice a větrání	11
2.3.5 Údaje o plynových spotřebičích	11
2.4 Zhodnocení výchozího stavu	12
2.4.1 Energetická bilance	12
2.4.2 Zhodnocení energetického zdroje	12
2.5 Údaje o tepelně technických vlastnostech konstrukce budovy	13
2.5.1 Geometrické údaje o vytápěném objektu	13
2.5.2 Popis skladby stavebních konstrukcí	13
<b>3. Návrh opatření pro optimalizaci energetického náročnosti galvanovny</b>	<b>14</b>
3.1 Návrh jednotlivých opatření	14
3.2 Předběžné shrnutí navržených opatření	14
<b>4. Úsporná opatření stavební konstrukce</b>	<b>15</b>
4.1 Zateplení obvodových stěn	16
4.2 Výměna světlíků	18
4.3 Výměna oken	19
4.4 Výpočetové hodnoty – původní stav	20
4.5 Výpočetové hodnoty – nové řešení	21
4.6 Investiční náklady na provedení stavebních úprav	24
4.7 Stanovení celkových nákladů úspor	25
4.8 Ekonomické zhodnocení	26
<b>5. Návrh VZT</b>	<b>28</b>
5.1 Návrh realizace	29
5.2 Bilance energie pro napomáhání VZT	29
5.3 Zohlednění chemických tepelných lázní	33
5.4 Prostorová potenciální nebezpečí výbuchu	35
5.5 Finanční analýza potrubí	37
5.6 Ekonomická analýza navržené vzduchotechniky	37
<b>6. Tepelný výměník trubkový</b>	<b>38</b>
6.1 Velikost výměňových ploch	42
6.2 Spalinový kanál	43
6.3 Střední logaritmický teplotní spád	43
6.4 Stanovení součinitele restuputeplak	44
6.5 Stanovení hodnot $\lambda$ a $\alpha$	46
6.5.1 Tepelná vodivost	46
6.5.2 Stanovení součinitele restuputepla	46

6.6 Výpočet p řestup tepla.....	50
6.7 Výpočet délky trubek.....	50
6.8 Výpočet objemu v ým ě níku.....	52
6.9 Celková úspora energie.....	53
6.10 Ekonomická analýza v ým ě níku.....	54
<b>7. Vým ě ník sp ř íčným proud ě níím.....</b>	<b>56</b>
7.1 Vstupní a výstupní hodnoty.....	56
7.2 Velikost v ýh řevných ploch.....	57
7.3 Spalinový kanál.....	58
7.4 Výpočet střední hodnoty logaritmičeského hospádu.....	59
7.5 Stanovení tepelné vodivosti.....	60
7.6 Výpočet součinitele p řestup tepla.....	60
7.7 Součinitele p řestup tepla.....	61
7.8 Výpočet objemu v ým ě níka.....	62
7.9 Roční úspory.....	65
7.10 Ekonomická analýza.....	66
<b>8. Záv ě r.....</b>	<b>68</b>
<b>9. Seznam použit ě literatury.....</b>	<b>69</b>
<b>10. seznam použit ých symbol ů.....</b>	<b>71</b>

## 1. Úvod

Cílem diplomové práce je navrhnout opatření pro snížení energetické náročnosti galvanovny. Tototéma jsem si vybral z důvodu jeho praktického využití a blízkosti lokality, kde se galvanovna nachází. Galvanovnu provozuje firma CZSVAZIKO Vyškov. Zabývá se obchodní činností v oblasti velkoobchodního a maloobchodního prodeje spojovacího materiálu a povrchovou úpravou kovového materiálu. Jedná se zejména o tyto technologie: Zinkování, cínování, chromování, niklování, fosfátování, černění, leštění nerez materiálu atd. Objekt firmy se nachází v průmyslové zóně okresního města Vyškovna Moravě.

V současné době, kdy ceny všech druhů energetických zdrojů, které se používají k vytápění a ohřevu vody, stoupají, je potřeba hledat cesty ke snížení jejich spotřeby. Tímto problémem se dále zabývám i v mé diplomové práci.

Náplň práce je tedy nejprve provést zhodnocení současného stavu a energetickou náročnost galvanovny, kterým se věnuji v úvodní kapitole práce. V dalších kapitolách je posouzen návrh možných řešení ke snížení energetické náročnosti a zpracován technicko-ekonomický popis navržených opatření.

## 2. Popis současného stavu energetického zásobování technologie galvanovny

### 2.1 Energeticky významné technologie

Hodnoty vychází z energetické studie, kterou si nechala firma vypracovat v minulých letech. Autorem této studie je Kubešová Marie – Energetický auditor

Tabulka 2.1 – významné technologie

Technologie	Zátěž [kW]	Provoz [kW]
Technologická linka 1	695	469
Technologická linka 2	566	311
Vzduchotechnika galvanovna I.		1075
Vzduchotechnika galvanovna II.		1276
Vzduchotechnika řístavek		373
Celkem technologie	1261	3504

Obr. 2.1 – Technologická linka 1





## 2.2 Energetické vstupy

### 2.2.1 Spotřeba plynu

Zemní plyn (ZP) se používá pro vytápění, vzduchotechniku (VZT) a ohřev teplé užitkové vody (TUV).

Tabulka 2.2 – roční spotřeba ZP

Rok	Celková spotřeba ZP [Nm <sup>3</sup> ]
2003	472471
2004	486678
2005	452562
Průměrná spotřeba ZP	470570

### 2.2.2 Spotřeba elektrické energie

Tabulka 2.3 – roční spotřeba el. energie

Rok	Celková el. energie [kWh]
2003	1081186
2004	1092051
2005	1085280
Průměrná spotřeba ZP	1086172

## 2.3 Energetické zdroje

Zdrojem tepla je kotelná vedlá parní vyvíječka, která vyrábí páru pro technologii, vzduchotechniku a část vytápění. Vytápění dílen bylo provedeno plynovými teplovodními soupravami. Administrativní část a šatny s hygienickým zařízením jsou řešeny teplovodní plynovou kotelnou.

### 2.3.1 Technickoekonomické údaje kotelny

Tabulka 2.4 – technickoekonomické údaje

Provozní tlak páry	0,15 MPa
Teplota páry	125 °C
Výkon kotlů (parních vyvíječek) – páry	500 kg/hod
Celkový výkon parní kotelny	1000 Kg/hod

### 2.3.2 Kotelná K1

V kotelně se nachází dva vyvíječky páry. Golemos 500 a Certuss Junior 500. Součástí parní vyvíječky je úpravna vody.

Tabulka 2.5 – energetické zdroje

	Parní vyvíje čK1	Parní vyvíje čK2
Označení výrobku	Golemos G500	Certuss 500
Výrobce	Oslavany	Certuss
Palivo	Zemní plyn	Zemní plyn
Tepelný výkon vyvíje če	440 kW	364 kW
Spotřeba plynu	44 m <sup>3</sup> /hod	36,4 m <sup>3</sup> /hod

Obr. 2.2 – Parní vyvíje č od firmy Certuss



### 2.3.3 Kotelna K2

V kotelně je umístěn plynový kotel Buderusový výkonu 73 kW a zásobník vody s řízením. Kotel je vybaven řízením Quadriga 300 pro ohřev vody hygienických zařízení.

Obr. 2.3 – kotel Buderus



### 2.3.4 Údaje o topném systému

Vytápění provozu je řešeno teplovzdušnými jednotkami, parními registry a individuálními plynovými topidly. Jednotky jsou parnímotopné plynové (Acoroni) nebo připojené rozvodpáry.

Vytápění administrativní části je řešeno teplovodním plynovým kotlem. Otopnými tělesy jsou panely Radík. Rozvod topného média je tepelným spádem 80/60°C.

### 2.3.4 Údaje o vzduchotechnice a větrání

Firma Svaziko vybuďovala kotelnu s parními vyvíječi, které využívá z velké části pro technologii a také strojnou VZT a jedině pro teplovzdušné jednotky Saham.

Parní vyvíječ vyrábí páru o nižší teplotě, takže se předpokládá, že strojnou vzduchotechniku jsou součástí plochou ohřevačů využity jejich plný výkon.

Tabulka 2.6 – bilance VZT

	Jedn.	Galvanovna I	Galvanovna II	Přístavek
Přivádění množství vzduchu	M <sup>3</sup> /hod	80200	95000	23260
Výměna vzduchu	X/hod	17,5	15,5	21-39
Sací ventilátor	M <sup>3</sup> /hod	80/200	47500	
Ohřevač vzduchu	kW	1075	2x638	373
Množství ods. vzduchu	M <sup>3</sup> /hod	88200	105550	25850

### 2.3.5 Údaje o plynových spotřebičích

Tabulka 2.7 – Plynové spotřebiče a jejich spotřeba plynu

Provozní část	Plynový spotřebič	ks	Spotřeba plynu [m <sup>3</sup> /hod]
Kotelna	Parní vyvíječ G500	1	44
	Parní vyvíječ Certuss 500	1	36,4
Laboratoř	Pl. topidlo Beta 3	3	1,8
Galvanovna I	Teplovzdušné soupravy Accoroni MEC 35	2	7,2
Sklady	Teplovzdušné soupravy Accoroni MEC 25	3	8,4
	Pl. topidlo Beta 3	1	0,6
	Pl. topidlo Beta 4	1	0,7
Šatny a kanceláře	Teplovzdušné soupravy Accoroni WR 10	1	1,4
	PK Buderus 73 kW	1	7,0
	Ohř. ř. TUV Quadrica Q6-79 kW	1	7,6
	Teplovzdušné soupravy Accoroni MEC 35	2	7,2
	Teplovzdušné soupravy Accoroni MEC 25	1	2,4
<b>Celkem</b>			<b>124,7</b>

## 2.4 Zhodnocení výchozího stavu

### 2.4.1 Energetická bilance

Spotřeba plynu je měřena jako celkový odběr pro technologii, vytápění, ohřev TUV a vzduchotechniku.

Provozní dílny jsou vytápěny (temperovány) jen v době mimo provoz. V době provozu je pro vytápění využito tepla z galvanických chlazení.

Tabulka 2.8 – Vyhodnocení spotřeby energie

Objekt	Spotřeba tepla [GJ/rok]
Vzduchotechnika	7371
Technologie	5067
Vytápění	1867
Ohřev TUV	245
Ztráty	924
Celková spotřeba energie	15410 GJ

### 2.4.2 Zhodnocení energetického zdroje

V provozu jsou v současné době dva parní vyvíječe, které jsou vytíženy na 100% výkonu v zimních měsících. V létě se používá jen jeden parní vyvíječ pro technologii. Součástí této technologie je i úprava vody. Kvalita páry závisí na údržbě a provozu této úpravně. Kondenzát se vrací asi z 90%.

Obr. 2.4 – Technologická linka 1



## 2.5 Údaje o tepelně technických vlastnostech konstrukcí budovy

### 2.5.1 Geometrické údaje o vytápěných objektech

Tabulka 2.9 – geometrické údaje o vytápěných objektech

Výrobní budova		
Stavební soustava: Žbt. Konstrukce + cihel. vyzdívka		
Zastavěná plocha	m <sup>2</sup>	3251,3
Vytápěná plocha	m <sup>2</sup>	3261,3
Obestavěný objem	m <sup>3</sup>	29262
Délka	m	61,0
Šířka	m	53,3
Výška	m	9,0

### 2.5.2 Popis skladby stavebních konstrukcí

- **Nosná konstrukce:** Železobetonová konstrukce obezpečená cihelným zdivem vtl. 250mm.
- **Vodorovné konstrukce:** Podlahy jsou tvořeny železobetonovou konstrukcí bez tepelné izolace.
- **Střecha:** Zastřešení vazníky ocelové nebo železobetonové provedení.
- **Okenní otvory:** Okna administrativní části ocelová zdvojená. Okna výrobní části kovová s jednoduchým zasklením nebo drátosklem. Světlíky – zasklení jednoduchým sklem.
- **Vstupní dveře, vrata:** Vrata a dveře jsou ocelové jednoduché nebo částečně zateplené

Tabulka 2.10 – Součinitel prostupu tepla konstrukce

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla $\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]
Cihelné zdivo tl. 250mm	1,9
Podlaha I. N.P.	1,8
Střecha dílen	0,92
Střecha kalcovná pilovitá – rovná část	0,92
Světlík – drátosklo	3,5
Okno ocelové zdvojené	3,2
Okno ocelové jednoduché	5,5
Dveře dřevěné	2,7
Vrata ocelová	5,5

### **3. Návrh opatření pro optimalizaci energetické účinnosti galvanovny.**

#### **3.1 Návrh jednotlivých opatření:**

- Opatření pro snížení tepelných ztrát konstrukčními částmi budovy.
- Návrh vzduchotechnického zařízení
- Návrh tepelného výměníku.

#### **3.2 Předběžné shrnutí uvažovaných opatření**

##### **Snížení tepelné účinnosti budovy**

Tato varianta předpokládá výměnu oken a světlíků za nová, protože dosavadní zařízením je podle normy ČSN 73 0540-2 nevyhovující. Dále se bude uvažovat zateplení vnější zdi z důvodu snížení tepelných ztrát.

##### **Návrh vzduchotechnického zařízení**

Stávající strojovny budou nahrazeny novými jednotkami i s rekuperačním zařízením. Důvodem je úspora tepelné energie, která se získá využitím odpadního vzduchu v rekuperační jednotce. Dále je nutno posoudit prostředí, ve kterém bude toto zařízením provozováno.

##### **Návrh tepelného výměníku**

V této variantě budou navrženy dva tepelné výměníky:

- trubkový výměník s prouděním
- výměník s prouděním s šebrovými trubkami

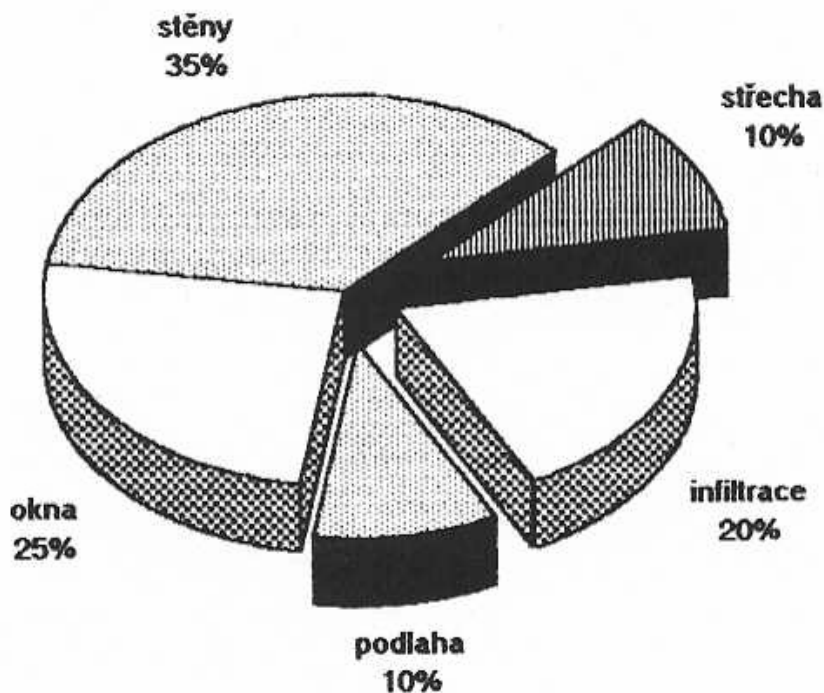
Výměníky budou navrženy pro situaci, kdy je potřeba předehřát vodu před vstupem do parních vývíječů z důvodu úspory energie při ohřívání vody. Přestup tepla bude realizován mezi vodou a odpadními palinami proudícími z parních vývíječů.

## 4. Úsporná opatření stavební konstrukce

V této kapitole se budou věnovat možnostem zlepšení tepelně technických vlastností budovy. V tabulce 4.1 jsou uvedeny hodnoty průstupů tepla jednotlivých stavebních konstrukcí. Je zřejmé, že některé z uvedených hodnot neodpovídají normě ČSN 730540-2. Tato situace lze zlepšit vnějším zateplením objektu, výměnou světlíků z drátoskla a ocelovýchoken.

Tabulka 4.1 – Součinitel prostupu tepla konstrukce

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla $\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]
Cihelná zdivotl. 250mm	1,9
Podlaha 1. N.P.	1,8
Střecha dílenná	0,92
Střecha kalcovná pilovitá – rovná část	0,92
Světlík – drátosklo	3,5
Okno ocelové zdvojené	3,2
Okno ocelové jednoduché	5,5
Dveře dřevěné	2,7
Vrata ocelová	5,5



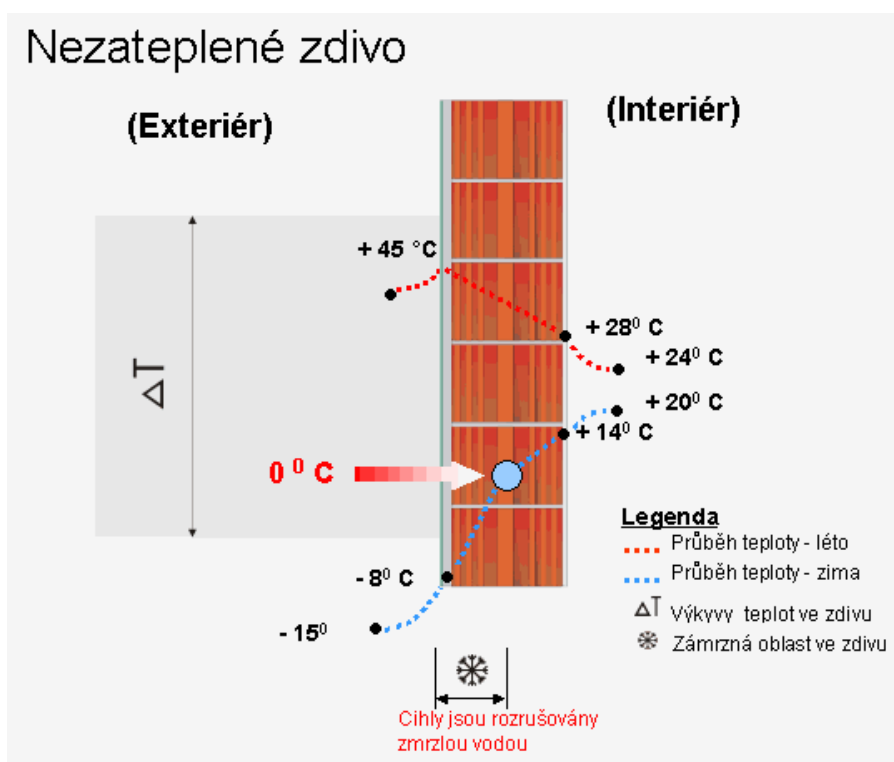
Graf.1 – Zobrazuje typické rozložení tepelných ztrát (www.ciur.cz)

#### 4.1 Zateplení obvodových stěn

Lze budovu zateplit buď z **vnější** nebo **vnitřní strany**. V našem případě použijeme zateplení z vnější strany. Vnitřní zateplení je vhodné použít jen v případě, jedná-li se o objekt, který není možné zateplit z vnější strany.

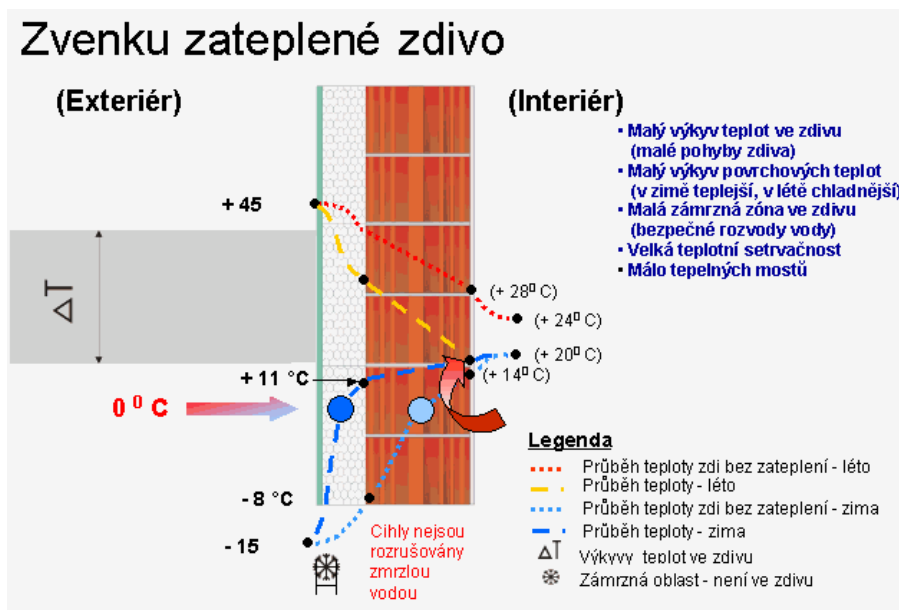
#### Vnější zateplení obvodových stěn budovy

Dobře tepelně izolovat objekt není v českých podmínkách zatím jednoduché. Jedním z nejčastěji používaných způsobů zateplování budov je systém **ETICS** - vnější kontaktní zateplovací systém. Je to vnější tepelně izolační kompozitní systém, který je složen z průmyslově zhotovených výrobků a je výrobcem dodáván jako ucelený systém. Na obr. 4.1 a obr. 4.2 jsou schémata zdiva se zateplením a bez zateplení.



Obr. 4.1 - Schéma zdiva bez zateplení (<http://www.eurotherm-cz.cz>)





Obr.4.2-Schéma zdiva se zateplením (<http://www.eu-rotherm-cz.cz>)

Materiály pro tepelnou izolaci a jejich ceny jsou uvedeny v tab. 4.2. Ceny jsou uvedeny pro tloušťku 80 mm. Tloušťka se pohybuje od 10 do 120 mm. Ceny jsou uvedeny podle firmy Nejlevnější Izolace kedni 8.4.2009.

Tab. 4.2 - Materiál cenou pro tepelnou izolaci obvodových stěn

Tepelný materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m*K]	Cena za m <sup>2</sup>
Kamenná vlna (minerální plst)	0,039–0,042	238,-
Minerální plst ORSIL	0,039–0,042	295,-
Polystyrénové desky	0,042	104,-

I když by zateplení zdiva a střechy bylo zapotřebí v rámci úspor energie, nebude se provádět, neboť náklady by byly příliš vysoké a nenávratné.



Obr. 4.3 - Minerální plst



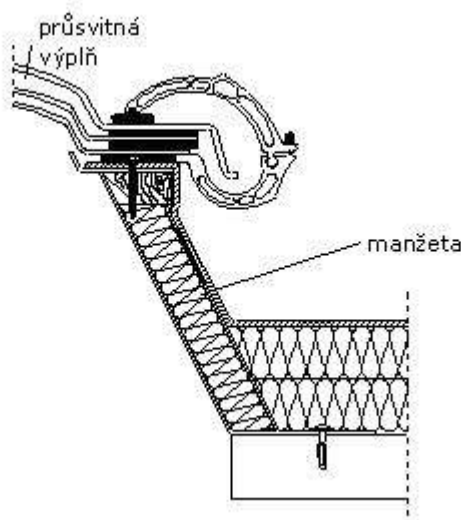
Obr. 4.4

- Polystyrénové desky

#### 4.2 Výměna světlíků:

Nastřeše galvanovny se nachází 2 světlíky z drátoskla o celkové rozloze 190 m<sup>2</sup>. Tyto světlíky jsou již zastaralé a mají nevyhovující vlastnosti. Proto je uvažováno o jejich výměně za modernější. Jedná se o světlíky tzv. „pásové“. Pásové světlíky mají mnohem větší délku jak šířku a mohou být složeny ze samostatných desek nebo z dílů za studena přunutých desek nesených oblokovými žebry.

Podle článku na webové stránce <http://tipy-navody.estrechy.cz> od autora ing. Stanislava Jandy se světlíky v dnešní době připevňují zpravidla pomocí manžet, které plní funkci připevnění výplně a její vyvýšení nad líc střechy a zároveň řešení tepelné prostupnosti celého komplexu.



Obr. 4.5 - Schéma připevnění světlíku (<http://tipy-navody.estrechy.cz/i-svetliky.html>)

Materiálem v dnešní době jsou průsvitné nebo průhledné polymery, které se vyznačují různými optickými, mechanickými a požárními vlastnostmi.

Hlavní funkcí světlíku je **přivedení světla** do interiéru shora a **větrání**. Další takovou funkcí je oddělení interiéru od vnějších podmínek.



Obr. 4.6 - pásový systém světlíků polymerů ([www.sepmoravia.cz](http://www.sepmoravia.cz))

Cena výměny svislého číselní:  $5200 \text{ Kč/m}^2$  spracování.  
Součinitel prostupu tepla  $U_N = 1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Tato hodnota splňuje normu ČSN 0540-2

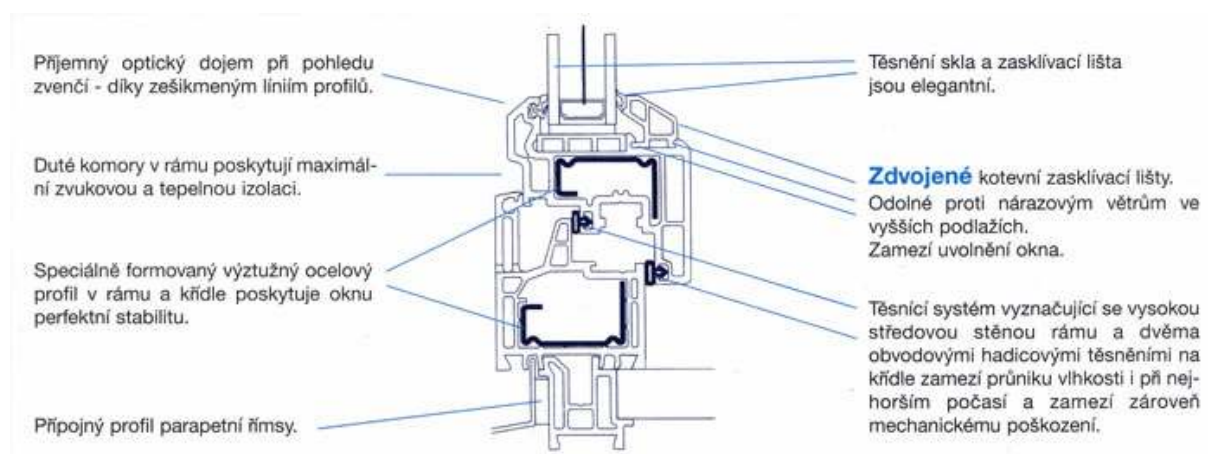
#### 4.3 Výměna oken

V objektu galvanovny je celkem  $480 \text{ m}^2$  zasklených ploch. Tutoplochu tvoří dva druhy oken:

- Okno ocelové zdvojené se součinitelem prostupu tepla  $U_N = 3,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Okno ocelové jednoduché se součinitelem prostupu tepla  $U_N = 5,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Tyto hodnoty nevyhovují požadavkům stanoveným v normě ČSN 73 0540-2, podle které by hodnota prostupu tepla neměla přesáhnout hodnotu  $1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Z těchto důvodů navrhuji výměnu oken za nová, která by vyhověla požadavkům dané normy. Uvažuji okna plastová s tříkomorovým profilovým systémem. Výhodou těchto oken je výborná tepelná a zvuková izolace. Pokud se okna nainstalují správně, dojde k velké úspoře energie a hladině hluků až o 50%.



Obr. 4.7- Řez oknem setříkomorovým systémem ([www.plastovaokna.brno.cz](http://www.plastovaokna.brno.cz))

Investiční náklad na výměnu oken činí přibližně  $4500 \text{ Kč/m}^2$   
Součinitel prostupu tepla  $U_N = 1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Tato hodnota již vyhovuje požadavkům dané normy.

#### 4.4 Výpočetové hodnoty – p úvodní stav

Výpočet tepelných ztrát je zpracován podle normy ČSN 060210  
Koeficienty řestup teplot vychází z normy ČSN 730540-3  
Přesnost výpočtu tepelných ztrát je zpracována dle stupně doložené dokumentací.  
Pro zjednodušení výpočtu uvažují následující opatření.

Okna: Celková zasklená plocha činí 480 m<sup>2</sup> – tuto plochu tvoří 2 druhy oken. Není znám přesný poměr oken, proto se uvažoval poměr:

- Okna jednoduchá představují 60% celkové zasklené plochy => 288 m<sup>2</sup>
- Okna zdvojená představují 40% celkové zasklené plochy => 192 m<sup>2</sup>

Dále uvažují rovnoměrné rozložení obsahu oken a každé okno.

- OZ1 = 96 m<sup>2</sup>
- OZ2 = 144 m<sup>2</sup>

SO – stěna ochlazovaná – cihelná zdivotl. 250 mm

- vnější omítka – perlitová, d = 0,01 m, λ = 0,11 W · m<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>
- zdivo – cihlatl 250 mm, d = 0,25, λ = 1,9 W · m<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>
- vnitřní omítka – perlitová, d = 0,07 m, λ = 0,11 W · m<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>

Podrobný výpočet součinitele prostupu tepla U [W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>]:

$$R = R_e + R + R_i \qquad R_e = \frac{1}{\alpha_e} + R + \frac{1}{\alpha_i} \qquad U = \frac{1}{R_e}$$

$$R = \sum \frac{d}{\lambda} \qquad R_e = \frac{1}{23} + 0,859 + \frac{1}{8} \qquad U = \frac{1}{1,024}$$

$$R = \frac{0,01}{0,11} + \frac{0,25}{1,9} + \frac{0,07}{0,11} \qquad R_e = 0,04 + 0,859 + 0,125 \qquad U = \underline{\underline{0,977 \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}}$$

$$R = \underline{\underline{0,859 \text{ W}^{-1} \cdot m^2 \cdot K}} \qquad R_e = \underline{\underline{1,024 \text{ W}^{-1} \cdot m^2 \cdot K}}$$

- součinitel řestupu tepla vnější (zimní období) α<sub>e</sub> = 23

- součinitel řestupu tepla vnitřní (svislá konstrukce) α<sub>i</sub> = 8

- OZ1 – okna ocelová zdvojená – U = 3,2 W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>

- OZ2 – okna ocelová jednoduchá – U = 5,5 W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>

- DO – dveře ochlazované, dřevěné – U = 2,7 W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>

- VR – vrata ocelová, ocelová jednoduchá nebo částečně zateplená  
U = 5,5 W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>

- SV – světelné drátosklo – U = 3,5 W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>

-Pd1-železobetonová konstrukce bez izolace = 0,45m-  $U = 1,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

-Sch1-střešní římsy v azbestocementovém nebo železobetonovém provedení  
d=0,8m-  $U = 0,92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

-Sch3-střešní římsy v pilovitě vazných azbestocementových nebo železobetonových provedení d=0,8m-  
 $U = 0,92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

-Ostatní výpočtová hodnota: venkovní teplota  $t_e = -15$   
vnitřní teplota,  $t_i = 20^\circ\text{C}$  (nevytápěná)  
B – charakteristické číslo budovy – nechráněná – B = 12  
M – charakteristické číslo místnosti – netěsně bez prahu – dveře – viz sumai \* L  
 $\Delta t = 35$  stupňů  
p1 – 0 vytápěná  
p2 – 0  
p3 – 0,1 sever

#### 4.5 Výpočtová hodnota – nové řešení – zateplení + výměna oken

-SO – střešní ochlazená – cihelná zdivotl. 250mm + izolace z polystyrenových desek

Skladba: vnější omítka – Porotherm perlitová, d=0,01m,  $\lambda = 0,11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

-izolace – polystyrenové desky, d=0,05m,  $\lambda = 0,043 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

-zdivo – cihlatl-250mm, d=0,25,  $\lambda = 1,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

-vnitřní omítka – perlitová, d=0,07m,  $\lambda = 0,11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Podrobný výpočet součinitele prostupu tepla  $K [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ :

$$R = R_e + R + R_i \quad R_e = \frac{1}{\alpha_e} + R + \frac{1}{\alpha_i} \quad U = \frac{1}{R_e}$$

$$R = \sum \frac{d}{\lambda} \quad R_e = \frac{1}{23} + 2,02 + \frac{1}{8} \quad U = \frac{1}{2,185}$$

$$R = \frac{0,01}{0,11} + \frac{0,25}{1,9} + \frac{0,07}{0,11} + \frac{0,05}{0,043} \quad R_e = 0,04 + 2,02 + 0,125 \quad U = 0,46 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$R = 2,02 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} \quad R_e = 2,185 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

-součinitel prostupu tepla vnější  $\alpha_e = 23$

-součinitel prostupu tepla vnitřní  $\alpha_i = 8$

-OZ – okna zdvojená – plastová actual,  $U = 1,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

-DO – dveře ochlazené, dřevěné,  $U = 2,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

-VR – vrata ocelová, ocelová jednoduchá nebo částečně zateplená  
 $U = 5,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

-SV – svahy s hliníkovou konstrukcí pokryté polykarbonátovou (PC) deskou  
dutinkovou UV stabilizací,  $U = 1,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

-Pd1-železobetonová konstrukce bez izolace = 0,45m-  $U = \underline{\underline{1,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}}$

-Sch1-střešní izolace - vazníky v ocelovém nebo železobetonovém provedení  
d=0,8m-  $U = \underline{\underline{0,92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}}$

-Sch3-střešní izolace - vazníky v ocelovém nebo železobetonovém provedení d=0,8m-  
 $U = \underline{\underline{0,92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}}$

postup výpočtu je shodný jako v případě ředešlého výpočtu  $\Rightarrow U = \underline{\underline{0,46 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}}$

-Ostatní výpočtové hodnoty: venkovní teplota  $t_e = -15$

vnitřní teplota,  $t_i = 20^\circ\text{C}$  (nevytápěné)

B - charakteristické číslo budovy - nechráněná - B=12

M - charakteristické číslo místnosti - netěsně bez prahu - dveře - viz sumai \* L

$\Delta t = 35$  stupňů

p1 - 0 nevytápěno

p2 - 0

p3 - 0,1 sever

Tab. 4.3 – tabulka vypočtených tepelných ztrát pro halu v puvodním stavu a pro halu se zateplením

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	# #	17	
Označení stěny	Tloušťka	Plocha stěny				Základní tepelná ztráta						Přirážky			Celková tepelná ztráta W	
		Délka	Šířka nebo výška	Plocha	Počet otvorů	Plocha otvorů	Plocha bez otvorů	Součinitel prostupu U	Rozdíl teplot Δt	U · Δt	Tepelná ztráta Q <sub>0</sub>	Navyrovnaní vlivu chladných stěn	Navyrovnaní vlivu zátopy	Navyrovnaní vlivu stran		1+p <sub>1</sub> +p <sub>2</sub> +p <sub>3</sub>
cm	m	m	m	m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	K	Wm <sup>-2</sup>	W	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	p <sub>3</sub>		
Hal galvanovny-t <sub>i</sub> =20°C, V=29262m <sup>3</sup> -p uvodní stav																
SO1	25	53,3	9	480	1	0	240	0,977	35	34,2	8197					
SO2	25	61	9	549	1	0	309	0,977	35	34,2	10566					
SO3	25	53,3	9	480	1	0	240	0,977	35	34,2	8196,5					
SO4	25	61	9	549	1	0	309	0,977	35	34,2	10566					
OZ1	0	0	0	192	1	192	0	3,2	35	112	0					
OZ2	0	0	0	288	1	288	0	5,5	35	193	0					
VR	0	0	0	30	1	30	0	5,5	35	193	0					
SV	0	0	0	190	1	190	0	3,5	35	123	0					
DO	0	0,8	2	1,58	1	1,58	0	2,7	35	94,5	0				Q <sub>p</sub> =	149352
SCh1	80	26,7	31	813	1	95	718	0,92	35	32,2	23114					
SCh3	80	26,7	31	813	1	95	718	0,92	35	32,2	23114					
Pdl	45	53,3	61	3251	0	0	3251	1,6	10	16	52021				Q <sub>v</sub> =	3292,9
											135774	0	0	0	1	<b>152645</b>
ΣS=SO1+SO2+SO3+SO4+SCh1+SCh2+Pdl										6934	m <sup>2</sup>					
Q <sub>v</sub> =1300·Σ(i·l)·B·M·Δt=										3293	W	K <sub>c</sub> =	0,56			
Hal galvanovny-t <sub>i</sub> =20°C, V=29262m <sup>3</sup> -zateplení+vým ěnaoken																
SO1	25	53,3	9	480	1	0	240	0,46	35	16,1	3859,2					
SO2	25	61	9	549	1	0	309	0,46	35	16,1	4974,9					
SO3	25	53,3	9	480	1	0	240	0,46	35	16,1	3859,2					
SO4	25	61	9	549	1	0	309	0,46	35	16,1	4974,9					
OZ	0	0	0	192	1	192	0	1,1	35	38,5	0					
VR	0	0	0	30	1	30	0	5,5	35	193	0					
SV	0	0	0	190	1	190	0	1,1	35	38,5	0					
DO	0	0,8	2	1,58	1	1,58	0	3,5	35	123	0				Q <sub>p</sub> =	127509
SCh1	80	26,7	31	813	1	95	718	0,92	35	32,2	23114					
SCh3	80	26,7	31	813	1	95	718	0,92	35	32,2	23114					
Pdl	45	53,3	61	3251	0	0	3251	1,6	10	16	52021				Q <sub>v</sub> =	2821
											115917	0	0	0	1	<b>130329,557</b>
ΣS=SO1+SO2+SO3+SO4+SCh1+SCh2+Pdl										6934	m <sup>2</sup>					
Q <sub>v</sub> =1300·Σ(i·l)·B·M·Δt=										2821	W	K <sub>c</sub> =	0,48			

$$K_c = \frac{Q_{oj}}{\sum S \cdot \Delta t}$$

$$K_c = \frac{Q_{oj}}{\sum S \cdot \Delta t}$$

### Příklad výpočtu tepelných ztrát pro úvodní stav výrobní haly.

Tepelná ztráta  $Q_0$  pro obvodovou stěnu 1 (OS1)

$$Q_0 = S_i \cdot U \cdot \Delta t = 240 \cdot 0,977 \cdot 35 = 8197 \text{ W} \quad (4.1)$$

$S_i$  – plocha bez otvorů pro danou část  
 $U$  – součinitel prostupu tepla  
 $\Delta t$  – rozdíl venkovní a vnitřní teploty

Obdobně se počítají další stavební části.

Součet celkových ploch:

$$\Sigma S = S_{O1} + S_{O2} + S_{O3} + S_{O4} + S_{Ch1} + S_{Ch2} + P_{dl} = 2 \cdot 480 + 2 \cdot 549 + 2 \cdot 813 + 3251 = 6934 \text{ m}^2$$

Výpočet celkového koeficientu prostupu tepla:

$$K_c = \frac{Q_{ef}}{\Sigma S \cdot \Delta t} = \frac{135774}{6934 \cdot 35} = 0,56 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (4.2)$$

$Q_{ef}$  – součet tepelných ztrát

Stanovení hodnoty  $Q_p$ :

$$Q_p = Q_{ef} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 135774 \cdot (1 + 0 + 0 + 0,1) = 149351,4 \text{ W} \quad (4.3)$$

Stanovení hodnoty  $Q_v$ :

$$Q_v = 1300 \cdot \Sigma(i \cdot l) \cdot B \cdot M \cdot \Delta t = 1300 \cdot (0,00126 \cdot 0,7 \cdot 12 \cdot 35 + 0,00171 \cdot 0,7 \cdot 12 \cdot 35 + 0,00216 \cdot 0,7 \cdot 12 \cdot 35 + 0,007922 \cdot 0,4 \cdot 12 \cdot 35) = 3292,9 \text{ W} \Rightarrow 3293 \text{ W} \quad (4.4)$$

Výsledná tepelná ztráta bez zateplení se pak spočítá:

$$Q_c = Q_v + Q_p = 3293 + 149351 = 152645 \text{ W}$$

Z uvedených výpočtů vyplývá, že zateplením budovy a výměnou oken a světlíků se zlepšila tepelná ztráta budovy přibližně 14,62%.

#### 4.6 Investiční náklady na provedení stavebních úprav

V této podkapitole budou uvedeny ceny uvažovaných materiálů a prací, které jsou stanoveny k datu 20.4.2009 a celkové náklady na provedení uvažovaných stavebních úprav.



#### a) zateplení vnějších stěn

Cena materiálu práce činí přibližně **1900,-Kč/m<sup>2</sup>**.

Plocha ústředního zateplení činí přibližně **1580m<sup>2</sup>**.

Celkové náklady na zateplení:  $1900 \cdot 1580 = 3002000,-Kč$ .

#### b) výměna vstříků

Cena materiálu práce činí přibližně **5200,-Kč/m<sup>2</sup>**.

Celková plocha vstříků je přibližně rovna **190m<sup>2</sup>**.

Celkové náklady na výměnu vstříků:  $5200 \cdot 190 = 988000,-Kč$ .

#### c) výměna oken

Cena materiálu práce činí přibližně **4500,-Kč/m<sup>2</sup>**.

Celková plocha oken je přibližně rovna **480m<sup>2</sup>**.

Celkové náklady na výměnu oken:  $4500 \cdot 480 = 2160000,-Kč$ .

Celkové náklady na úsporná opatření tedy vycházejí: **6150000,-Kč**.

### 4.7 Stanovení celkových nákladů a úspor

Zde se budu zabývat celkovým zhodnocením nákladů a úspor, které přinesou stavební úpravy. Vycházím z předpokladů, že řízení, které se nachází v hale Galvanovny.

V objektu je vytápění pouze administrativní část budovy. Ostatní části vytápění nejsou. To vede ke zhoršení návratnosti celé investice. Celková spotřeba tepelné energie činí za rok 2008 **13440GJ**. Z této hodnoty je pouze **1494GJ** použito na vytápění, zbytek tepla slouží na technologii a VZT.

Za rok 2008 činí průměrná cena za jeden GJ přibližně částku **307,-Kč**.

Vytápění tedy stojí ročně:  $307 \cdot 1494 = 458658,-Kč$ .

Tepelná ztráta budovy bez stavebních úprav je 152645W. To znamená, že za rok činí tepelná ztráta:  $152645 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 229 = 3020GJ$ .

Hodnota 229 představuje počet dní útopného období pro Vyškovsko.

Jak je z výše uvedeného patrné, je tepelná ztráta budovy vyšší, než je hodnota tepla určená pro vytápění. Je to dáno tím, že se vytápí jen část budovy. Zbytek je vyhoříván odpadním teplem z lázní. Toto teplo by se však dalo využít pomocí rekuperační jednotky na předehřev teplého vzduchu, proto budu počítat dále shodnotou 3020 GJ jako celkovou tepelnou ztrátou.

Po finanční stránce vychází roční deficit ve výši  $3020 \cdot 307 = 927140,-Kč$ .

Tepelná ztráta budovy sestaveními úpravami je 130329,557 W. To znamená, že z roku  
činí  $130329,557 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 229 = 2579 \text{ GJ}$ .

Po finanční stránce vychází roční deficit ve výši  $2579 \cdot 307 = 791753, -\text{K č.}$

Zvýše uvedených údajů vychází, že celková tepelná ztráta klesne o **441 GJ**. To  
znamená, že se z roku ušetří **135387, -K č.**

#### 4.8 Ekonomické hodnocení a posouzení návratnosti investice.

##### Ekonomické hodnocení – vstupy

- celková nákladná investice  $N_i = 6150000, -\text{K č.}$
- úspora energie z roku  $CF = 135387, -\text{K č.}$
- diskontní sazba  $d = 0,75\%$
- doba hodnocení projektu  $T_j = 15 \text{ let}$

Diskontní sazba d<sub>podle ČNB</sub> k datu 22.10.2009 činí 0,75%.

Diskontovaný tok peněz v j - tém roce. Vzorec je jen v obecném tvaru. Pro příklad  
uvádíme výpočet v roce 1. Zbývající hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.4

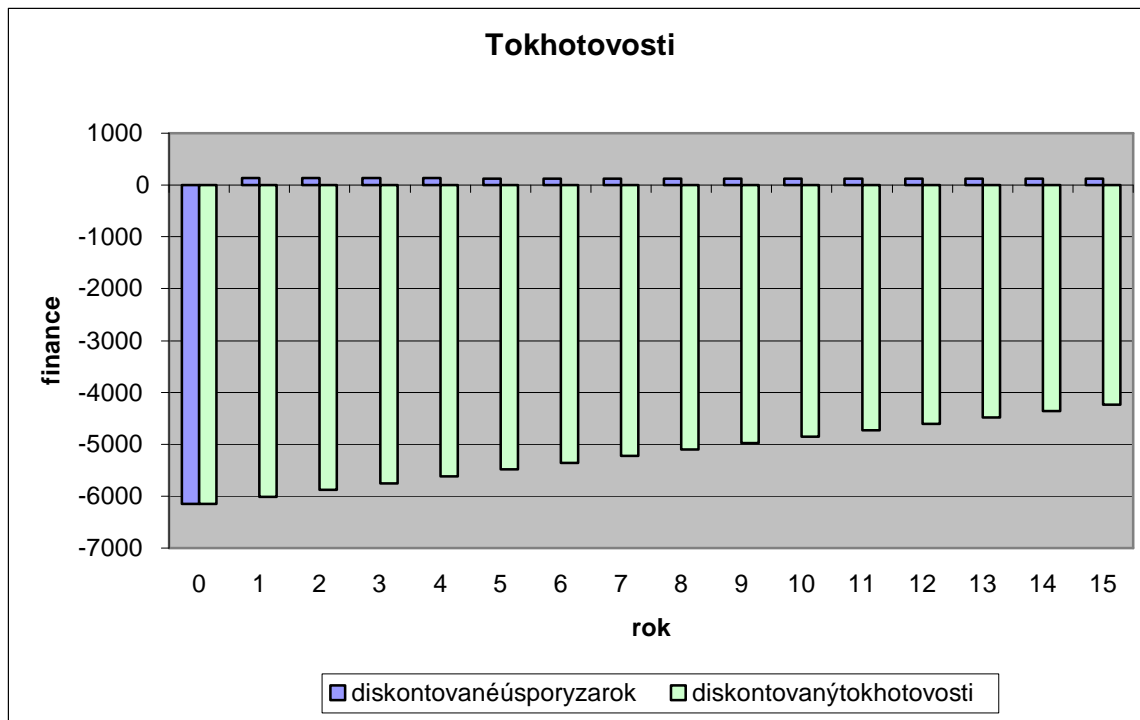
$$DCF_j = DCF_{(j-1)} + CF(1+d)^{-j} \quad (4.6)$$

$$DCF_1 = DCF_{(1-0)} + CF(1+d)^{-1} = -6150 + 135,3 \cdot (1+0,0075)^{-1} = -6016 \text{ Kč}$$

Tab. 4.4 - Hodnoty DFC pro jednotlivé roky

Rok	CF [K č]	CF(1+d) <sup>j</sup> [K č]	DCF <sub>j</sub> [Kč]
0	-6150	-6150	-6150
1	135,3	134,2928	-6016
2	135,3	133,29311	-5882
3	135,3	132,30085	-5750
4	135,3	131,31598	-5619
5	135,3	130,33844	-5488
6	135,3	129,36818	-5359
7	135,3	128,40514	-5231
8	135,3	127,44927	-5103
9	135,3	126,50052	-4977
10	135,3	125,55883	-4851
11	135,3	124,62415	-4727
12	135,3	123,69642	-4603
13	135,3	122,77561	-4480
14	135,3	121,86164	-4358
15	135,3	120,95448	-4237

Graf. 2 - Diskontovaný průběh ročních úspor a diskontované hotovosti DCF



**Doba splatnosti bez uvažování časové hodnoty peněz:**

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{6150000}{135387} = 45,42 \text{ let} \quad (4.7)$$

**Doba splatnosti s uvažováním časové hodnoty peněz:**

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 45,42 \cdot 0,0075}}{\ln(1 + 0,0075)} = 55,74 \text{ let} \quad (4.8)$$

**Vnitřní výnosné procento:**

$$N_i - \sum_{j=0}^{T_s} CF \cdot (1 + d)^{-j} = 0 \quad (4.9)$$

d<sub>1</sub> volím 0,1

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{[(1 + d)^{T_s} - 1]}{(1 + d)^{T_s}} = \frac{135300}{6150000} \cdot \frac{(1,1^{15} - 1)}{1,1^{15}} = 0,016$$

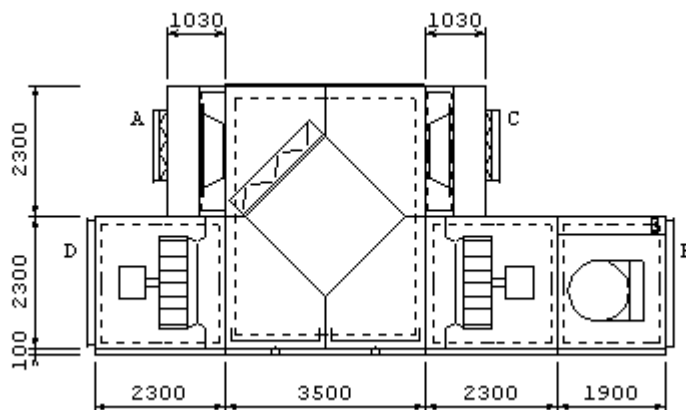
Pro provedení iterací číselný výpočet ukázal, že vnitřní výnosné procento vychází 9,1%.

## 5. Návrh VZT

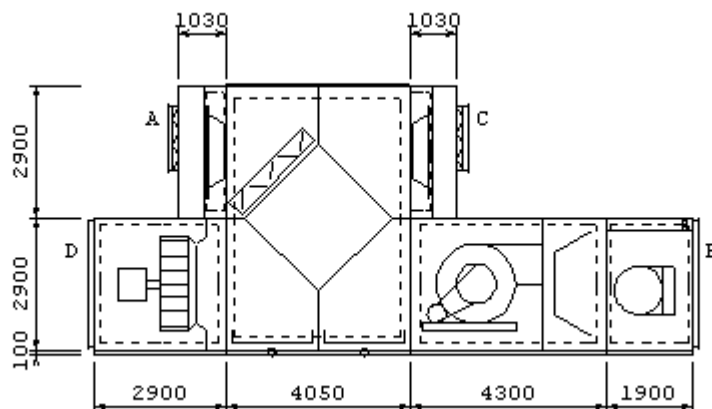
Tento způsob se zabývá náhradou současných strojoven za nové VZT jednotky. Návrh VZT jednotek byl proveden firmou C.I.C Hřebeč, který je zpracován včetně rekuperační jednotky, dodávky regulace a její montáže. V tab. 5.1 jsou uvedena jednotlivá technická zařízení.

Tab. 5.1 - navržená VZT za řízení

	Strojovna I	Strojovna II
Provoz	Galvanovna I	Galvanovna II
Velikost jednotek	H50	H80
Rozměry jednotek	10000x2300x4700mm	13150x2900x5900mm
Přívodní část		
Koncový panel		
Filtrační komora	Filtr G4-360	Filtr G4-360
Rekuperační komora desková	47500 m <sup>3</sup> /h	80200 m <sup>3</sup> /h
Tepelný zisk	363,2 kW	630,2 kW
Účinnost	66%	68%
Ventilátorová komora	RH10C Stahl	NTHZ1000T2
Ohřívací komora plynová	MTPV-300B	MTPV-400B
Spotřeba plynu	34,34 m <sup>3</sup> /h	52,85 m <sup>3</sup> /h
Výkon	302 kW	464,8 kW
Odvodní část		
Koncový panel		
Filtrační komora	Filtr G4-360	Filtr G4-360
Ventilátorová komora	RH10C Stahl	RH11C Stahl
Rekuperační komora desková	47500 m <sup>3</sup> /h	80200 m <sup>3</sup> /h



Obr. 5.1 - schéma jednotky H50 (C.I.C Hřebeč s.r.o)



Obr. 5.2 - schéma jednotky H80 (C.I.CH řebec s.r.o.)

Technické parametry a veličiny této jednotky jsou uvedeny v dodatku 1.

### 5.1 Náklad na realizaci:

Ceny vychází z podkladů firmy C.I.CH řebec s.r.o. platné ke dni 14.4.2009

Tab. 5.2 - Cenová nabídka jednotlivých položek

Položka - popis	Počet jednotek	Cena
VZT plynová jednotka H50	1	2181913
VZT plynová jednotka H80	1	3741095
Montáž VZT plynové jednotky	2	30000
Dodávka a montáž regulace a zregulování	2	400000
Zkouška, revize, předání do provozu	1	11000
Vzduchotechnika bez DPH		6364008
Vzduchotechnika s DPH 19%		7573170

### 5.2 Bilance energie před a po montáži VZT jednotek a finanční úspora

Jak už bylo řečeno v kapitole 2, není možné řízení samostatné pro jednotlivé odběry, vyhodnocení je provedeno odhadem. Provozní dílny jsou vytápěny jen v době mimo provoz a v provozu se využívá tepla z galvanických lázní. Celková spotřeba tepelné energie tedy činí **15410 GJ/rok**.

#### Přivádění množství vzduchu:

Galvanovna 1: 80200 m<sup>3</sup>/h

Galvanovna 2: 95000 m<sup>3</sup>/h

Celkové množství přiváděného vzduchu v př: 80200 + 95000 = 175200 m<sup>3</sup>/h =>

$$\Rightarrow \frac{175200}{3600} = 48,67 \text{ m}^3 / \text{s}$$

### Odváděnémnožstvívzduchu:

Galvanovna 1:  $88200 \text{ m}^3/\text{h}$

Galvanovna 2:  $105560 \text{ m}^3/\text{h}$

Celkové množství odváděného vzduchu v  $q_{\text{ods}}: 88200 + 105560 = 193760 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{193760}{3600} = 53,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

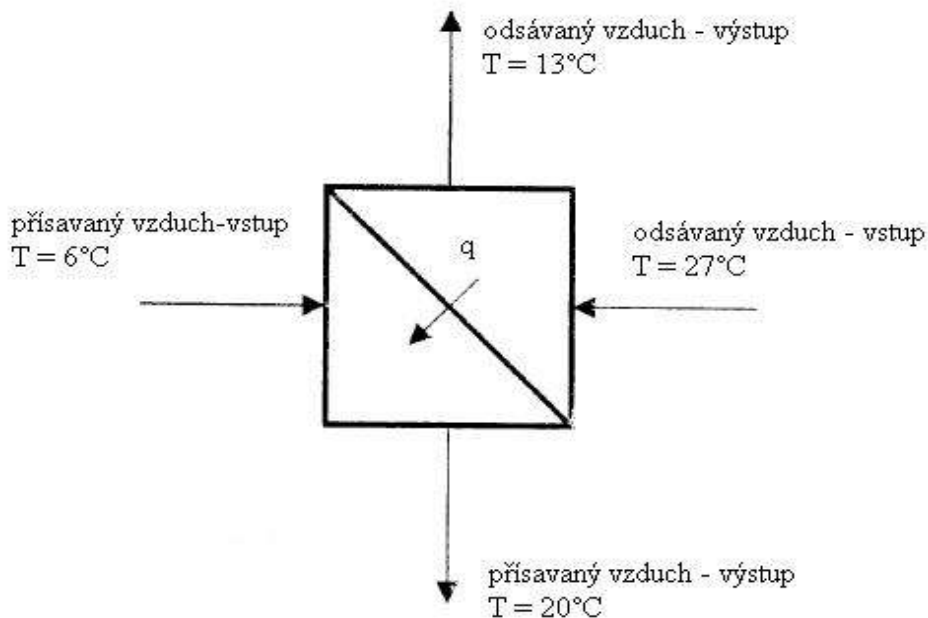
### Střední, vstupní a výstupní teploty:

Teplota řísaného vzduchu na vstup do rekuperační jednotky	$= 6^\circ\text{C}$
Teplota řísaného vzduchu na výstup z rekuperační jednotky	$= 20^\circ\text{C}$
Teplota odsávaného vzduchu na vstup do rekuperační jednotky	$= 27^\circ\text{C}$
Teplota odsávaného vzduchu na výstup z rekuperační jednotky	$= 13^\circ\text{C}$

Střední teplota řísaného vzduchu:  $\frac{20 + 6}{2} = 13^\circ\text{C}$

Střední teplota odsávaného vzduchu:  $\frac{27 + 13}{2} = 20^\circ\text{C}$

Obr. 5.3 - Tepelná bilance celkovým prouděním vzduchu v galvanovně



### Hustoty vzduchu pro zvolené parametry teploty vzduchu:

Průměrné hodnoty hustoty vzduchu jsou brány z tabulky hustota vzduchu z internetových stránek [www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm](http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm)

$$\begin{aligned} \text{Hustota p řisávaného vzduchu pro } 20^{\circ}\text{C: } \rho_1 &= 1,2047 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Hustota odsávaného vzduchu pro } 13^{\circ}\text{C: } \rho_2 &= 1,2364 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

### Výpočet hmotnostního proudu

Hmotnostní proud číže v tahu:

$$m_p = v \cdot \rho \text{ [kg/s]} \quad (5.1)$$

kde

- $v$  – m ěrný objem [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
- $\rho$  – hustota vzduchu [ $\text{kg/m}^3$ ]

Hmotnostní proud p řisávaného vzduchu:

$$m_{př.} = v_{př.} \cdot \rho_{př.} = 48,67 \cdot 1,2047 = 58,67 \text{ kg/s}$$

Hmotnostní proud odsávaného vzduchu:

$$m_{ods.} = v_{ods.} \cdot \rho_{ods.} = 53,82 \cdot 1,2364 = 66,54 \text{ kg/s}$$

### Výpočet množství tepla říveného a odvedeného z rekuperace činní jednotky

Množství tepla ve vzduchu se vypo čte podle vztahu:

$$Q_p = m_p \cdot c_p \cdot (t_v - t_m) \text{ [kW]} \quad (5.2)$$

kde

- $m_p$  = hmotnostní proud vzduchu [ $\text{kg/s}$ ]
- $c_p$  = m ěrná tepelná kapacita [ $\text{kJ/kgK}$ ] – ur čenaz [www.converter.cz](http://www.converter.cz) 1,01 [ $\text{kJ/kgK}$ ]
- $t_v$  = vyšší teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $t_m$  = nižší teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Množství tepla obsaženého p řisávaném vzduchu:

$$Q_{př.} = m_{př.} \cdot c_p \cdot (t_{vpř.} - t_{mpř.}) = 58,67 \cdot 1,01 \cdot (20 - 6) = 829,59 \text{ kW}$$

Množství tepla obsaženého v odsávaném vzduchu:

$$Q_{ods.} = m_{ods.} \cdot c_p \cdot (t_{vods.} - t_{nods.}) = 66,54 \cdot 1,01 \cdot (27 - 13) = 940,88 \text{ kW}$$

### Vyčíslení říveného a odvedeného množství tepla v GJ/rok

Přivedeného a odvedeného tepla se určí vztahem:

$$Q_{rok} = Q \cdot 0,0036 \cdot n \cdot i \text{ [GJ/rok]} \quad (5.3)$$

kde:

- Q – množství přisávaného a odsávaného tepla
- 0,0036 – převodní faktor z sekund na hodiny
- n – počet hodin přikterých je VZT v provozu = 8 hodin
- i – počet pracovních dnů v roce, za kterých je VZT v provozu = 250 dní

Množství přisávaného tepla ve vzduchu z arok:

$$Q_{rok.př.} = Q_{př.} \cdot 0,0036 \cdot n \cdot i = 829,59 \cdot 0,0036 \cdot 8 \cdot 250 = 5973,05 \text{ GJ / rok}$$

Množství odsávaného tepla ve vzduchu z arok:

$$Q_{rok.ods.} = Q_{ods.} \cdot 0,0036 \cdot n \cdot i = 940,88 \cdot 0,0036 \cdot 8 \cdot 250 = 6774,336 \text{ GJ / rok}$$

### Vyčíslení úspory energie v Kč

Úspora energie z arok činí podle předchozího výpočtu 5973,05 GJ/rok

Cena za 1 GJ činí 307 Kč.

Celková úspora tedy činí:  $Q_{ods.př.} \cdot 307 = 5973,05 \cdot 307 = 1833726,35 \text{ Kč}$  - budou uvažovat, že úspora činí 1 800 000,- Kč.



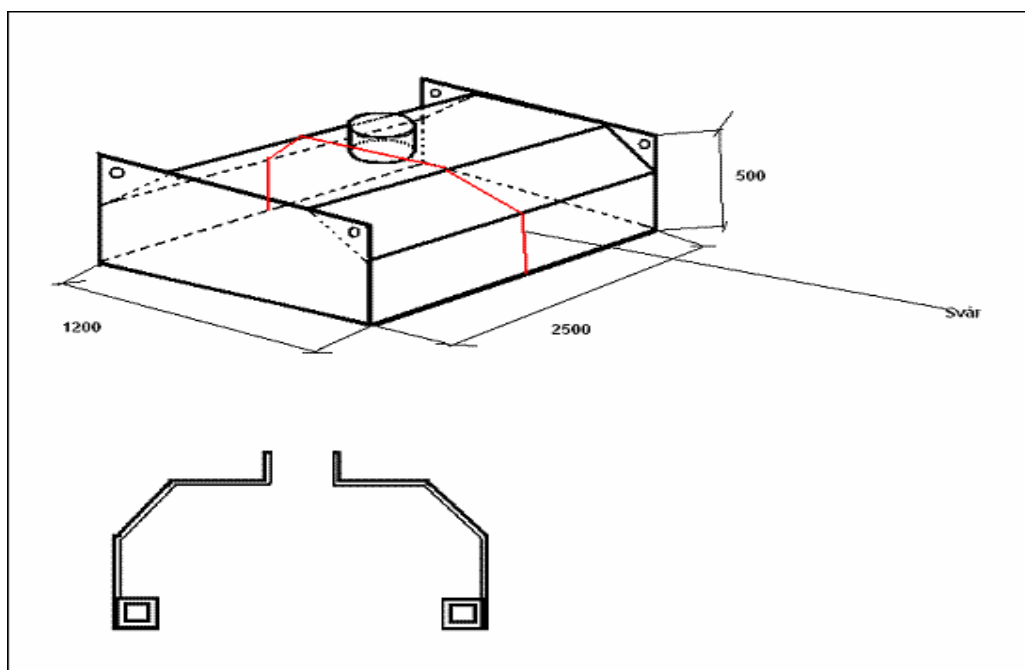
### 5.3 Zohlednění chemických teplotních složení lázní

V předchozí kapitole jsem uvedl, že galvanovna disponuje lázněmi o různém chemickém složení a teplotě. Pro některé lázně není možné použít klasické odsávání odpadního vzduchu, protože by mohlo dojít k poškození rekuperační jednotky vlivem působení nebezpečných látek. Z těchto důvodů jsem navrhl pro odsávání nebezpečných lázní jiné řešení.

Toto řešení spočívá v lokálním odsávání lázní, ze kterých se vypařují obzvláště nebezpečné výpary. Jedná se o lázně s kyselinou dusičnou  $\text{HNO}_3$ , kyselinou sírovou  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a kyselinou fosforečnou  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Odsávání by bylo realizováno odsávacím zákrytem, který by byl umístěn nad příslušnou vanou, ventilátorem a potrubím. Všechny tyto technické prvky musí být uzpůsobeny pro provoz chemikáliemi. Vývod odsávání by byl situován nad střešní halu galvanovny.

Odsávací zákryty jsou ve tvaru kvádru s kruhovým namontováním o průměru 250 mm.



Obr. 5.4 - odsávací zákryt od firmy Fortplast

Pro odsávání kyseliny  $\text{HNO}_3$  je použit materiál PVC a pro ostatní kyseliny je použit materiál PP a PE.

Cenovou nabídku zpracovala fy. Fort – plasty s.r.o., která se zabývá touto problematikou. Ceny jsou uvedeny v tab. 5.3.

Tab. 5.3 - kalkulace lokálních odsávacích zařízení.

Tech. údaje	Druhlázní						Cena celkem
	$HNO_3$		$H_2SO_4$		$H_3PO_4$		
Potrubí	ø250, 30% tvarovek	ø250, 30% tvarovek	ø250, 30% tvarovek	ø250, 30% tvarovek	ø250, 30% tvarovek	ø250, 30% tvarovek	
Materiál potrubí	PVC	PP	PP	PP	PP	PP	
Cena potrubí	11100,-	8150,-	8150,-	8150,-	8150,-	27400,-	
Rozměry zákrytu	1500x800x300	1500x800x300	1500x800x300	500x600x300	500x600x300	500x600x300	
Materiál zákrytu	PVC	PP	PP	PP	PP	PP	
Cena zákrytu	15735,-	12120,-	12120,-	8605,-	8605,-	36460,-	
Ventilátor	NV250V	EPND200-2	EPND200-2	EPND-2	EPND-2	EPND-2	
Odsávané množství vzduchu	1600 m <sup>3</sup> /h	1600 m <sup>3</sup> /h	1600 m <sup>3</sup> /h	1600 m <sup>3</sup> /h	1600 m <sup>3</sup> /h	1600 m <sup>3</sup> /h	
Cena ventilátorů	24815,-	19335,-	19335,-	19335,-	19335,-	63485,-	
Cena celkem bez DPH							127285,-
Cena s DPH							151469,-

Skříň ventilátoru EPND 200-2 jsou vyrobeny z PE-EL, oběžná kola z PP. Skříň a oběžné kolo ventilátoru NV jsou vyrobeny z PVC. Vzduchotechnické potrubí bude vyrobeno z částí z PVC a z částí z PP. Spojení bude napřířuby. Spojovací a těsnicí materiál jsou částí dodávky.

Ceny jsou uvedeny bez dopravy, montáže, závažového materiálu, kotvicího materiálu a balného. Je tedy nutno k tomu přičíst náklady na dopravu a montáž.



Obr. 5.5 - Ventilátor NV

250V ( [www.plastika.cz](http://www.plastika.cz) )

Vzhledem k tomu, že nemám dostatek informací o složení jednotlivých lázní a odsávaných výparů, není vyloučené, že podobné opatření bude nutné zavést také u dalších van. Toto opatření samozřejmě zvyšuje náklady a snižuje návratnost.

#### 5.4 Prostředí potenciální nebezpečí výbuchu

Podle článku na internetových stránkách [www.mmgroup.cz](http://www.mmgroup.cz) od autora ing. Martina Dostalíka je v prozvozech chemického, potravinářského a petrochemického průmyslu jejich provozním prostředím přítomna výbušná směs hořlavých plynů a par se vzduchem o takové koncentraci, že může dojít k zažehnutí řetězové reakce hoření, tzv. výbuchu. Je tedy nutné činit taková opatření, aby nedošlo k případné tragické události.

V současnosti existují 2 hlediska nahlížení na klasifikaci prostředí vzhledem k výbušnosti směsi.

Tab. 5.4 - Klasifikace prostředí nebezpečí výbuchu.

Evropské země	USA a Kanada
<b>Zóna 0</b> Prostor, ve kterém je výbušná směs plynů se vzduchem přítomna stále nebo se vyskytuje v dlouhých periodách	<b>Division 1</b> Nebezpečná koncentrace hořlavých plynů, par nebo výbušné směsi prachu je za běžného provozu přítomna trvale, přerušovaně nebo periodicky.
<b>Zóna 1</b> Prostor, ve kterém může vzniknout výbušná směs plynů se vzduchem za běžného provozu	<b>Division 2</b> Hořlavé kapaliny nebo plyny jsou přítomny, ale za běžných podmínek jsou uzavřeny v zásobnících nebo systémech, z kterých mohou uniknout pouze při výjimečných provozních situacích.
<b>Zóna 2</b> Prostor, ve kterém nemůže výbušná směs plynů se vzduchem za běžného provozu vzniknout nebo může vzniknout pouze na krátké období	

Bylo zjištěno, že existují 2 hlavní mechanismy vznícení výbušné směsi, buď jiskrou nebo horkým povrchem za řízení. Všechna certifikovaná elektrická zařízení nesou označení skupiny plynů a oblast použití, pro kterou získala osvědčení, a platí, že je-li systém bezpečný pro určitou skupinu, je rovněž bezpečný i pro všechny „méně nebezpečné“ skupiny. Je zajímavé, že neexistuje vztah mezi zápalností plynů jiskrou a horkým povrchem. Oba mechanismy jsou navzájem odlišné a nezávislé.

Existuje celá řada ochranných opatření, která by měla zabránit události, ale zde se jimi nebudu zabývat, protože to není předmětem mé diplomové práce.

Zmiňuji se zde o této problematice z důvodu, že kyselinové lázně mohou podle klasifikace výbušnosti uvedené v katalogu od firmy Fort-plasty, takové plyny produkovat. Všechny tyto vany se nacházejí v zóně 1. Je tedy potřeba při návrhu VZT pro galvanovnu se tímto problémem zabývat. Neznám přesné složení ostatních lázní a tudíž nemohu vyloučit vznik podobných výbušných směsí u některých z nich.

Tab.5.5-Cenovězhodnocenípotrubiatechnického p říslušenství.

Názevza řízení	Typza řízení rozměry	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Početkus ů	Cena/ks/m <sup>2</sup>	Cena/celkem [Kč]
Potrubídoobvodu	5600	409		3240	1325160
	4460	32		3240	103680
	4000	160		3240	518400
	3500	991		3240	3210840
	2630	637		3240	2063880
	1890	154		3240	498960
Výustkaodvodní	1025x325		25	3240	81000
Velkoobjemová výustka	VOVR315		24	8340	200160
	VOVR500		16	9520	152320
	VOVR560		24	11670	280080
Regulačníklapky	1250x1250		1	50328	50328
	1250x1000		1	40328	40328
	900x900		1	31360	31360
	900x800		6	26728	160368
	800x800		2	25360	50720
	800x710		1	23296	23296
	710x710		2	22192	44384
	500x630		3	16824	50424
Tlumičhluku	1000x1000x2000		4	116230	464920
Protipožární uzávěr	PSUM90600x815 TPM0600/99.40		26	16210	421460
Ventilátor	HCBT4-630		8	21465	171720
Ochrannám řížka	DEF-T		8	830	6640
Protidešť'ové žaluzie	IMOS-PZAL 1000x900-UR2.S		2	4761	9522
	IMOS-PZAL 1250x1250-UR2.S		2	7371	14742
<b>Celkovácena</b>					<b>9974740</b>
<b>Cenas19%DPH</b>					<b>11869940,6</b>

### 5.5 Finanční analýza potrubí a jeho příslušenství:

Cena jednotlivých položek potrubí je vyčíslena v tab. 5.5. Potrubí a jeho cena byly navrženy podle vypracované projektové dokumentace, která je uvedena v příloze.... Potrubí je navrženo z nerez oceli z důvodu chemického složení odsávaného vzduchu. V tabulce je uvedena dále cena a rozměry jednotlivých technických zařízení, které obsahují potrubní rozvody, včetně havarijního odsávání.

### 5.6 Ekonomická analýza navržené vzduchotechniky:

#### Celkové investiční náklady:

Tab. 5.6 - Celkové náklady na VZT

Technická zařízení	Celková cena s DPH
Vzduchotechnické jednotky	7573170
Lokální odsávací zařízení	151469
Cena potrubí a příslušenství	11869940,6
<b>Cena celkem</b>	<b>19594579,6</b>

Budou uvažovat celkovou cenu VZT 19600000,- Kč

#### Vstupní údaje ekonomického hodnocení:

- Celkové investiční náklady  $N_i = 19600000,-$  Kč
- Roční úspora  $CF = 1800000,-$  Kč
- Diskontní sazba  $d = 0,75\%$
- Doba hodnocení projektu  $T_i = 20$  let

Diskontní sazba d podle ČNB k datu 22.10.2009 činí 0,75%.

Diskontovaný tok peněz v  $j$ -tém roce. Vzorec je jen v obecném tvaru. Pro příklad uvádím výpočet v roce 1. Zbylé hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.7.

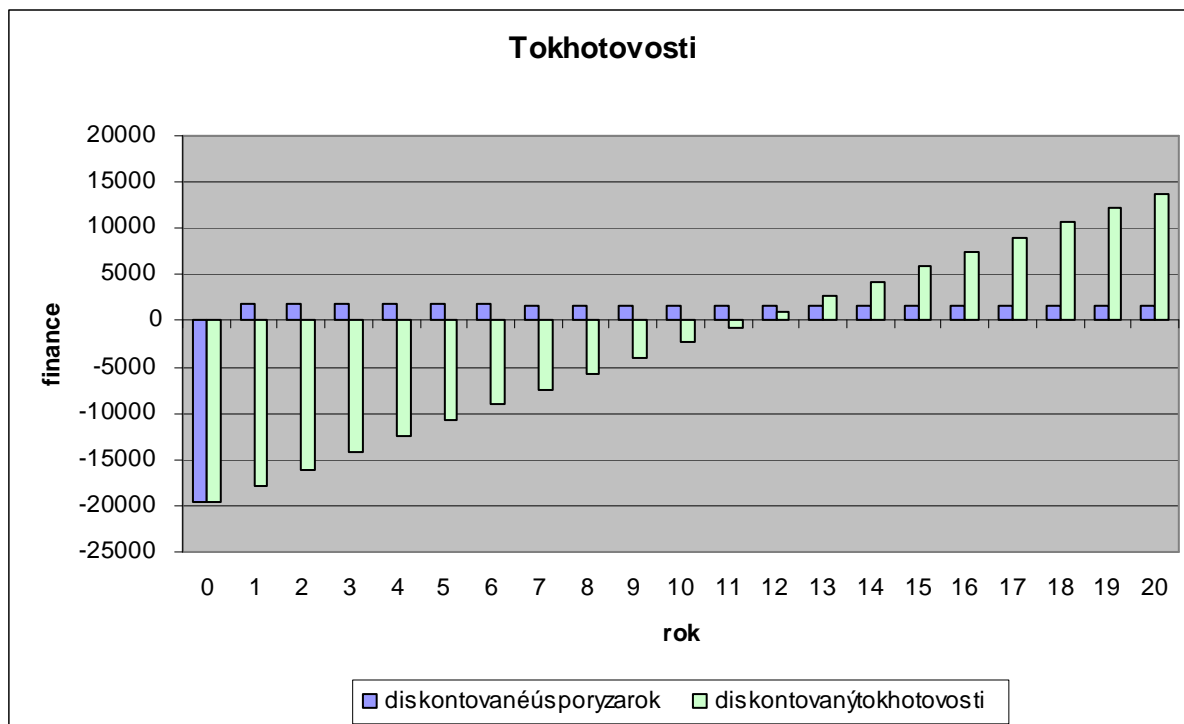
$$DCF_j = DCF_{(j-1)} + CF(1+d)^{-j}$$

$$DCF_1 = DCF_{(1-0)} + CF(1+d)^{-1} = -19600 + 1800 \cdot (1 + 0,0075)^{-1} = -17813 \text{ Kč}$$

Tab. 5.7 - Hodnoty DFC pro jednotlivé roky

Rok	CF	CF(1+d) <sup>i</sup>	DCF <sub>i</sub>
0	-19600	-19600	-19600
1	1800	1786,6005	-17813
2	1800	1773,3007	-16040
3	1800	1760,1	-14280
4	1800	1746,9975	-12533
5	1800	1733,9926	-10799
6	1800	1721,0844	-9078
7	1800	1708,2724	-7370
8	1800	1695,5557	-5674
9	1800	1682,9337	-3991
10	1800	1670,4057	-2321
11	1800	1657,9709	-663
12	1800	1645,6287	983
13	1800	1633,3783	2616
14	1800	1621,2192	4237
15	1800	1609,1506	5847
16	1800	1597,1718	7444
17	1800	1585,2822	9029
18	1800	1573,4811	10603
19	1800	1561,7678	12164
20	1800	1550,1417	13714

Graf. 4 Diskontovaný průběh ročních úspor a diskontované hotovosti DCF



**Dobasplnatnost bez uvažování časové hodnoty peněz:**

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{19600000}{1800000} = 10,9 \text{ let}$$

**Dobasplnatnost s uvažováním časové hodnoty peněz:**

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 10,9 \cdot 0,0075}}{\ln(1 + 0,0075)} = 11,41 \text{ let}$$

**Vnitřní výnosné procento:**

$$N_i - \sum_{j=0}^{T_s} CF \cdot (1 + d)^{-j} = 0$$

Pro d zvoleno 0,1:

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{[(1 + d)^{T_s} - 1]}{(1 + d)^{T_s}} = \frac{1800000}{19600000} \cdot \frac{(1,1^{15} - 1)}{1,1^{15}} = 0,077$$

obdobně se počítá pro další hodnoty:

$$d=0,2 \Rightarrow 0,088$$

$$d=0,3 \Rightarrow 0,0904$$

$$d=0,4 \Rightarrow 0,0908 \text{ atd.}$$

Pro provedení iterací vnitřní výnosné procento vychází 9,1%.

## 6. Tepelný výměník trubkový s podélným prouděním

Jako další variantu zlepšení tepelného hospodářství galvanovny je uvažován tepelný výměník, který slouží k přehřevu napájecí vody do vývěje čů páry. Do výměníku vstupuje obyčejná voda o teplotě 20°C a vystupuje o teplotě 100°C. Výpočet vychází z technické literatury:

- Jaroslav Kadrožka, Ladislav Ochrana – Teplárenství
- Florian Budaj – Parní kotle – podklady pro tepelný výpočet
- Tomáš Dlouhý – Výpočty kotlů a spalinových výměníků
- Ladislav Ochrana – Kotle a výměníky tepla

### Vstupní parametry a hodnoty pro výpočet

Tab. 6.1 - Parametry napájecí vody a vystupující páry

Parametry páry na výstupu z vývěje čů		
	Průtok	1000 [kg/hod]
	Tlak	0.7845 [MPa]
	Teplota	169.7 [°C]
	Suchost x	0.99 [%]
Parametry napájecí vody		
	Tlak	1.158 [Mpa]
	Teplota	20 [°C]

### Výstupní parametry teploty spalin a množství spalin :

#### Kotel Certus Junior 500

Teplota spalin  $T_{2vyst1} = 230^\circ\text{C}$   
Objem spalin  $V_{sp1} = 0,225 \text{ m}^3/\text{s}$

#### Kotel Golemos 500

Teplota spalin  $T_{2vyst2} = 200^\circ\text{C}$   
Objem spalin  $V_{sp.2} = 0,1406 \text{ m}^3/\text{s}$

#### Celkové výstupující hodnoty:

Průměrná teplota vystupujících spalin  $T_{2vst.} = 215^\circ\text{C}$   
Celkové množství spalin  $V_c = V_{sp1} + V_{sp2} = 0,225 + 0,1406 = 0,3656 \text{ m}^3/\text{s}$

### Výpočet stanovení entalpií, teplot a výkonů výměníku

Entalpie spalin při teplotě 215°C na vstupu do výměníku:  $i_{sp1} = 3230 \text{ kJ/m}^3$ . Tato hodnota vychází z technické správy kotle.

Entalpie vody při teplotě 20°C na vstupu do výměníku:  $i_{v1} = 83,9 \text{ kJ/kg}$ . Hodnota odečtena z parních tabulek.

Teplota vody vystupující z výměníku je volena:  $T_{1vst.} = 40^\circ\text{C}$ .

Entalpie vody na výstupu z výměníku je odečtena z parních tabulek:  $i_{v2} = 168,5 \text{ kJ/kg}$ .



$$\text{Průtok } m_p = 1000 \text{ kg/hod} = \frac{1000}{3600} = 0,278 \text{ kg/s}$$

$$\text{Výkon potrubního výměníku: } Q_b = m_p \cdot (i_{v2} - i_{v1}) = 0,278 \cdot (168,5 - 83,9) = 23,5 \text{ kW}$$

Entalpie spalinná výstup z výměníku:

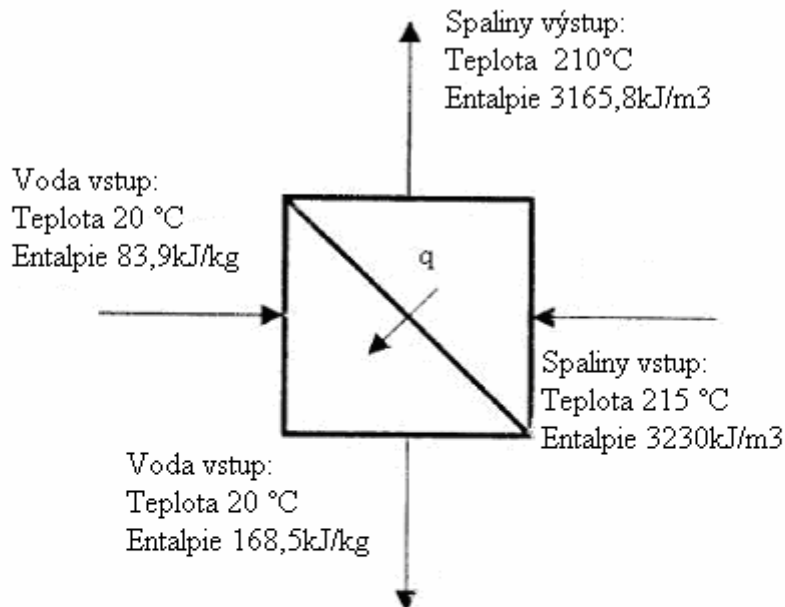
$$i_{sp2} = i_{sp1} - \frac{Q_b}{V_c} = 3230 - \frac{23,5}{0,3656} = 3165,8 \text{ kJ/m}^3 \quad (6.1)$$

Teplota spalinná výstup z výměníku:

$$T_{2vyst.} = T_{2vst.} \cdot \frac{i_{sp1}}{i_{sp2}} = 215 \cdot \frac{3165,8}{3230} = 210,7^\circ\text{C} \quad (6.2)$$

V předchozích výpočtech jsem stanovil hodnotu výkonu, který výměníkem předáná pájecí vodě. Proudění v výměníku jsem stanovil jako sou proudění. Na obr. 6.1 jsou znázorněny velikosti všech důležitých hodnot.

Obr. 6.1 - Schematický záznam oteplení vstupních a výstupních hodnot ve výměníku.



## 6.1 Velikost výhřevných ploch:

Tab. 6.2 - tabulka volených hodnot

Volená veličina	Volená hodnota
Rychlost spalin $v_{sp}$	12 m/s
Rychlost vody $v_v$	0,6 m/s
Vnitřní průměr trubky $d$	0,02 m
Tloušťka stěny trubky $t$	0,002 m

Při výpočtu součinitele přestupu tepla  $k$  musíme stanovit nebo zvolit rychlost proudění médií ve výhřevném žebříku. Podle uvedených literatur by se proudění mělo pohybovat pro kapalinu od 0,5 až do 3 m/s a pro plynůvzduchu 5 až 12 m/s. Navolíme rychlosti závislé na výpočtu četlosti tlakových ztrát ve výhřevném žebříku.

$$\text{Vnější průměr trubky } d_e = d + 2 \cdot t = 0,012 + 2 \cdot 0,002 = 0,014 \text{ m}$$

$$\text{Střední průměr trubky } d_{stř.} = \frac{d + d_e}{2} = \frac{0,012 + 0,014}{2} = 0,013 \text{ m}$$

$$\text{Průřez jedné trubky } S_{tr.} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (6.3)$$

Tlaková ztráta ve výhřevném žebříku volena 1 bar.

Počet potřebných trubek  $n_{tr.}$ :

$$N_{tr.} = \frac{4 \cdot m_p}{\pi \cdot d^2 \cdot v_v \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 0,278 \text{ kg/s}}{3,14 \cdot 0,012^2 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m/s} \cdot 983,6 \text{ kg/m}^3} = 1,8 \text{ trubek} \quad (6.4)$$

Celkový počet trubek volíme tedy:  $n_{tr.celk.} = 5$

Pro hodnoty výstupní páry určíme pro teplotu 60°C tlak 1,058 MPa z tabulek vlastností vody páry hustotu 983,6 kg/m<sup>3</sup>.

Dále spočítáme skutečné hodnoty průřezu a rychlosti páry, protože tyto hodnoty se v důsledku volby počtu trubek celé číslo změň.

$$\text{Skutečná hodnota průřezu } S_{skut.} = S_{tr.} \cdot n_{tr.celk.} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 5 = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Skutečná rychlost vody v trubce:

$$v_{vskut.} = \frac{m_p}{S_{skut.} \cdot \rho} = \frac{0,278 \text{ kg/s}}{5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 983,6 \text{ kg/m}^3} = 0,48 \text{ m/s} \quad (6.5)$$

Rychlost kapaliny v trubkách se má podle použitého teratury pohybovat mezi hodnotami 0,5 až 3 m/s. Výpočtené hodnoty skutečné rychlosti vody v trubkách se nacházejí nadolníme z této hranice a tudíž vyhovuje pro další výpočty.

## 6.2 Spalinový kanál:

Rozteč se podle použité literatury volíme z hodnotami 1,3 až 1,5  $d_e$ , nevšak menší jak  $d_e + 6\text{mm}$ . Dále délka trubek v výměníku by neměla přesáhnout délku 6m.

Rozteč mezi trubkami zvolím:  $s = 1,5 \cdot d_e = 1,5 \cdot 0,024\text{m} = 0,036\text{m}$

Dále určíme průměr  $D'$ , na kterém jsou umístěny krajní trubky. Průměr je udán v závislosti na roztečích mezi trubkami.

Poměrný průměr trubkovnice  $D'/s$  pro uspořádání trubek v plášťovém výměníku je stanoven z literatury kotle a výměníky tepla (autor: Doc. Ing. Ladislav Ochraňa CSc.) z tabulky na str. 67.

Počet trubek byl stanoven výpočtem na 5. Z uvedených tabulek tedy vyberu nejbližší hodnotu která odpovídá mému řešení.

$$\frac{D'}{s} = 2 \Rightarrow D' = 2 \cdot s = 2 \cdot 0,036\text{m} = 0,072\text{m}$$

Nyní mohu stanovit vnější průměr pláště z rovnice:  $D_i = D' + d_e + 2k$  kde je  $k$  lemezí krajních trubek a pláště. Zkonstruujeme úvodě se bere kod 6-ti mm výše. V mém výpočtu je zvoleno 6mm.

$$D_i = 0,072\text{m} + 0,024\text{m} + 2 \cdot 0,006\text{m} = 0,108\text{m}$$

Dále výpočet průřezové plochy  $F_e$  trubkového prostoru.

$$F_e = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} - n \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,108^2\text{m}^2}{4} - 5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,024^2\text{m}^2}{4} = 0,007\text{m}^2 \quad (6.6)$$

Stanovení hodnoty hydraulického průměru  $d_{he}$  z rovnic (6.6) a (6.7):

$$d_{he} = \frac{4F_e}{o} = \frac{4 \cdot 0,007\text{m}^2}{0,72\text{m}} = 0,038\text{m} \quad (6.7)$$

o je celkový směrnicový obvod:

$$o = \pi \cdot D_i + n \cdot \pi \cdot d_e = \pi \cdot 0,108\text{m} + 5 \cdot \pi \cdot 0,024\text{m} = 0,72\text{m} \quad (6.8)$$

## 6.3 Tepelný rozdíl a výhřevných plochách stanovení středního logaritmického spádu.

Abychom mohli určit střední logaritmický spád, musíme nejprve spočítat rozdíl teplot pro vstupní a výstupní stranu výměníku.

Teplotní spád potom určíme z vztahu:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad (6.9)$$

Aby číselný výsledek vzáporných hodnotách, upravuje se s třetím logaritmičtým teplotní spádem:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_v - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_v}{\Delta t_m}} \quad (6.10)$$

$\Delta t_v$  představuje větší teplotní spád

$\Delta t_m$  představuje menší teplotní spád

Výpočet teplotního rozdílu vstupu v číselném řádku:

$$\Delta t_1 = t_{2vst.} - t_{vst.} = 215^\circ C - 20^\circ C = 195^\circ C$$

Výpočet teplotního rozdílu výstupu v číselném řádku:

$$\Delta t_2 = t_{2výst.} - t_{výst.} = 210,7^\circ C - 40^\circ C = 170,72^\circ C$$

Výpočet středního logaritmičtého spádu:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{195 - 170,72}{\ln \frac{195}{170,72}} = 182,5918$$

#### 6.4 Stanovení součinitele prostupu tepla

Jednotkou součinitele prostupu tepla je  $k \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

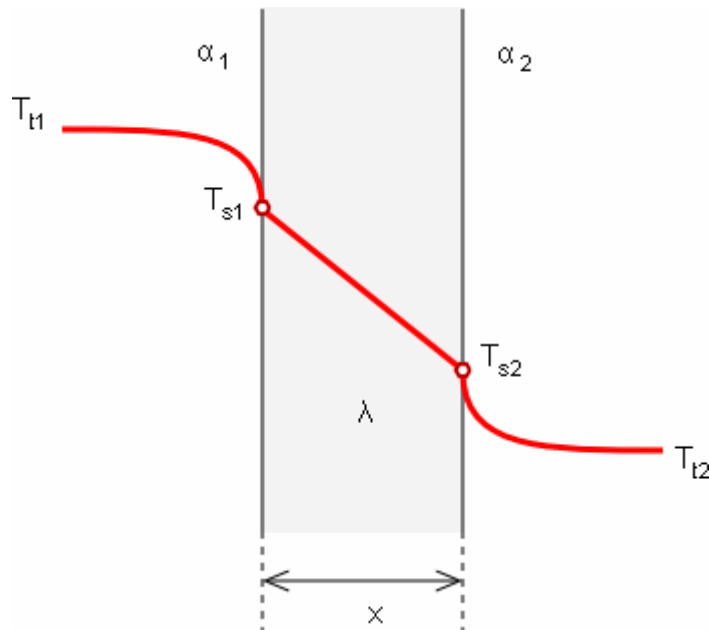
V mém případě po číselném řádku jsou číselné hodnoty teplot pro válcovou stěnu. Prostupu tepla se skládá z prostupu tepla stranou vody, z prostupu tepla stranou paliva a z vedení tepla, které prochází teplotní izolací.

Obecná rovnice prostupu tepla je dána rovnicí:

$$Q = k \cdot \Delta t \cdot S \text{ [W]} \quad (6.11)$$

kde:

- $k$  je součinitel prostupu tepla [ $W/m^2 \cdot K$ ]
- $\Delta t$  je rozdíl teplot proudících médií [ $^\circ C$ ]
- $S$  je velikost výhledové plochy [ $m^2$ ]



Obr. 6.2-Průběh teploty, tepelného toku a prostupu teploty u rovinné stěny  
(www.powerwiki.cz)

Součinitel prostupu tepla pro válcovou trubku se spočítá ze vztahu:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{d_{vz}}{d} + \frac{d_{vz}}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_e}{d} + \frac{d_{vz}}{2\lambda_u} \ln \frac{d_e}{d_e} + \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{d_{vz}}{d_e}} = \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (6.12)$$

kde:

- $d_{vz}$  = vnitřní průměr trubky, [m]
- $\alpha_1$  = součinitel přestupu tepla na povrchu správně měřeno, [ $W/m^2 K$ ]
- $\lambda$  = tepelná vodivost stěny trubky, [ $W/mK$ ]
- $\lambda_u$  = tepelná vodivost nánosů, [ $W/mK$ ]
- $\alpha_2$  = součinitel přestupu tepla na povrchu správně měřeno, [ $W/m^2 K$ ]
- $d$  = vnitřní průměr trubky, [m]
- $d_e$  = vnější průměr trubky bez nánosů, [m]
- $d_e'$  = průměr trubky s nánosy, [m]

Ve výpočtu nánosy nepočítám a zanedbávám je, ovšem v praxi je potřeba s nimi počítat  $\Rightarrow \frac{d_{vz}}{2\lambda_u} \ln \frac{d_e'}{d_e} = 0$

Zpraxe je zjištěno, že čím větší je velikost tepelného toku  $q$ , tím je větší tvorba nánosů. Dále hrozí přítvorbě nánosů vznik krizikakoroze na vodní straně výměníku. Nánosy zvyšují odpor proti přestupu tepla a snižují tak jeho účinnost. Vznikají až za provozu výměníku.

## 6.5 Výpočet a stanovení hodnoty tepelné vodivosti a součinitelů p řestupu tepla.

### 6.5.1 Tepelná vodivost:

Materiál trubky je nerezová ocel obsahem chromu 18 %. Pro tuto ocel je tepelná vodivost stanovena podle tabulek fyzikální vlastnosti kovových materiálů vycházející z literatury [4] na hodnotu 55 W/mK.

### 6.5.2 Stanovení součinitelů p řestupu tepla.

Podle lit. [2] závisí součinitel p řestupu tepla p ři podélném obtékání plochy na typu proudění. Proudění spalin, vzduchu, vody a páry je zpravidla turbulentní.

Součinitel p řestupu tepla se určuje následujícím vztahem:

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \left( \frac{v \cdot d}{\nu} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot C_t \cdot C_l \cdot C_m \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (6.1) \quad 3)$$

kde:

- $\lambda$  = součinitel tepelné vodivosti [W/mK]
- $\nu$  = součinitel kinematické viskozity [m<sup>2</sup>/s]
- $v$  = rychlost proudu [m/s]
- $Pr$  = Prandtlovo číslo [-]
- $d$  = ekvivalentní průměr [m]
- $C_t, C_l, C_m$  jsou opravné koeficienty.

### Výpočet součinitelů p řestupu tepla na straně vody:

$$\text{Korekční součinitel } C_{t, \text{seur}} \text{ číže vztahu: } C_{t, \text{seur}} = \left( \frac{\eta}{\eta_{st}} \right)^n$$

Kde:

- $\eta$  = dynamická viskozita vody p ři teplotě proudu
- $\eta_{st}$  = dynamická viskozita p ři teplotě stěny
- $n$  = exponent, který nabývá hodnot 0,11 p ři ohřevu stěny a 0,25 p ři ochlazení stěny.

Pro výpočet uvažují střední hodnoty teplot.

Střední teplota proudu = 45 °C

Teplota povrchu trubky = 55 °C

Exponent  $n = 0,25$

Tab. 6.3 - dynamických kinematických viskozit p ři teplotě 45 °C a 55 °C

Teplota	Kinematická viskozita [m <sup>2</sup> /s]	Dynamická viskozita [Pa*s]
45 °C	0.6055	0.6
55 °C	0.507	0.514

Hodnoty viskozit jsou stanoveny z tabulky Viskozita závislosti na teplotě na internetových stránkách [www.converter.cz](http://www.converter.cz)

Korekční součinitel  $C_t$  je tedy roven:

$$C_t = \left( \frac{\eta}{\eta_{st}} \right)^n = \left( \frac{0,6}{0,514} \right)^{0,25} = 1,039 \quad (6.14)$$

Zbývají dva součinitele se při přestupu tepla konvekcí při podélném proudění vody neuvážují  $\Rightarrow C_{l,m} = 1$

Celkový součinitel přestupu tepla se tedy rovná:

$$\alpha_{k1} = C_t \cdot \alpha_N = 1,039 \cdot 2500 = 2597,5 \text{ [W / m}^2 \text{ K]} \quad (6.15)$$

$\alpha_N$  = nomogramový součinitel [W/m<sup>2</sup>K]  
 $\alpha_N$  je určen z nomogramu ..... Ze známé rychlosti vody 0,2 m/s a vnitřního průměru trubky 0,02 m byla odečtena hodnota 2500 W/m<sup>2</sup>K.

### Výpočet součinitele přestupu tepla na straně spalin:

Pro ochlazení spalin se součinitel vypočítá ze vztahu:

$$\alpha_k = C_t \cdot C_f \cdot \alpha_N \text{ [W / m}^2 \text{ K]} \quad (6.16)$$

Kde

- $C_t, C_f$  jsou opravné součinitele
- $\alpha_N$  = nomogramový součinitel

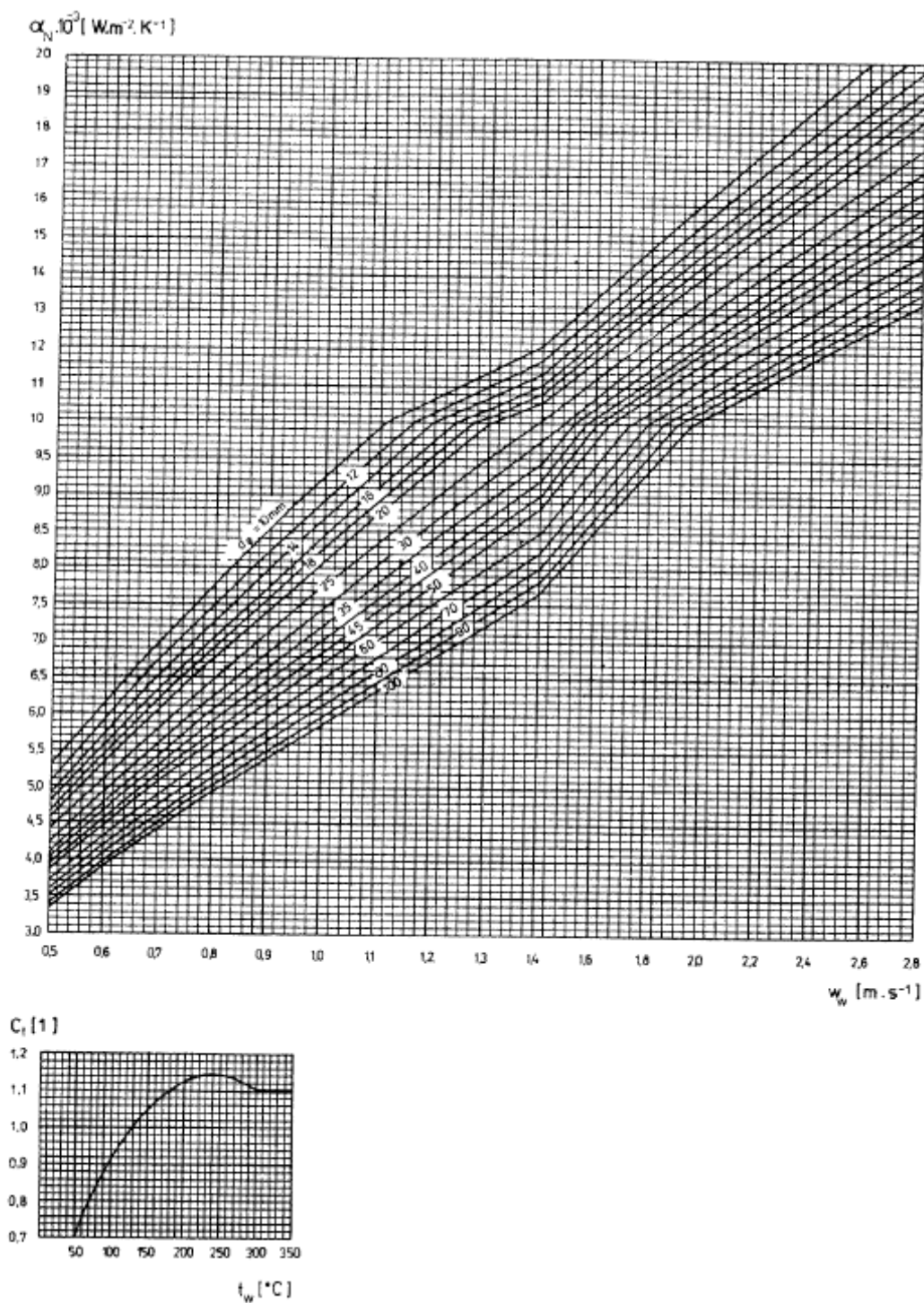
$C_f$  pro hodnotu ochlazených spalin o teplotě 210°C a plynové konstantě 0,15 je určen z příslušného nomogramu na obr. 6.4 rovněž přibližně 1,15.

$C_t = 1$

$\alpha_N$  je určen z nomogramu na obr. 6.4 pro teplotu 210°C a rychlost spalin 12 m/s.  
 $\alpha_N = 50 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

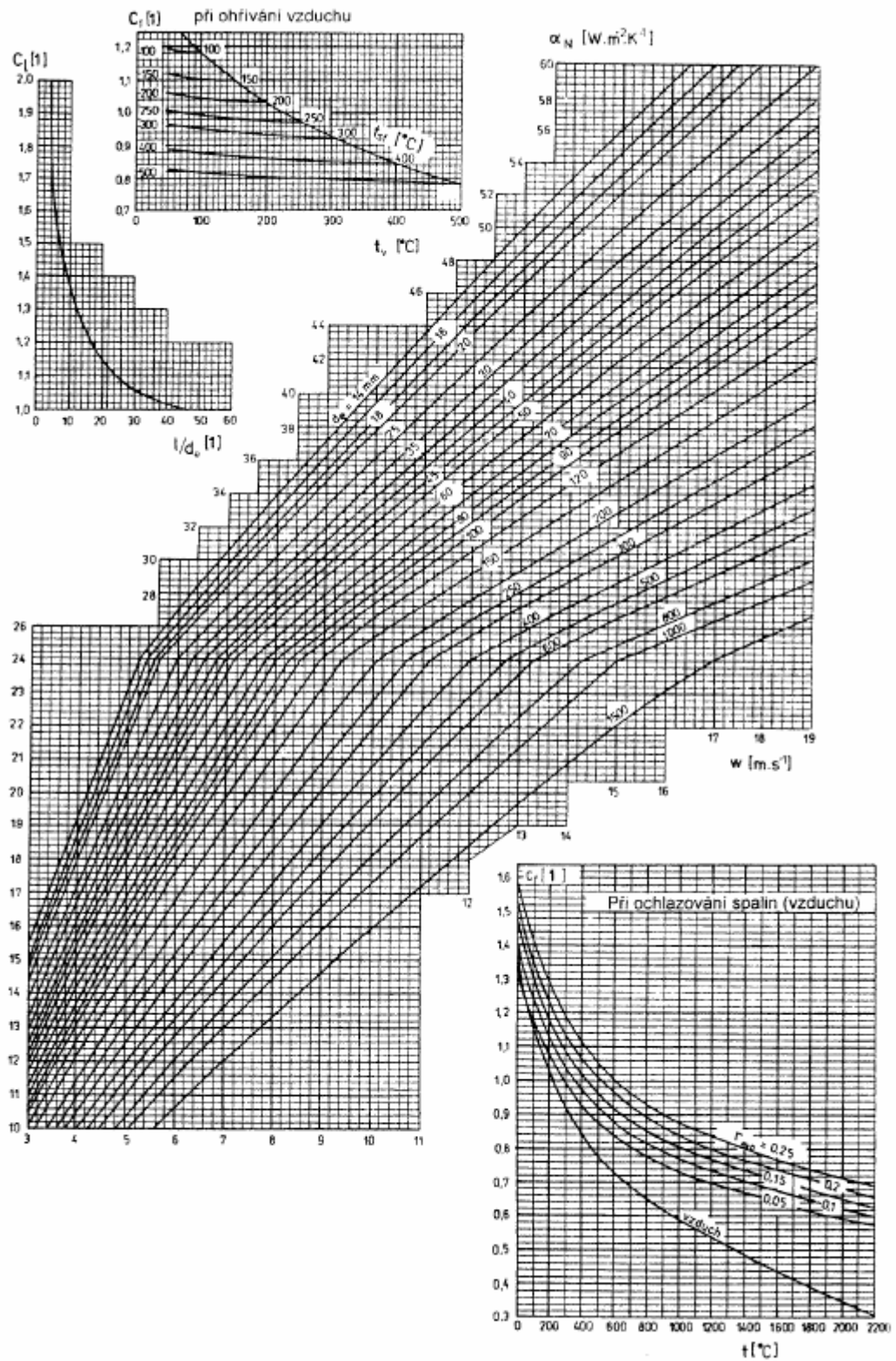
Celkový součinitel přestupu tepla pro spalinovou stranu se rovná:

$$\alpha_{k2} = C_t \cdot C_f \cdot \alpha_N = 1 \cdot 1,15 \cdot 50 = 57,375 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$



obr. 6.3 - monoogram pro určení součinitele přestupu tepla konvekcí při podélném proudění vody. Zelenou čarou je vyznačen hledaný monoogramový součinitel  $\alpha_N$ .





obr. 6.4 - monogram pro určení součinitele přestupu tepla konvekcí při podélném proudění vzduchu a spalin.

### 6.6 Výpočet prostuputeplak

Vztah 6.12 vztahuje navnitřní průměr trubky a upravíme jej na tvar:

$$k = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (6.17)$$

Kde  $R_1, R_2, R_3$  jsou jednotlivé tepelné odpory.

Výpočet tepelných odporů:

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_{k1}} \cdot \frac{d}{d} = \frac{1}{2597,5 \text{ W/m}^2\text{K}} \cdot \frac{0,02 \text{ m}}{0,02 \text{ m}} = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_2 = \frac{d}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_e}{d} = \frac{0,02 \text{ m}}{2 \cdot 50 \text{ W/mK}} \ln \frac{0,024 \text{ m}}{0,02 \text{ m}} = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_3 = \frac{1}{\alpha_{k2}} \cdot \frac{d}{d_e} = \frac{1}{57,375 \text{ W/m}^2\text{K}} \cdot \frac{0,02 \text{ m}}{0,024 \text{ m}} = 0,01 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Po vyčíslení hodnot jednotlivých tepelných odporů mohou dosadit do vztahu 6.17 a vypočítat výslednou hodnotu prostuputepla.

$$k = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1}{0,38 \cdot 10^{-3} + 3,6 \cdot 10^{-5} + 0,01} = 66,9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### Výpočet celkové výhřevné plochy:

Výhřevná plocha se vypočítá podle vztahu:

$$S_{\text{celk.vyhř.}} = \frac{Q_b \cdot 1000}{k \cdot \Delta t_{\text{ln}}} = \frac{23,5 \text{ kW} \cdot 1000}{66,9 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 182,6354 \text{ K}} = 1,92 \text{ m}^2 \quad (6.18)$$

### 6.7 Výpočet délky trubek:

Délka trubek, respektive délka mezi trubkovnicemi je dána vztahem:

$$L = \frac{S_{\text{celk.vyhř.}}}{\pi \cdot n \cdot d_{\text{stř.}}} = \frac{1,92 \text{ m}^2}{\pi \cdot 5 \cdot 0,022 \text{ m}} = 5,47 \text{ m} \Rightarrow 5,7 \text{ m} \quad (6.19)$$

Výpočtem jsem stanovil, že jedním výměníkem jsem schopen ohřát vodu o přibližně 20°C. Celková teplota vody má však být zhruba 120°C. Z toho vyplývá, že je nutné navrhnout další tepelný výměník v množství, odpovídající potřebné teplotě. Výpočtem bylo zjištěno, že těchto výměníků bude potřeba sedm. V tabulce 6.4 jsou stanoveny potřebné parametry jednotlivých výměníků, avšak jejich výpočet neuvádím, protože se shoduje s již spočítaným výměníkem. Jediný rozdíl je v hodnotách vstupních teplot vody a spalin. Všechny ostatní zavedené a stanovené veličiny zůstávají nezměněny.

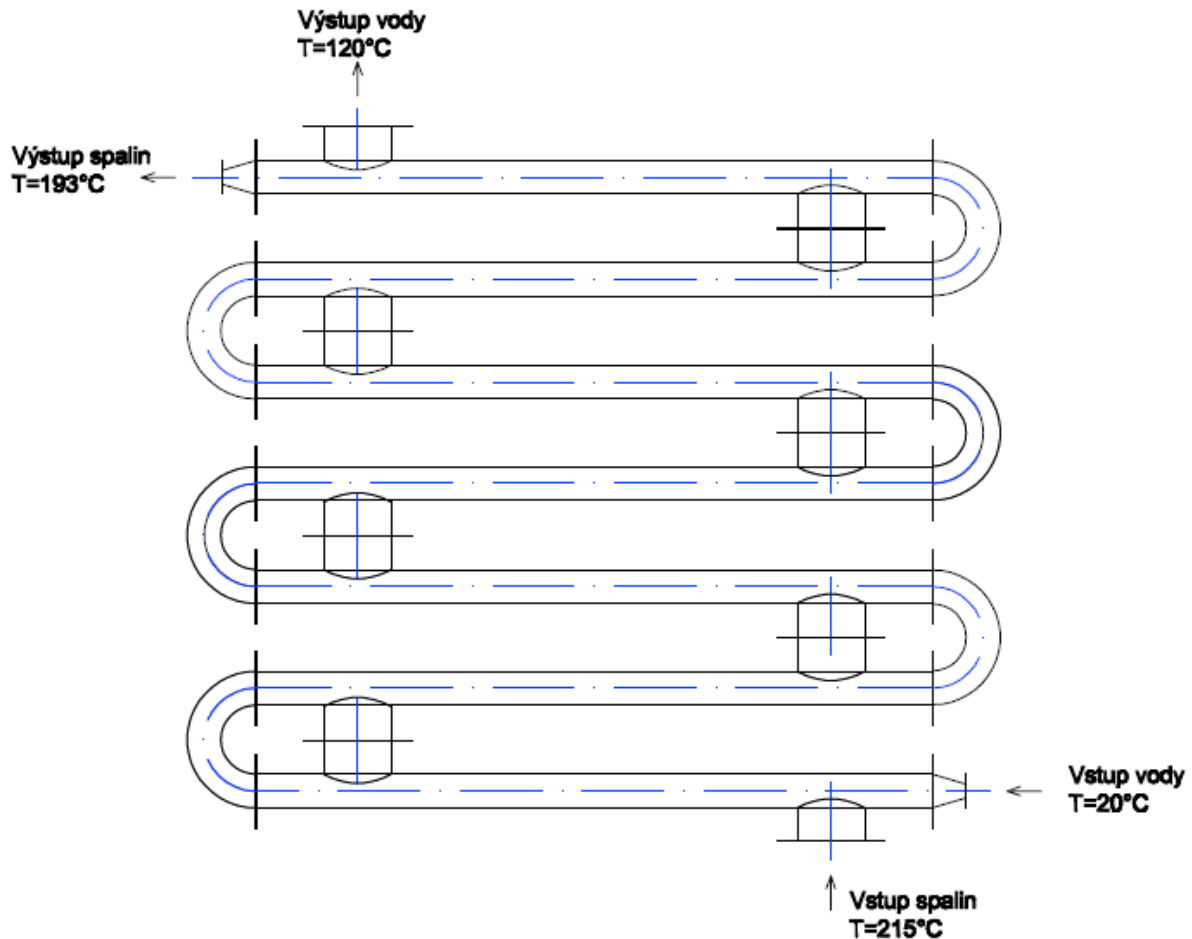
Tab.6.4-Tabulkavelikostiteplotaentalpiúje dnotlivýchvým ěnících

	Teplotavody		Teplotaspalin		Entalpievody		Entalpiespalin		Výkon [kW]
	Vstupní [°C]	Výstupní [°C]	Vstupní [°C]	Výstupní [°C]	Vstupní [kJ/kg]	Výstupní [kJ/kg]	Vstupní [kJ/m <sup>3</sup> ]	Výstupní [kJ/m <sup>3</sup> ]	
Tepelným ěníc1	20	40	215	210	83,9	168,5	3230	3165,7	23,5
Tepelným ěníc2	40	58	210	206,9	168,5	243,7	3165,7	3108,57	20,9
Tepelným ěníc3	58	74	206,9	203,5	243,7	310,6	3108,57	3057,8	18,7
Tepelným ěníc4	74	88	203,5	200,53	310,6	369,3	3057,8	3013,2	16,3
Tepelným ěníc5	88	100	200,53	197,95	369,3	419,8	3013,2	2974,8	14
Tepelným ěníc6	100	110	197,95	195,77	419,8	462	2974,8	2942,737	11,7
Tepelným ěníc7	110	119	195,77	193,9	462	500,1	2942,737	2913,8	10,6
<b>Celkovývýkon</b>									<b><math>\Sigma Q_{bi}=115,7kW</math></b>

Tepelným výměníkem jsou navrhovány všechny tak, aby jejich konstrukční parametry byly shodné čtyřrozměrů.

Pro určení ceny výměníku si dále musíme zjistit jejich celkovou hmotnost. Tu vypočteme z hustoty použité oceli a objemu.

Obr. 6.5 - schéma spojení v šesti sedmivým výměníky



### 6.8 Výpočet objemu výměníku.

Objem jedné trubky:

$$V_{tr} = \frac{\pi \cdot (d_e - d)^2}{4} \cdot L = \frac{\pi (0,024 - 0,02)^2}{4} \cdot 5,7 = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (6.20)$$

Objem všech trubek ve výměníku:

$$V_t = N_{tr} \cdot V_{tr} = 5 \cdot 0,7 = 0,35 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \quad (6.21)$$

Objem vnějšího pláště výtvarného žebříku:

$$V_{pl.} = \frac{\pi(D - D_i)^2}{4} \cdot L = \frac{\pi(0,118 - 0,108)^2}{4} \cdot 5,7 = 0,44 \cdot 10^{-2} m^3 \quad (6.22)$$

D-Průměr vnějšího pláště  $\bar{D} = 0,118 m$

Boční stěna výtvarného žebříku bude zjednodušená a počítána jako objem polokoule:

$$V_k = \frac{4}{3} \cdot \pi(R - R_i)^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi(0,059 - 0,054)^3 = 0,5 \cdot 10^{-5} m^3 \quad (6.23)$$

$$R\text{-polom průměru vnějšího pláště } \bar{r} = \frac{D}{2} = \frac{0,118}{2} = 0,059 m$$

$$R_i\text{-polom průměru vnitřního pláště } \bar{r}_i = \frac{D_i}{2} = \frac{0,108}{2} = 0,054 m$$

Celkový objem jednoho výtvarného žebříku:

$$V_v = V_k + V_t + V_{pl.} = 0,35 \cdot 10^{-2} + 0,44 \cdot 10^{-2} + 0,5 \cdot 10^{-5} = 0,8 \cdot 10^{-2} m^3 \quad (6.24)$$

Celkový objem všech výtvarných žebříků:

$$V_c = \text{počet výtvarných žebříků} \cdot V_v = 7 \times 0,8 \times 10^{-2} = 0,056 m^3$$

hustota použité oceli je přibližně:  $\rho_c = 7700 kg/m^3$

Celková hmotnost všech výtvarných žebříků je rovna:

$$m_v = \rho_c \cdot V_c = 7700 \cdot 0,056 = 431 kg \quad (6.25)$$

Cena 1 kg oceli uvažují 100 Kč. Dále je cena výtvarného žebříku počítána 50% z práce. Celková cena tedy činí:

$$N_i = m_v \cdot 100 \cdot 1,5 = 431 \cdot 100 \cdot 1,5 = 64650 Kč$$

## 6.9 Celková úspora energie:

Uspořené energie za rok:

$$Q_r = Q_{bi} \cdot 0,0036 \cdot i \cdot n = 115,7 \cdot 0,0036 \cdot 8 \cdot 250 = 833,04 GJ \quad (6.26)$$

kde:

- i – počet provozních hodin za den
- n – počet provozních dní za rok

Cena 1 GJ činí přibližně 307 Kč

Celková úspora finančních prostředků vyčíslena v Kč číselně:

$$N_u = Q_r \cdot 307 = 833,04 \cdot 307 = 255743,28 \text{ Kč} \Rightarrow 255700, - \text{Kč} \quad (6.27)$$

### 6.10 Ekonomická analýza navrženého trubkového systému:

#### Vstupní údaje ekonomického hodnocení:

- Celkové investiční náklady  $N_i = 64650, - \text{Kč}$
- Roční úspora  $CF = 255,700, - \text{Kč}$
- Diskontní sazba  $d = 0,75\%$
- Doba hodnocení projektu 10 let

Diskontní sazba podle ČNB k datu 22.10.2009 činí 0,75%.

Diskontovaný tok peněz v  $j$ -tém roce. Vzorec je jen v obecném tvaru. Pro příklad uvádíme výpočet pro první rok. Zbývající hodnoty jsou uvedeny v tab. 6.5.

$$DCF_j = DCF_{(j-1)} + CF(1+d)^{-j} \quad (6.28)$$

$$DCF_1 = DCF_{(1-0)} + CF(1+d)^{-1} = -64,65 + 255,7 \cdot (1+0,0075)^{-1} = 189,1 \text{ Kč}$$

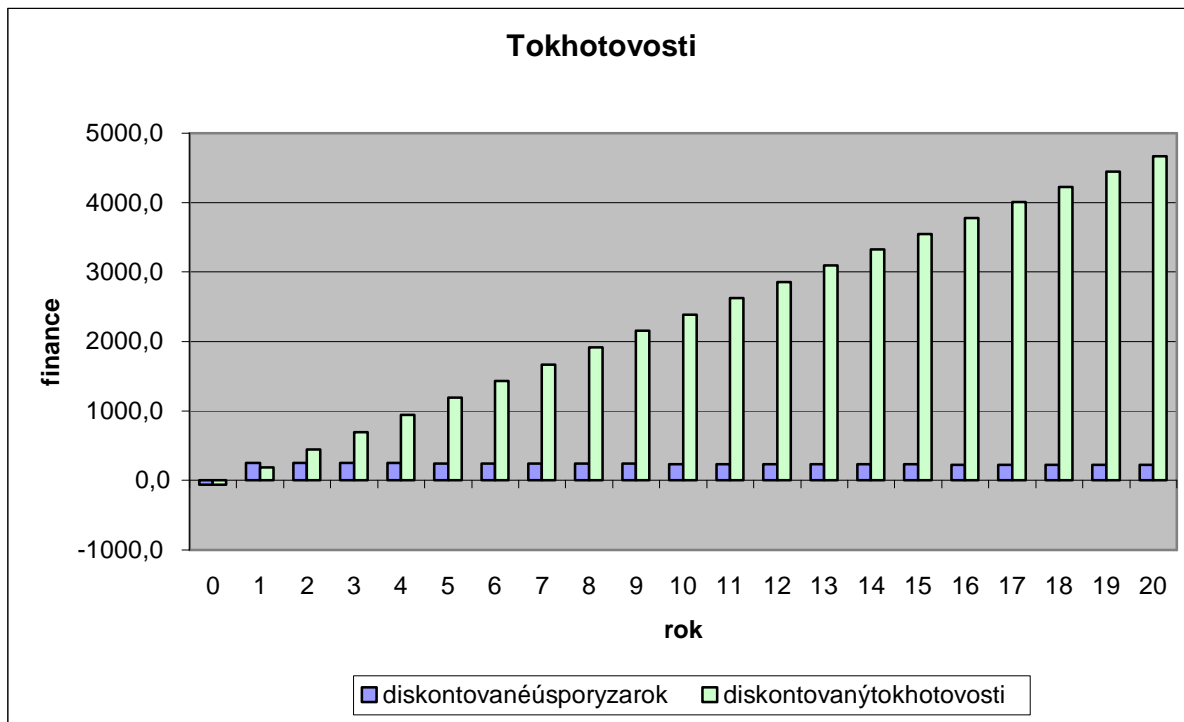
Tab. 6.5 - Hodnoty DFC pro jednotlivé roky v tis. Kč

Rok	CF	$CF(1+d)^j$	$DCF_j$
0	-64,6	-64,6	-64,6
1	255,7	253,79653	189
2	255,7	251,90722	441
3	255,7	250,03198	691
4	255,7	248,1707	939
5	255,7	246,32328	1186
6	255,7	244,48961	1430
7	255,7	242,66958	1673
8	255,7	240,86311	1914
9	255,7	239,07008	2153
10	255,7	237,29041	2390

#### Doba splatnosti bez uvažování časové hodnoty peněz:

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{64650}{255700} = 0,25 \text{ roku} \quad (6.29)$$

Graf.5-Diskontovaný průběh ročních úspor a diskontované hotovosti DCF



Doba splatnosti s uvažováním časové hodnoty peněz:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 0,25 \cdot 0,0075}}{\ln(1 + 0,0075)} = 0,25 \text{ let} \quad (6.30)$$

Vnitřní výnosné procento:

$$N_i - \sum_{j=0}^{T_s} CF \cdot (1 + d)^{-j} = 0 \quad (6.31)$$

Pro  $d$  zvoleno 0,1:

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{[(1 + d)^{T_s} - 1]}{(1 + d)^{T_s}} = \frac{255700}{64650} \cdot \frac{(1,1^{15} - 1)}{1,1^{15}} = 2,4$$

obdobně se počítá pro další hodnoty:

$d=0,2 \Rightarrow 3,3$

$d=0,3 \Rightarrow 3,7$

Pro provedení iterace číselný výpočet ukázal, že vnitřní výnosné procento vychází 390%.

## 7. Výměník spřičným prouděním

Tato varianta uvažuje výměník spřičným obtekáním trubek spaliny. Snahou je zajistit co nejefektivnější přestup tepla vodě, která je potřeba přehřát před vstupem do parních vyvíječů. Výměník má zajistit lepší ekonomickou bilanci v technologickém cyklu použitým galvanovně.

### Zadané hodnoty páry a palin

Tab. 7.1 - Parametry napájecí vody a vystupující páry z parních vyvíječů

Parametry páry a výstupu z vyvíječe		
	Průtok	1000 [kg/hod]
	Tlak	0.7845 [MPa]
	Teplota	169.7 [°C]
	Suchost x	0.99 [%]
Parametry napájecí vody		
	Tlak	1.158 [Mpa]
	Teplota	20 [°C]

### 7.1 Stanovení výpočetných hodnot entalpií, teplota výkonu ve výměníku.

Vstupní teplota napájecí vody do výměníku  $t_{1v} = 20^\circ\text{C}$

Vstupní entalpie napájecí vody  $i_{1v} = 85 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$  hodnota odečtena z parních tabulek pro hodnotu teploty  $20^\circ\text{C}$  a tlaku 1,158 MPa.

Výstupní teplota vody z výměníku  $t_{2v} = 120^\circ\text{C}$

Výstupní entalpie vody  $i_{2v} = 504,3 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$  hodnota odečtena z parních tabulek pro hodnotu teploty  $120^\circ\text{C}$  a tlaku 1,058 MPa.

Teplota palin na vstup do výměníku  $t_{1s} = 215^\circ\text{C}$

Entalpie palin na vstup do výměníku  $i_{1s} = 3230 \text{ kJ/m}^3$

Průtok vody  $m_p$  ve výměníku činí  $1000 \text{ kg/hod} = \frac{1000}{3600} = 0,278 \text{ kg/s}$

Celková množství palin  $V_{sp} = 0,3656 \text{ m}^3/\text{s}$

Výkon potřebný ve výměníku

$$Q_b = m_p \cdot (i_{2v} - i_{1v}) = 0,278 \cdot (504,3 - 85) = 116,47 \text{ kW} \quad (7.1)$$

Entalpie palin na výstup z výměníku  $i_{2s}$ :

$$i_{2s} = i_{1s} - \frac{Q_b}{V_{sp}} = 3230 \text{ kJ/m}^3 - \frac{116,47 \text{ kW}}{0,3656 \text{ m}^3/\text{s}} = 2911,422 \text{ kJ/m}^3 \quad (7.2)$$



Teplota spalinavýstupuzvým řníkut  $t_{2s}$ :

$$t_{2s} = t_{1s} \cdot \frac{i_{2s}}{i_{1s}} = 215^{\circ}\text{C} \cdot \frac{2911,422\text{kJ}/\text{m}^3}{3230\text{kJ}/\text{m}^3} = 193,8^{\circ}\text{C} \quad (7.3)$$

## 7.2 Velikost výh řevných ploch:

Nejdříve je nutné zvolit geometrické rozměry potrubí a rychlosti proudů spalin a vody. Volbu vhodných parametrů je uvedená v tabulce 2.2.

Tab. 7.2 - Tabulka zvolených parametrů

Název voleného rozměru	Označení	Rozměr [mm]	Ro <sub>ym2rv</sub> [m]
Vnitřní průměr trubky	d	16	0,016
Tloušťka stěny trubky	t	2	0,002
Výška žebra	$h_z$	25	0,025
Tloušťka žebra	$d_z$	0,8	0,0008
Rozteč žebra	$s_z$	8	0,008
Rychlost spalin	$w_s$	12 [m/s]	
Rychlost vody	$w_v$	0,6 [m/s]	

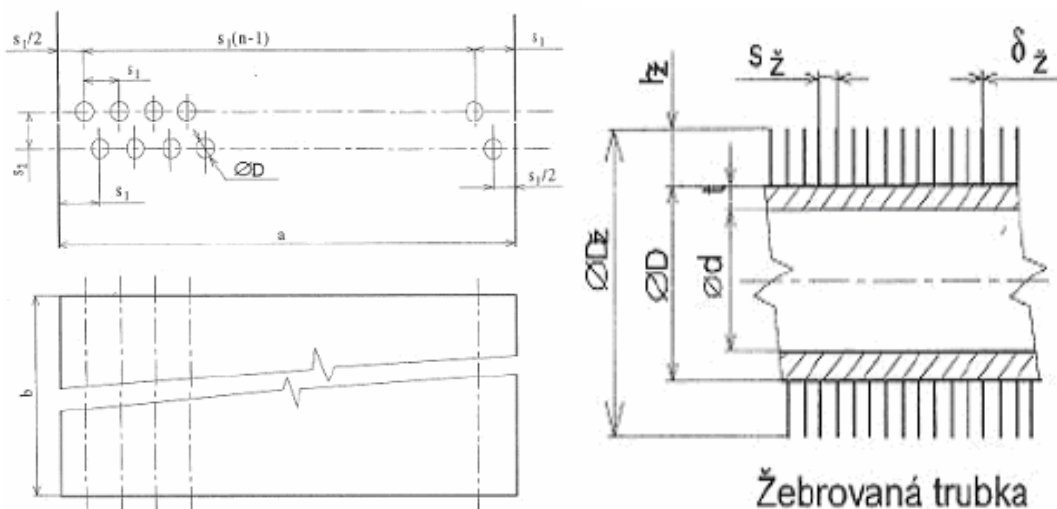
Dále je potřeba vypočítat některé zbylé důležité geometrické hodnoty.

Vnější průměr trubky:  $D = d + 2 \cdot t = 0,016 + 2 \cdot 0,002 = 0,02\text{m}$

Vnější průměr žebra:  $D_z = D + 2 \cdot h_z = 0,07\text{m}$

Počet žebra na 1 m délky:  $n_z = \frac{1}{d_z + s_z} = \frac{1}{0,0008 + 0,008} = 113,64 \Rightarrow$  hodnota po čtu

žebra je zaokrouhlená na nejbližší vyšší hodnotu  $\Rightarrow n_z = 114$  žebra.



Obr. 7.1 Uspořádání trubek v spalínovém kanálu a parametry trubky

Pro další výpočet je nutno ztabulky vlastností vody a par určité hustoty a měrný objem vody proudící v trubkách pro teplotu 120°C a tlak 1,058 MPa.

Hustota  $\rho_v = 943,51 \text{ kg/m}^3$   
Měrný objem  $v_v = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$

Průřez jedné trubky:

$$S_{tr.} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4} = 0,000201 \text{ m}^2 \quad (7.4)$$

Počet trubek v jednom patře:

$$n_{tr.} = \frac{m_p}{\rho_v \cdot w_v \cdot S_{tr.}} = \frac{0,278 \text{ kg/s}}{943,51 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,6 \text{ m/s} \cdot 0,000201 \text{ m}^2} = 2,441688 \text{ trubek} \Rightarrow 3 \text{ trubky} \quad (7.5)$$

Skutečný průřezový průřez:

$$S_{skut.} = S_{tr.} \cdot n = 0,000201 \cdot 3 = 0,000603 \text{ m}^2$$

Skutečná rychlost vody:

$$w_{v.skut.} = \frac{m_p}{\rho_v \cdot S_{skut.}} = \frac{0,278 \text{ kg/s}}{943,51 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000603 \text{ m}^2} = 0,488338 \text{ m/s} \quad (7.6)$$

### 7.3 Spalínový kanál:

Nyní si vypočítáme rozměry spalínového kanálu:

Rozteč trubek  $s_1$  volena 0,075 m

Šířka spalínového kanálu:

$$A = n \cdot s_1 = 3 \cdot 0,075 \text{ m} = 0,225 \text{ m} \quad (7.7)$$

Průmětná plocha žebra na 1 m délky:

$$S_z = (n_z \cdot h_z \cdot d_z \cdot 2) + D = 114 \cdot 0,025 \cdot 0,0008 \cdot 2 + 0,02 = 0,02456 \text{ m}^2 \quad (7.8)$$

Průtočná plocha v zatížení na 1 m délky:

$$S_{1m} = A - (S_z \cdot n) = 0,225 \text{ m} - (0,02456 \text{ m}^2 / \text{m} \cdot 3) = 0,15132 \text{ m}^2 / \text{m} \quad (7.9)$$

Množství palin:

$$V_{spalin} = V_{sp} \cdot \left( \frac{T_{1s} + 273,15}{273,15} \right) = 0,3656 \cdot \left( \frac{215 + 273,15}{273,15} \right) = 0,653369 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (7.10)$$

Plocha spalinového kanálu:

$$S_k = \frac{V_{spalin}}{w_s} = \frac{0,653369 m^3 / s}{12 m / s} = 0,054447 m^2 \quad (7.11)$$

Rozměr B spalinového kanálu:

$$B = \frac{S_k}{S_{1m}} = \frac{0,054447 m^2}{0,15132 m^2} = 0,36 m \quad (7.12)$$

Kontrolní výpočet spalinového kanálu: (strana A by se měla pohybovat:  $A = (0,5 - 0,8) \cdot B$ )

$$x = \frac{A}{B} = \frac{0,225}{0,36} = 0,625 \Rightarrow A = 0,625 B - \text{rozměr stran vyhovuje}$$

#### 7.4 Výpočet středního logaritmického hospádu:

$$\Delta t_1 = t_{1s} - t_{1v} = 215 - 20 = 195^\circ C$$

$$\Delta t_2 = t_{2s} - t_{2v} = 193,7943 - 120 = 73,7943^\circ C$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{195}{73,7943} = 2,64$$

$$\Delta t_{ln} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \Delta t} = \frac{195 - 73,7943}{\ln 2,64} = 124,85^\circ C \quad (7.13)$$

#### 7.5 Stanovení hodnoty tepelné vodivosti $\lambda$

Tepelná vodivost  $\lambda$  pro nerezovou ocel je volena z tabulky fyzikálních vlastností kovových materiálů vycházející z literatury [1] stanovená hodnotou  $50 \text{ W/mK}$ .

#### 7.6 Výpočet součinitele přestupu tepla konvekcí proudění v řádání trubek zasebou:

Výpočet vychází z lit. [2]. Redukovaný součinitel přestupu tepla konvekcí na straně spaliny závisí na hodnotě  $\alpha_1$  – součinitel přestupu tepla z spaliny do stěny a tepelné odporu žebrování vrstvy nánosů.

Tepelný odpor žebrování závisí na jejich tloušťce, tvaru a tepelné vodivosti žebrování. Podle tvaru se dělí žebrování na typy: sobdélkové, kruhové, žlábkové. V své práci uvažuji žebrování kruhové.

### Strana spalin:

Rozteč  $s_2 = 75 \text{ mm}$ ; rozteč  $s_1 = 75 \text{ mm}$

Uřídí další důležité parametry pro odečet hodnot z monogramu:

Skutečná rychlost spalin  $w_{sp.skut.}$ :

$$w_{sp.skut.} = \frac{V_{sp.}}{S_k} \cdot \left( \frac{1 + T_{stř.}}{273,15} \right) = \frac{0,3656}{0,054} \cdot \left( \frac{1 + 204,397}{273,15} \right) = 11,74 \text{ m/s} \quad (7.14)$$

rozteč žebers  $s_z = 8 \text{ mm}$

poměr  $d/s_z = 16/8 = 2$

poměr  $h/s_z = 25/8 = 3,125$

Dále je potřeba stanovit:

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{D} = \frac{0,075}{0,02} = 3,75$$

$$\sigma_2 = \frac{s_2}{D} = \frac{0,075}{0,02} = 3,75$$

$c_z$  = opravný koeficient napočetp říčních řad vesvazku = 1,05

$c_s$  = opravný koeficient napořádání trubek vesvazku = 1,0

$c_f = 1,02 \Rightarrow r_{h_2O} = 0,06$

$$\text{střední teplota } T_{stř.} = \frac{t_{s1} + t_{s2}}{2} = \frac{215 + 193,79}{2} = 204,3972 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Z monogramu... odečtu hodnotu  $\alpha_N = 56,95 \text{ W/m}^2\text{K}$

Redukovaný součinitel řestupu tepla:

$$\alpha_{k1} = c_s c_f c_z \alpha_N = 1 \cdot 1,02 \cdot 1,05 \cdot 56,95 = 60,99 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.15)$$

Dále je potřeba určit některé důležité parametry, abychom mohli dopočítat skutečné  $\alpha_{1r}$ .

Podíl výhřevných ploch žeberek celkové plochy stran spalin:

$$\frac{S_z}{S} = \frac{\left( \frac{D_z}{D} \right)^2 - 1}{\left( \frac{D_z}{D} \right)^2 - 1 + 2 \cdot \left( \frac{s_z}{D} - \frac{d_z}{D} \right)} = \frac{\left( \frac{0,07}{0,02} \right)^2 - 1}{\left( \frac{0,07}{0,02} \right)^2 - 1 + 2 \cdot \left( \frac{0,008}{0,02} - \frac{0,0008}{0,02} \right)} = 0,94 \quad (7.16)$$

Podíl volných částí trubky, kde jsou žebra a celková plocha straně palin:

$$\frac{S_h}{S} = 1 - \frac{S_z}{S} = 1 - 0,94 = 0,06 \quad (7.17)$$

E – součinitele efektivity žebra a úhlová závislostina  $\beta \cdot h_z = 46,04 \times 0,025 = 1,151$   
a  $d_z/D = 0,07/0,02 = 3,5$  – z monogramu obr. 7.2.  
 $E = 0,55$

Výpočet  $\beta$ :

$$\beta = \sqrt{\frac{2 \cdot \psi_z \cdot \alpha_k}{d_z \cdot \lambda_z \cdot (1 + \varepsilon \cdot \psi_z \cdot \alpha_k)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,85 \cdot 60,99}{0,0008 \cdot 50 \cdot (1 + 0,0043 \cdot 0,85 \cdot 60,99)}} = 46,04 \quad (7.18)$$

$\mu$  – součinitel rozšíření žebra = 1 => nedochází k rozšíření žebra.  
 $\psi_z$  – koeficient, charakterizující nerovnoměrné rozdělení  $\alpha_k$  povrchu žebra. Pro žebra skruhových základem  $\psi_z = 0,85$   
 $\varepsilon$  – součinitel znečištění a pro spalování plynu = 0,0043

Hodnota redukovaného součinitele přestupu tepla vnitřní spalinové strany vztažená na celkovou plochu straně palin  $\alpha_{r1}$  vztahu:

$$\alpha_{r1} = \left[ \frac{S_z}{S} \cdot E \cdot \mu + \frac{S_h}{S} \right] \cdot \frac{\psi_z \cdot \alpha_k}{1 + \varepsilon \cdot \psi_z \cdot \alpha_k} = [0,94 \cdot 0,55 \cdot 1 + 0,06] \cdot \frac{0,85 \cdot 60,99}{1 + 0,0043 \cdot 0,85 \cdot 60,99} =$$

$$= 24,46 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

### Stranavody:

Stranu vody podle uvedené literatury můžeme ve výpočtu zanedbat, protože součinitel přestupu tepla  $\alpha$  vychází velmi vysoký (v řádu tisíců), proto je v rovnici přestupu tepla  $\frac{1}{\alpha}$  zanedbatelné.

### 7.7 Součinitel přestupu tepla:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{r1}} + \varepsilon} = \frac{1}{\frac{1}{24,46} + 0,0043} = 22,13 \frac{W}{m^2 K} \quad (7.19)$$

### Potřebná výhřevná plocha:

$$S_p = \frac{Q_b}{\Delta t_{ln} \cdot k} = \frac{116470}{124,85 \cdot 22,13} = 42,15 m^2 \quad (7.20)$$

Plocha trubky vztažená na 1 m délky:

$$S_{plm} = 113 \cdot \pi \cdot D \cdot s_z + 114 \cdot 2 \cdot \frac{\pi \cdot (D_z - D)^2}{4} + 114 \cdot \pi \cdot D_z \cdot d_z = (7.21)$$

$$= 113 \cdot \pi \cdot 0,02 \cdot 0,008 + 114 \cdot 2 \cdot \frac{\pi \cdot (0,07 - 0,02)^2}{4} + 114 \cdot \pi \cdot D_z \cdot d_z = 0,66 m^2$$

Plocha jednoho patra:

$$S_{1p} = S_{plm} \cdot n \cdot B = 0,66 \cdot 3 \cdot 0,36 = 0,71 m^2 \quad (7.22)$$

Celkový počet pater ve výměníku:

$$n_p = \frac{S_p}{S_{1p}} = \frac{42,15}{0,71} = 59,37 \Rightarrow 60 \text{ pater} \quad (7.23)$$

Celková výška výměníku:

$$H_v = s_2 \cdot n_p + D_z + 2 \cdot s_s + t_p = 0,075 \cdot 60 + 0,07 + 2 \cdot 0,005 + 0,005 = 4,585 m \quad (7.24)$$

kde:

- $s_s$  – mezer mezi žebry na výměníku [m]
- $t_p$  – tloušťka pláště [m]

### 7.8 Výpočet objemu výměníku tepla:

Objem jednoho žebra:

$$V_{z\bar{z}} = \frac{\pi \cdot (D_z - D)^2}{4} \cdot d_z = \frac{\pi \cdot (0,07 - 0,02)^2}{4} \cdot 0,0008 = 0,15 \cdot 10^{-5} m^3 \quad (7.25)$$

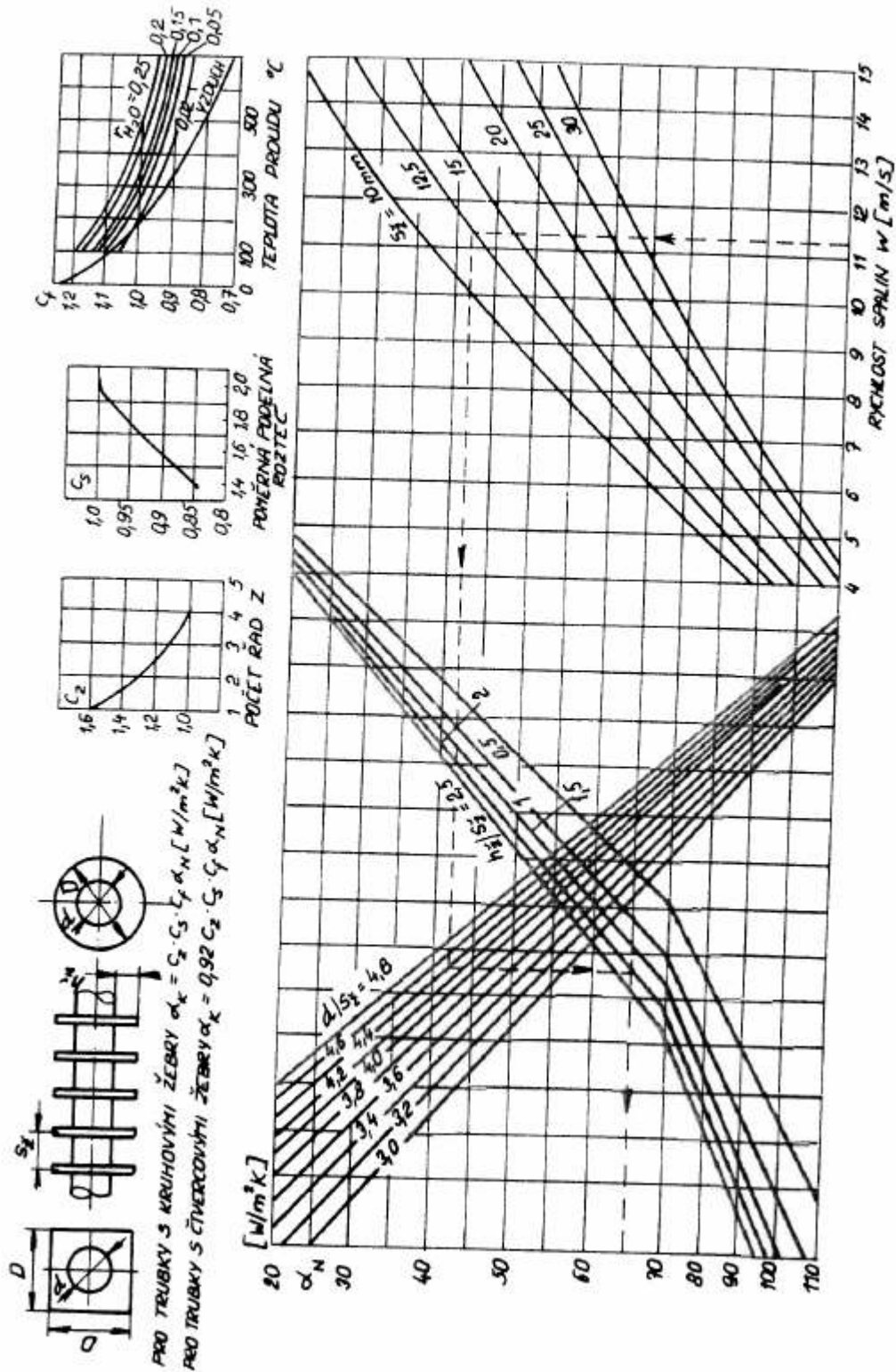
Objem trubky vespalinovém kanále:

$$V_t = \frac{\pi \cdot (D - d)^2}{4} \cdot (B - D - s_s) = (7.26)$$

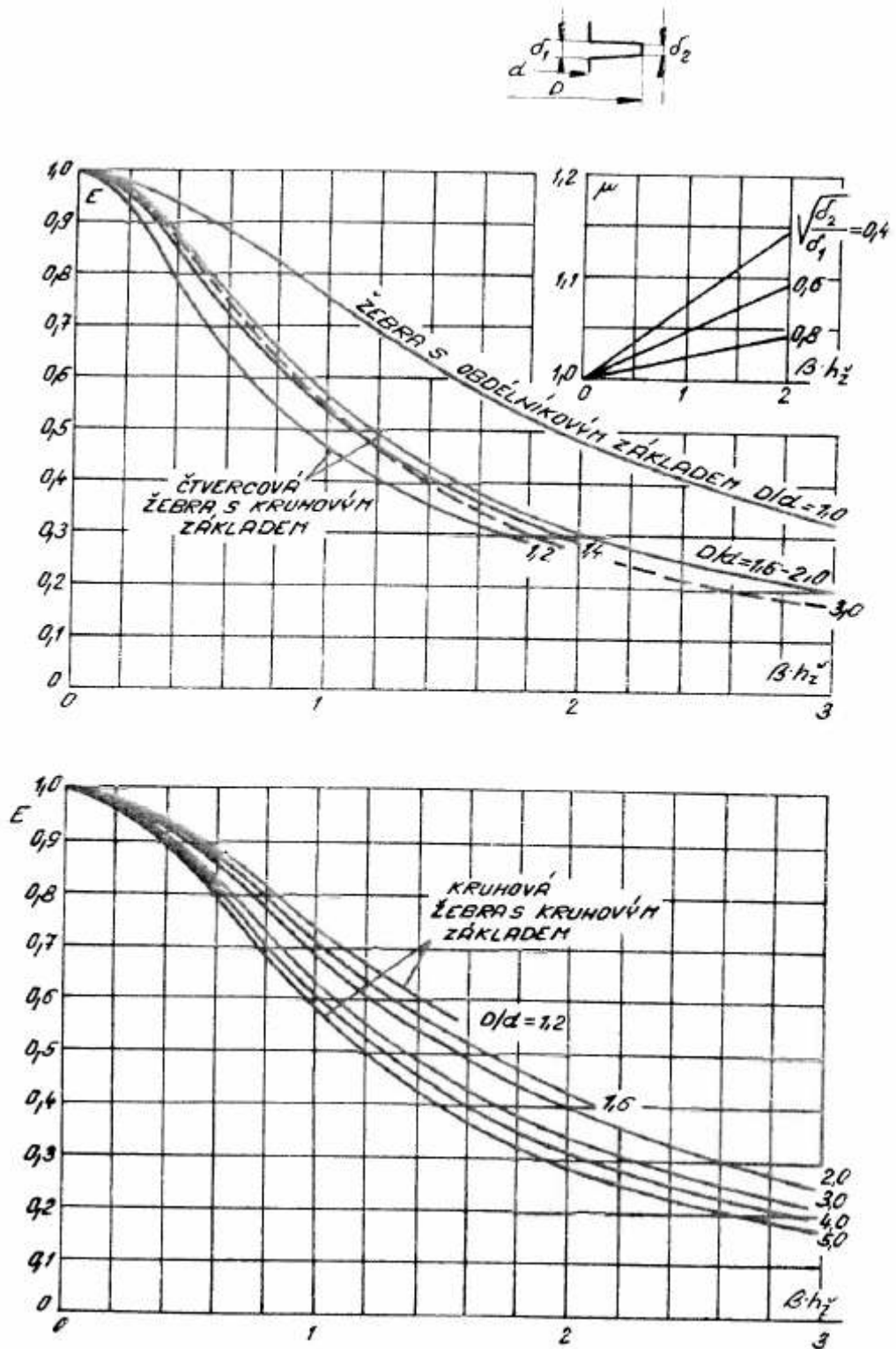
$$= \frac{\pi \cdot (0,02 - 0,016)^2}{4} \cdot (0,36 - 0,02 - 0,005) = 0,36 \cdot 10^{-4} m^3$$

Počet žebra na jednu trubku:

$$n_{1z} = 114 \cdot (B - D - s_s) = 114 \cdot (0,36 - 0,02 - 0,005) = 38 \text{ žebra} \quad (7.27)$$



Obr.7.2-Monogram prouřčení  $\alpha_N$  trubek s říčními žebry uspořádaných zasebou



Obr. 7.3 Monogram proučenie efektivity žiber



Objem najedné trubky s žebry:

$$V_{iz} = V_t + V_z \cdot n_{iz} = 0,36 \cdot 10^{-4} + 0,15 \cdot 10^{-5} \cdot 38 = 0,9 \cdot 10^{-4} m^3 \quad (7.28)$$

Celkový objem všech trubek:

$$V_{c.tr.} = n \cdot n_p \cdot V_{iz} = 3 \cdot 60 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4} = 0,0162 m^3 \quad (7.29)$$

Objem ohrnutých částí potrubí:

$$V_o = \frac{\pi(D-d)^2}{4} \cdot s_2 \cdot n_p \cdot n = \frac{\pi(0,02-0,16)^2}{4} \cdot 0,07 \cdot 60 \cdot 3 = 0,0002 m^3 \quad (7.30)$$

Objem pláště v ým ěníku:

$$V_{pl.} = A \cdot H_v \cdot t_p \cdot 2 + B \cdot H_v \cdot t_p \cdot 2 = 0,225 \cdot 4,2 \cdot 0,005 \cdot 2 + 0,36 \cdot 4,2 \cdot 0,005 \cdot 2 = 0,02457 m^3$$

Celkový objem v ým ěníku:

$$V_c = V_{pl.} + V_o + V_{c.tr.} = 0,0162 + 0,0002 + 0,02457 = 0,041 m^3 \quad (7.31)$$

Hustota železa je u řazená v tabulce fyzikálních vlastností tuhých látek a hodnota:  
 $\rho = 7700 \text{ kg/m}^3$

Hmotnost celive ým ěníku:

$$m_v = V_c \cdot \rho = 0,041 \cdot 7700 = 315,7 \text{ kg} \quad (7.32)$$

Stanovení ceny v ým ěníku:

Lze po čítat, že 1 kg ocel stojí 100 Kč. Cena v ým ěníku je tedy:

$$N_v = m_v \cdot 100 = 315,7 \cdot 100 = 31570 \text{ Kč} \quad (7.33)$$

K cen ě jedále nutné po řipočítat montáž a dopln ěnky, které činí asi 50% ceny oceli.

$$N_{vc} = N_v \cdot 1,5 = 31570 \cdot 1,5 = 47355 \text{ Kč}$$

## 7.9 Roční úspory:

Roční úspora tepelné energie:

$$Q_r = Q_b \cdot n \cdot i \cdot 0,0036 = 116,47 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 0,0036 = 838,6 [GJ] \quad (7.34)$$

kde:

- i - počet provozních hodin za den
- j - počet provozních dnů za rok

Cena 1 GJ činí přibližně 307 Kč

Celková finanční úspora za rok:

$$CF = Q_r \cdot 307 = 838,6 \cdot 307 = 257450,2 \text{ Kč} \quad (7.35)$$

### 7.10 Ekonomická analýza navrženého tepelného výměníku:

Vstupní údaje ekonomického hodnocení:

- Celkové investiční náklady  $N_i = 47355, -\text{Kč}$
- Roční úspora  $CF = 257450, -\text{Kč}$
- Diskontní sazba  $d = 0,75\%$
- Doba hodnocení projektu 10 let

Diskontní sazba podle ČNB k datu 22.10.2009 činí 0,75%.

Diskontovaný tok peněz v  $j$ -tém roce. Vzorec je jen v obecném tvaru. Pro příklad uvádím výpočet pro první čtyři roky. Zbývající hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.3.

$$DCF_j = DCF_{(j-1)} + CF(1+d)^{-j} \quad (7.36)$$

$$DCF_1 = DCF_{(1-0)} + CF(1+d)^{-1} = -47,35 + 257,45 \cdot (1+0,0075)^{-1} = 208 \text{ Kč}$$

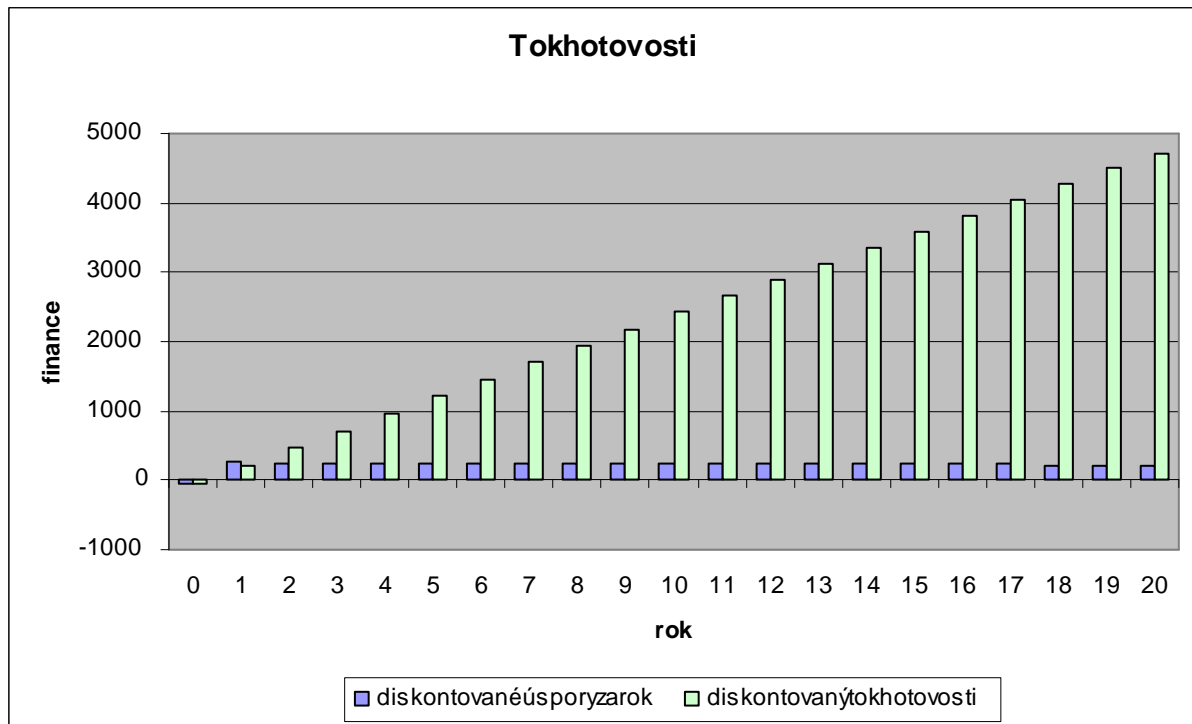
Tab. 7.3 - Hodnoty DFC pro jednotlivé roky v tis. Kč

Rok	CF	$CF(1+d)^j$	$DCF_j$
0	-47	-47	-47
1	257,45	255,5335	208
2	257,45	253,63126	462
3	257,45	251,74319	714
4	257,45	249,86917	963
5	257,45	248,0091	1211
6	257,45	246,16288	1458
7	257,45	244,3304	1702
8	257,45	242,51157	1944
9	257,45	240,70627	2185
10	257,45	238,91441	2424

Doba splatnosti bez uvažování časové hodnoty peněz:

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{47355}{257450} = 0,2 \text{ roku} \quad (7.37)$$

Graf. 6 - Diskontovaný průběh ročních úspor diskontované hotovosti DCF



Doba splatnosti s uvažováním časové hodnoty peněz:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 0,2 \cdot 0,0075}}{\ln(1 + 0,0075)} = 0,2 \text{ let} \quad (7.38)$$

Vnitřní výnosné procento:

$$N_i - \sum_{j=0}^{T_s} CF \cdot (1 + d)^{-j} = 0 \quad (7.39)$$

Pro  $d$  zvoleno 0,1:

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{[(1 + d)^{T_s} - 1]}{(1 + d)^{T_s}} = \frac{257450}{47355} \cdot \frac{(1,1^{15} - 1)}{1,1^{15}} = 3,34$$

obdobně se počítá pro další hodnoty:

$$d=0,2 \Rightarrow 4,6$$

$$d=0,3 \Rightarrow 5,0$$

$$d=0,4 \Rightarrow 5,2 \text{ atd.}$$

Pro provedení iterací číselný výpočet ukázal, že vnitřní výnosné procento vychází 540%.

## 8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit a optimalizovat energetické hospodářství galvanovny, kterou vlastní firma CZSVAZIKO Vyškov. Úvodní část práce je vyhodnocení současného stavu a dále vstupní a výstupní energetické toky popisem jednotlivých technických zařízení.

První návrh snížení energetické náročnosti se týká konstrukční úpravy budovy. Jednalo se o zateplení vnějších stěn a výměnu oken a světlíků. Výpočtem jsem došel k závěru, že touto variantou je možné ušetřit až 15% tepelné energie. Celkové náklady na toto řešení činí 615000,- Kč. Celkové úspory za rok vycházejí kolem 135000,- Kč. Z toho vyplývá, že návratnost celé investice vychází kolem 45 let bez zohlednění znehodnocování hodnoty peněz. Je tedy zřejmé, že tato varianta není příliš výhodná a provádět ji jako samostatné řešení by bylo neúnávrnné.

Další možností bylo nové vzduchotechnické zařízení, které by nahradilo stávající. Navrhované zařízení je navrženo s rekuperační jednotkou, která přispívá k vylepšení tepelné bilance galvanovny tím, že ohřívá vstupující vzduch do prostoru galvanovny odpadním výstupním vzduchem.

Celková investice projektu se pohybuje kolem 1960000,- Kč. Úspory za rok činí přibližně 1800000,- Kč a návratnost celé projektu se pohybuje v horizontu 12–13 let. Toto zařízení je velice nákladné, protože je potřeba zohlednit prostředí, ve kterém pracuje. Jedná se o prostředí s koncentracemi kyselých a zásaditých roztoků, a tak bylo navrženo nerezové potrubí a nerezové jednotky, aby odolaly těmto nebezpečným sloučeninám. Nerez je v tomto případě velice výhodná, protože má zaručenou odolnost vůči odpařovaným sloučeninám. Pro nejbezpečnější lázně by bylo vyprojektováno lokální odsávání.

Dále je potřeba si uvědomit, že sloučeniny s vysokou koncentrací mohou vytvořit výbušnou směs, která je nežádoucí a je nutné k tomu přihlídnout ve výpočtech a projektu VZT.

Návrh je zpracován na základě dostupných informací, které nejsou komplexní, zejména co se týče složení odpadních lázní. Odbornou analýzu VZT v galvanovně nabídly firmy Bosch a Janka, ale z nedostatku informací o stavu složení odsávaného vzduchu zlázní nemohla být provedena. Proto při návrhu doporučuji zpracovat odbornou analýzu výparů a jejich reaktivnost a na základě výsledků poptat specializovanou firmu. Z výsledku analýzy může vyplynout, že agresivními lázněmi mohou být i jiné, než jsem uvedl ve své práci. Je také potřeba respektovat emisní limity a konzultovat je s hygienickými ústředními.

Další investicí by byly stavební úpravy parcel, kde by byly umístěny VZT jednotky. Jednalo by se zejména o vybourání některých říček.

Pro snížení ceny vzduchotechniky je možné vynechat některé technické vybavení. Jedná se zejména o havarijní větrání, které je vybaveno nevýbušnými ventilátory a dále je možné použít VZT jiné, podobně navržené. Trh nabízí i plastové jednotky, které by byly určitě také vhodné použít, avšak jejich cena je poměrně vysoká. Obvyklejší pozinkované potrubí a technické součásti jsou nevyhovující, když jejich cena je poměrně vyšší, než u pouhých nerezových ocelí.

Další variantou byl tepelný výměník trubkový s podélným obtékáním. Výpočtem bylo zjištěno, že celková investice se pohybuje kolem 65000,- Kč. Roční úspora energie vychází kolem 255000,- Kč. Tento výměník je z hlediska ekonomiky velice výhodný, protože jeho návratnost je nižší jak 0,25 roku. Avšak z technického hlediska je poměrně nevýhodný,

protože délka jeho potrubí je poměrně dlouhá a dále skutečná rychlost vody v trubkách je malá. Pohybuje se okolo 0,2 m/s. Z těchto důvodů bych jej nedoporučil pro skutečnou realizaci.

Jako poslední možnost jsem navrhl tepelný výměník s příčným prouděním. Tento výměník je výhodnější jak po stránce technické, tak po stránce ekonomické, než předchozí. Jednak je rozměrově velice kompaktní, rychlost vody v trubkách se pohybuje okolo 0,5 m/s a jeho cena se pohybuje okolo 48000,- Kč. Tepelná úspora za rok činí přibližně 838,6 GJ, což představuje úsporu asi 257000,- Kč. Z těchto důvodů se jeví jako nejlepší varianta použít právě tento tepelný výměník.

## 9. Seznam použité literatury:

- [1] KUBEŠOVÁ MARIE: Energetický audit výrobního objektu CZSVAZIKO Vyškov  
[2] BUDAJ FLORIAN: Parní kotle – podklady pro tepelný výpočet, Nakladatelství VUT Brno 1992  
[3] DLOUHÝ TOMÁŠ: Výpočet kotlů a spalínových výměníků, Nakladatelství ČVUT 2007, 4. vydání  
[4] MIROSLAV JÍCHA: Plynové tepelné látky, Akademické nakladatelství CERM 2001 ISBN 80-214-2029-4  
[5] BARTOŠ JOSEF AKOL.: Strojnické tabulky, Nakladatelství SNTL Praha 1970  
[6] KADRNOŽKA JAROSLAV, LADISLAV OCHRANA: Tepelná izolace, Akademické nakladatelství CERM 2001, ISBN 80-7204-222-x  
[7] OCHRANA LADISLAV: Kotle a výměníky tepla, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2004, ISBN 80-214-2847-3  
[8] CIHLÁŘ, GEBAUER, POČINKOVÁ: Technická zařízení budov – Ústřední vytápění  
[9] J. CHYSKÝ, K. HEMZALAKOL.: Větrání a klimatizace, Praha 1993, 3. přepracované vydání, ISBN 80-901574-0-8

### internetové stránky

- [10] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)  
[11] [www.Powerwiki.cz](http://www.Powerwiki.cz)  
[12] [www.Fortplast.cz](http://www.Fortplast.cz)  
[13] [www.plastika.cz](http://www.plastika.cz)  
[14] [www.mmgroup.cz](http://www.mmgroup.cz)  
[15] [www.ciur.cz](http://www.ciur.cz)  
[16] [www.Eurotherm-cz.cz](http://www.Eurotherm-cz.cz)  
[17] [www.Tipi-navodyestrechy.cz](http://www.Tipi-navodyestrechy.cz)  
[18] [www.plastovaoknabrno.cz](http://www.plastovaoknabrno.cz)

## 10. Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam symbolu	Jednotka
<b>Výpočet p řestup tepla budovy</b>		
$U_N$	součinitel p řestup tepla	$W/m^2K$
$\lambda$	součinitel tep. vodivosti	$W/mK$
$d$	tloušť ka	m
$B$	charakteristické číslo budovy	-
$M$	charakteristické číslo místnosti	-
$\Delta t$	rozdíl venkovní a vnitřní teploty	$^{\circ}C$
$Q_0$	tep. ztráta pro obvodovou stěnu	W
$K_c$	celkový p řestup tepla	$W/m^2K$
$Q_c$	výsledná tepelná ztráta	$W/m^2K$
$N_i$	celkové náklady	Kč
CF	cashflow	Kč
$d$	diskontní sazba	%
$T_i$	dobahodnocení projektu	roky
$T_0$	dobasplatnost bez časového hodnoty peněz	roky
$T_s$	dobasplatnost s čas. hodnocením peněz	roky
<b>VZT</b>		
$V_{př}$	množství p říváděného vzduchu	$m^3/s$
$V_{od}$	množství odváděného vzduchu	$m^3/s$
$T$	teplota	$^{\circ}C$
$\rho$	hustota	$kg/m^3$
$m_{pr}$	hmotnostní p řítok p řísávaného vzduchu	kg/s
$m_{od}$	hmotnostní p řítok odváděného vzduchu	kg/s
$Q_p$	množství tepla	kW
$Q_{př}$	teplo p řísávaného vzduchu	kW
$Q_{ods}$	teplo odváděného vzduchu	kW
$c_p$	m ěrná tepelná kapacita	$kJ/kgK$
$n$	počet provozních hodin za den	-
$i$	počet provozních dnů v roce	-
<b>Tepelné výměníky</b>		
$T_{2vyst}$	výstupní teplota spalin	$^{\circ}C$
$T_{2vst}$	vstupní teplota spalin	$^{\circ}C$
$V_c$	množství spalin	$m^3/s$
$i_{v1}$	entalpie vody vstupující do výměníku	$kJ/kg$
$i_{v2}$	entalpie vody vystupující z výměníku	$kJ/kg$
$i_{sp1}$	entalpie spalin vstupující do výměníku	$kJ/m^3$
$i_{sp2}$	entalpie spalin vystupující z výměníku	$kJ/m^3$
$T_{1vst.}$	teplota vody vstupující do výměníku	$^{\circ}C$
$T_{2vyst}$	teplota vody vystupující z výměníku	$^{\circ}C$
$m_p$	p řítok vody	kg/s
$v_{sp}, W_{sp}$	rychlost spalin	m/s
$v_v, W_v$	rychlost vody	m/s
$d$	vnitřní p říměr trubky	m
$t$	tloušť ka stěny trubky	m

$d_e$	vnější průměr trubky	m
<b>Symbol</b>	<b>Význam symbolu</b>	<b>Jednotka</b>
$d_{stř}$	střední průměr trubky	m
$S_{tr}$	průřez jedné trubky	$m^2$
$N_{tr}, n_{tr}$	počet trubek	-
$S_{skut.}$	skutečná hodnota průřezu	$m^2$
$v_{vskut.}$	skutečná rychlost vody v trubce	m/s
$s$	rozetč	m
$D_i$	vnitřní průměr pláště	m
$F_e$	průřez mezi trubkovým prostorem	$m^2$
$d_{he}$	vnější mezi trubkový průměr říční průřez	$m^2$
$o$	smočený obvod	m
$\alpha_1$	součinitel přestupu tepla vody	$W/m^2K$
$\alpha_2$	součinitel přestupu tepla na straně spalin	$W/m^2K$
$C_t, C_l, C_m$	opravné koeficienty	-
$\eta$	dynamická viskozita	$Pa \cdot s$
$R_{1,2,3}$	tepelné odpory	$m^2K/W$
$S_{celk. výhř.}$	celková výhřevná plocha	$m^2$
$L$	délka trubek	m
$V_{1t}$	objem trubky	$m^3$
$V_t$	objem trubek ve výměníku	$m^3$
$V_{pl.}$	objem pláště	$m^3$
$V_k$	objem oběhové vody	$m^3$
$V_v$	objem celkový	$m^3$
$Q_r$	uspořené energie za rok	GJ
$N_u$	celková finanční úspora	Kč
$h_z$	výška žebra	m
$d_z$	tloušťka žebra	m
$s_z$	rozetč žeber	m
$A/B$	šířka/hloubka spalinového kanálu	m
$E$	součinitel efektivity žebra	-
$\mu$	součinitel rozšíření žebra	-
$\psi_z$	koef. charakterizující nerovnoměrné rozdělení	-
$\varepsilon$	součinitel zanešení	-
$S_p$	potřebná plocha výměníku	$m^2$
$S_{p1m}$	plocha trubky vztahovaná na 1 m	$m^2/m$
$S_{1p}$	plocha jednoho patra	$m^2$
$n_p$	celkový počet patra	-
$V_z$	objem jednoho žebra	$m^3$
$V_{tž}$	objem jednoho trubkus žebra	$m^3$
$V_{c.tr.}$	celkový objem jednoho trubkus	$m^3$
$V_o$	objem ohnutých částí potrubí	$m^3$
$m_v$	hmotnost výměníku	kg
$N_v$	cena výměníku	Kč

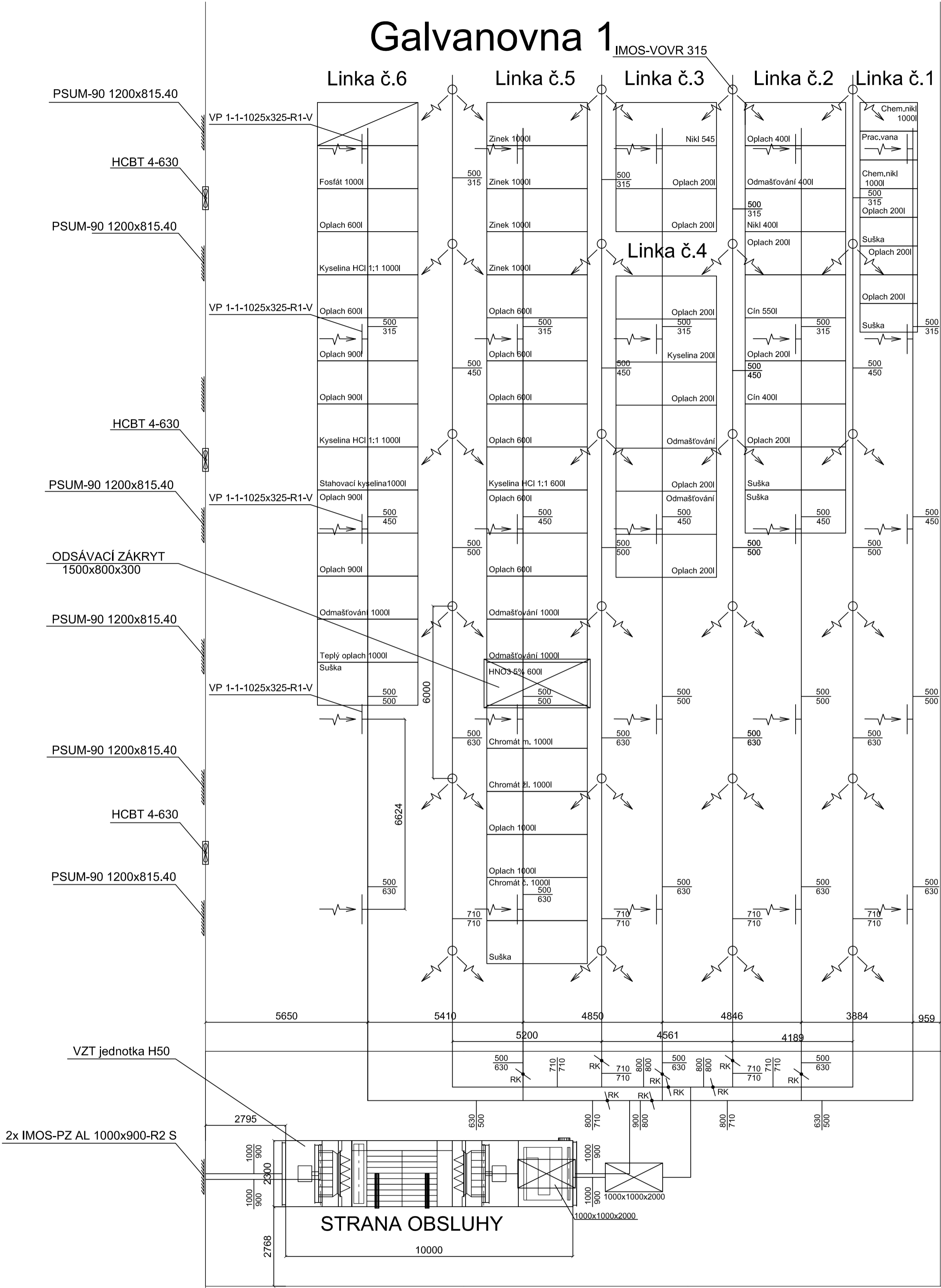


## Seznam příloh

1. Technická dokumentace rekuperačním jednotkám
2. Technický výkres galvanovny 1
3. Technický výkres galvanovny 2
4. Sestava tepelného výměníku s řídicím prouděním

# Galvanovna 1

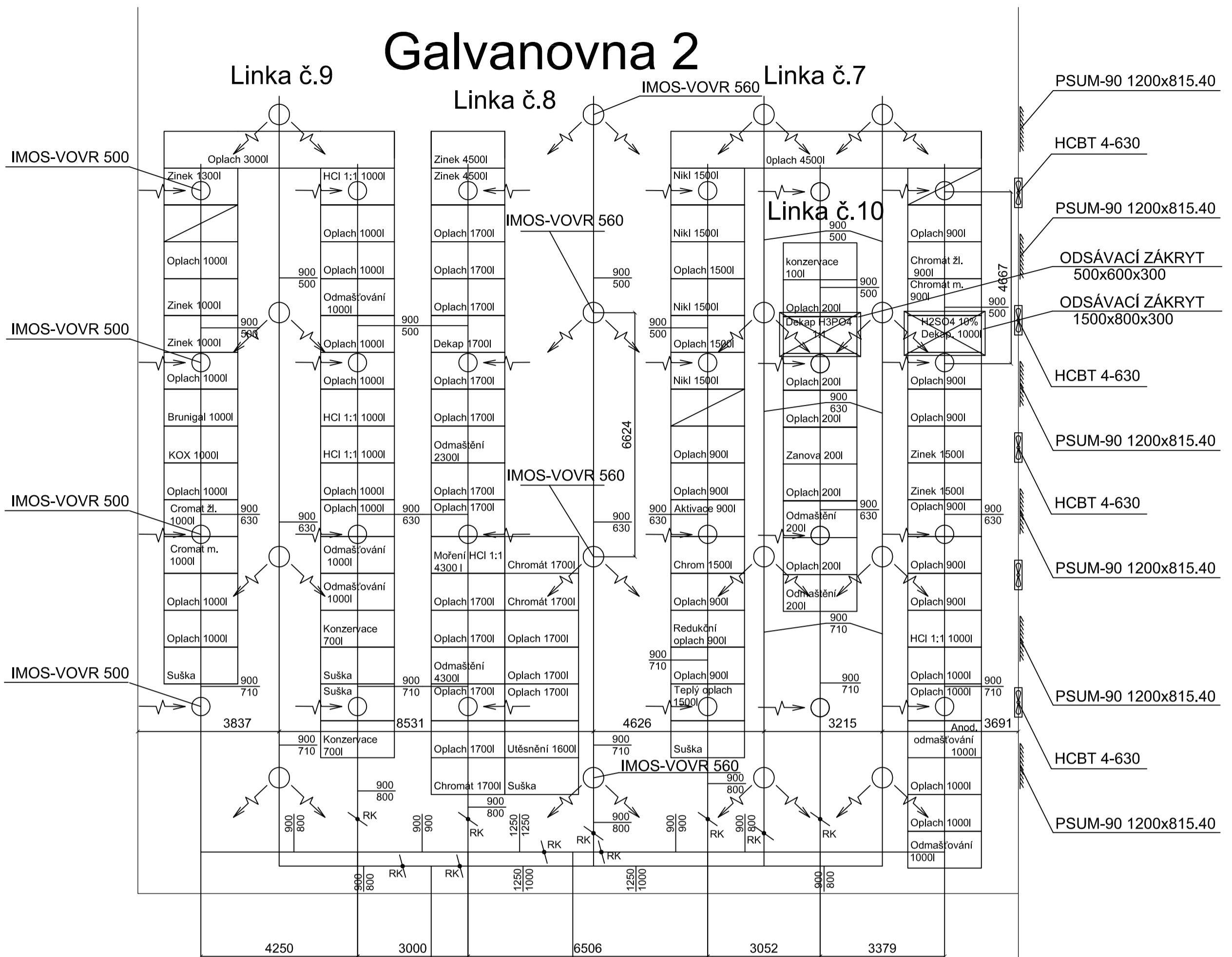
IMOS-VOVR 315



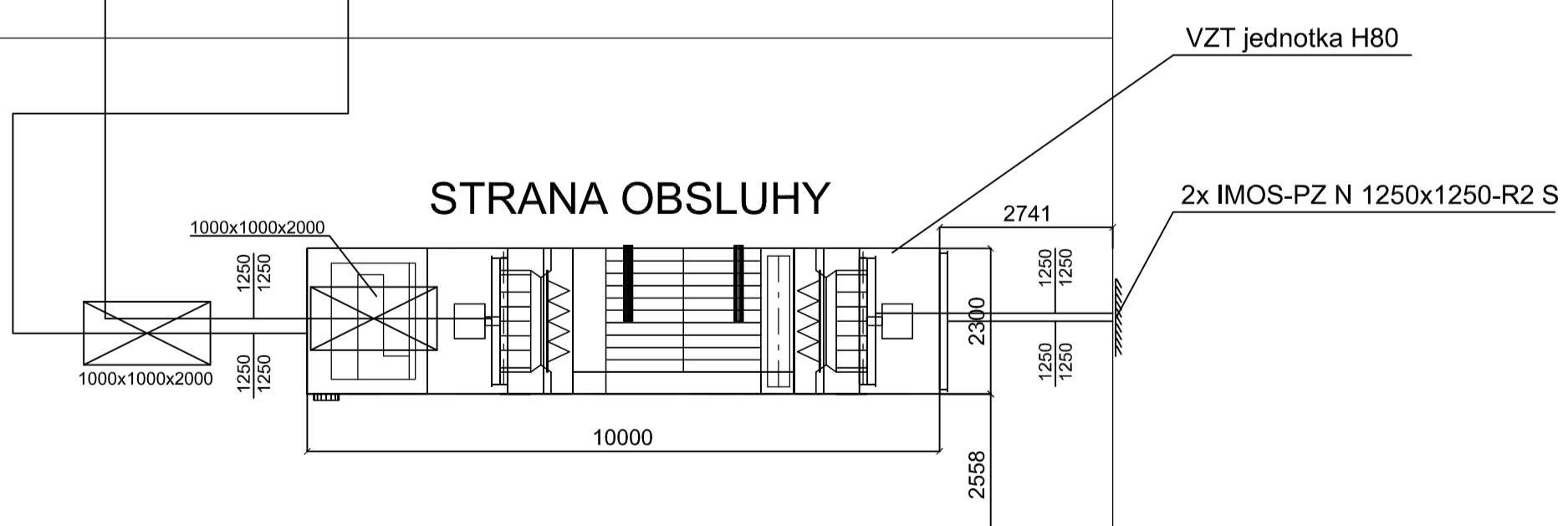
Adm.

HLINĚZ.PROJEKTU	Bc. LUKÁŠ PAVLÍČEK	PŘÍMÝ ZPRACOVATEL	VUT FSI EÚ			ZOUP.PROJEKTANT	doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.		
INVESTOR	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ					VYPRACOVAL	Bc. LUKÁŠ PAVLÍČEK		
STAVBA	<b>CZS SVAZIKO Vyškov</b>					STUPEŇ	SP		
ČÁST	VZDUCHOTECHNIKA					DATUM	29.05.2009		
NÁZEV VÝKRESU	PŮDORYS GALVANOVNY 1					POČET F A4	4x A4		
						Č.ZAKÁZKY	001		
						ARCH.ČÍSLO	001		
						MĚŘÍTKO	ČÍSLO VÝKRESU	REVIZE	
						1:100	001	00	

# Galvanovna 2

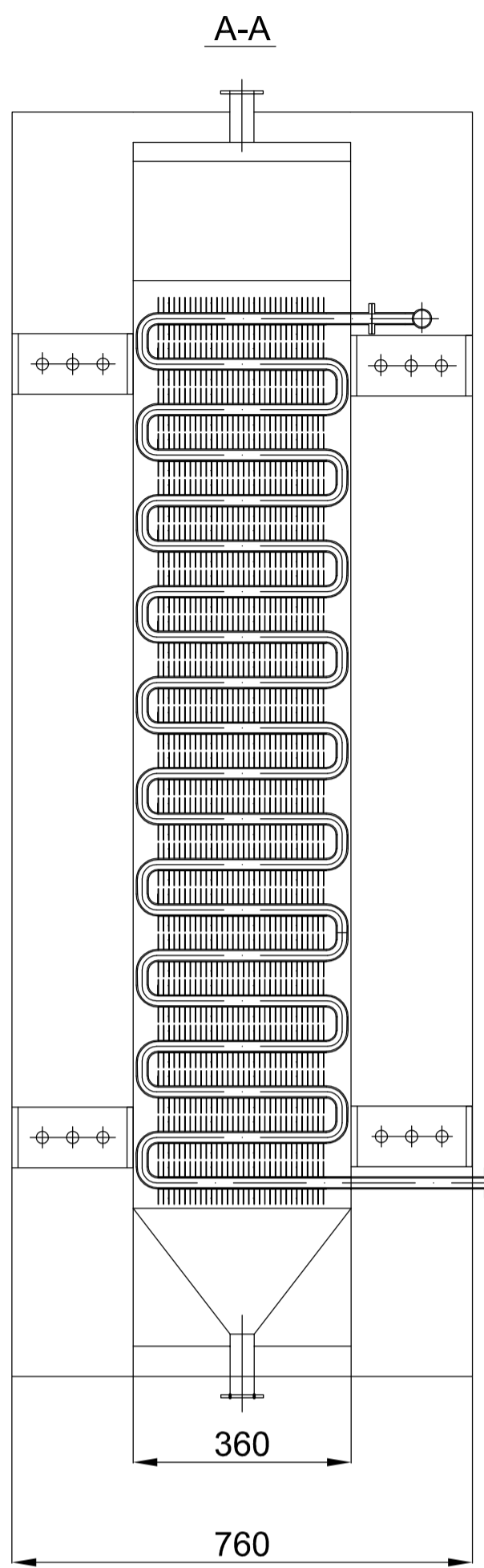
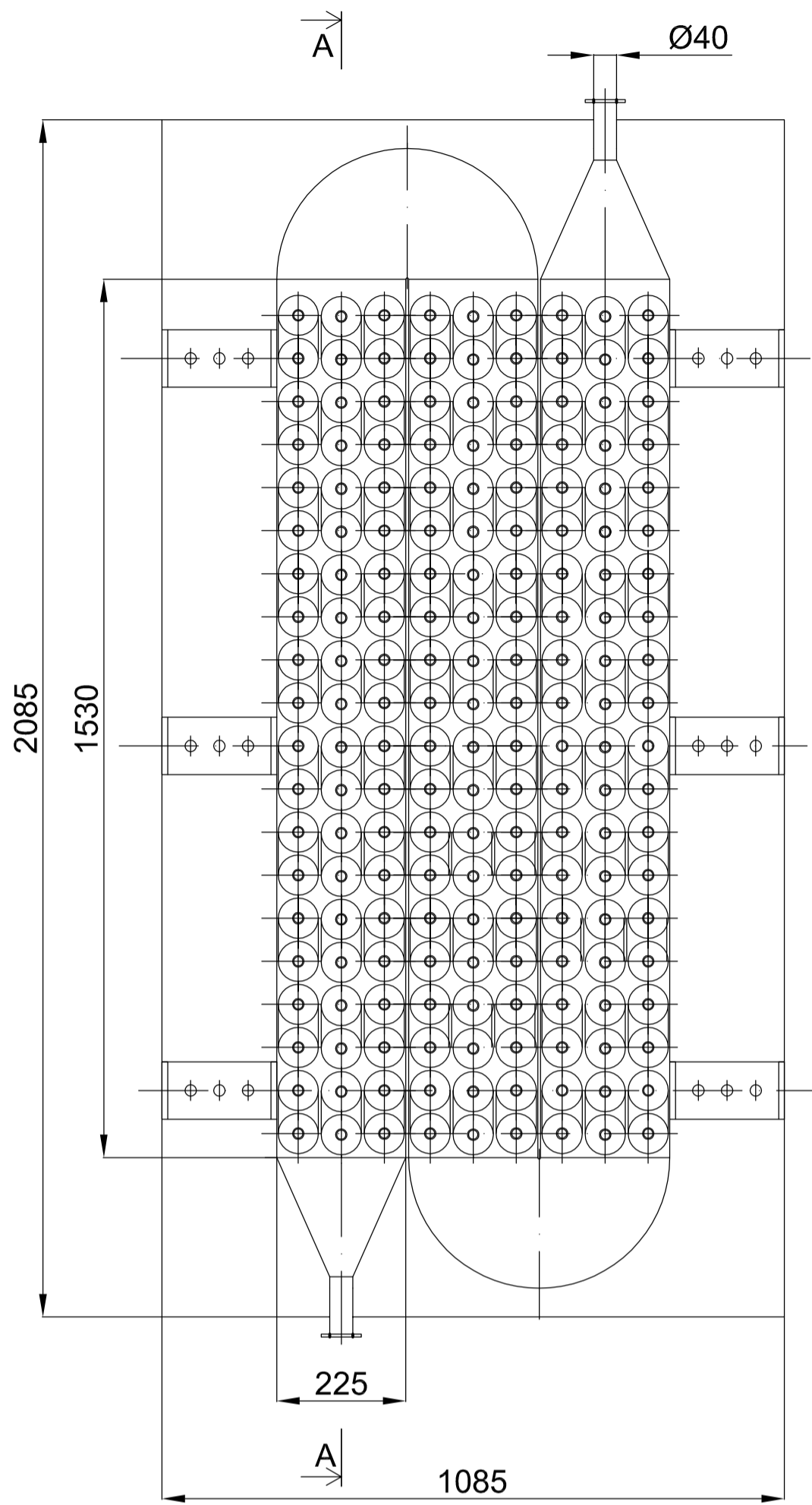


n. a šatny



HLINÍŽ.PROJEKTU Bc. LUKÁŠ PAVLIČEK		PRÍMÝ ZPRACOVATEL <b>VUT FSI EÚ</b>		ZODP.PROJEKTANT doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.	
INVESTOR VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ		STAVBA <b>CZS SVAZIKO Vyškov STUDIE</b>		VYPRACOVAL Bc. LUKÁŠ PAVLIČEK	
ČÁST VZDUCHOTECHNIKA		NÁZEV VÝKRESU PŮDORYS GALVANOVNY 2		STUPĚN SP DATUM 29.05.2009 POČET F A4 4x A4 Č.ZAKÁZKY 001 ARCH.ČÍSLO 001	
		MĚŘÍTKO 1:100		ČÍSLO VÝKRESU 002	
				REVIZE 00	





HL.INŽ.PROJEKTU Bc. LUKÁŠ PAVLIČEK		PŘÍMÝ ZPRACOVATEL <b>VUT FSI EÚ</b>	ZOO.PROJEKTANT doc. Ing. JIŘÍ POSPIŠIL, Ph.D.	
INVESTOR VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ			VYPRACOVAL Bc. LUKÁŠ PAVLIČEK	
STAVBA <b>CZS SVAZIKO Vyškov STUDIE</b>			STUPEŇ SP	
ČÁST OHŘEV VODY			DATUM 29.05.2009	
NÁZEV VÝKRESU VÝMĚNÍK - KŘÍŽOVÉ VEDENÍ			POČET F A4 4 x A4	
			Č.ZAKÁZKY 001	
			ARCH.ČÍSLO 001	
	MĚŘÍTKO 1:100	ČÍSLO VÝKRESU 004	REVIZE 00	