

VÝVOJ NÁKLADOVÉHO HODNOCENÍ APRETACE ODLITKŮ (IV. etapa)  
PROJEKT XV



Sborník přednášek

Seminář XIV, UNEX, a.s., UNIČOV, 25.3.2015

**Koordinátor:** Doc. Ing. Václav Kafka, CSc.

<b><u>Řešitelé:</u></b>	Ing. Zdeněk Brázda	Ing. Michael Fík
	p. Miroslav Herzán	Ing. Pavel Jelínek
	Ing. Vojtěch Král	Ing. Ivo Lána, Ph.D.
	Bc. Roman Miča	Ing. Marcel Novobilský
	Ing. Josef Obrtlík	p. Miroslav Šaulík
	Ing. Peter Uhrík	Ing. Blanka Vyletová

DSB EURO, s.r.o., Blansko  
JIHOMORAVSKÁ ARMATURKA, spol. s.r.o., Hodonín  
KRÁLOVOPOLSKÁ SLÉVÁRNA, s.r.o., Brno  
SLÉVÁRNA A MODELÁRNA NOVÉ RANSKO, s.r.o., Nové Ransko  
SLÉVÁRNY TŘINEC, a.s., Třinec  
TECHCONSULT Praha, s.r.o.  
TEPELNÁ ZAŘÍZENÍ FÍK, s.r.o., Praha  
VÍTKOVICKÉ SLÉVÁRNY, spol. s r.o., Ostrava  
ZLH PLUS, a.s. Hronec,  
ŽĐAS, a.s., Žďár nad Sázavou

Práce byla vykonána za finanční podpory Odborné komise ekonomické ČSS Brno  
a zúčastněných společností.

BŘEZEN 2015



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VÝCHOZÍ SITUACE PROJEKTU XV .....</b>	<b>1</b>
<b>2.1</b>	<b>Zevrubný popis použité metodiky stanovení nákladů .....</b>	<b>1</b>
<b>2.2</b>	<b>Úvodní práce řešitelského týmu PROJEKTU XV .....</b>	<b>2</b>
2.2.1	Rozšíření řešitelského týmu PROJEKTU XIV.....	2
2.2.2	Zařazení nových odlitků do sledování.....	2
<b>3</b>	<b>CÍLE PROJEKTU XV.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>INFORMACE O ŘEŠITELSKÝCH ORGANIZACÍCH V PROJEKTU XV .....</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>ODLITKY SLEDOVANÉ V PROJEKTU XV .....</b>	<b>3</b>
<b>5.1</b>	<b>Odlitky z litiny zahrnuté ve sledování.....</b>	<b>3</b>
<b>5.2</b>	<b>Odlitky z oceli zahrnuté ve sledování .....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>VYBRANÉ CHARAKTERISTIKY ODLITKŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>6.1</b>	<b>ŠETŘENÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK U LITINOVÝCH ODLITKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>6.2</b>	<b>ŠETŘENÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK U OCELOVÝCH ODLITKŮ .....</b>	<b>10</b>
<b>6.3</b>	<b>SHRNUTÍ ŠETŘENÍ ZÁVISLOSTÍ NÁKLADŮ NA APRETACI NA VYBRANÝCH CHARAKTERISTIKÁCH ODLITKŮ</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>POSOUZENÍ FÁZE TRYSKÁNÍ U ROZŠÍŘENÝCH SOUBORŮ.....</b>	<b>11</b>
<b>7.1</b>	<b>Hodnocení nákladů litinových a ocelových odlitků.....</b>	<b>11</b>
7.1.1	Litinové odlitky .....	12
7.1.2	OCELOVÉ ODLITKY .....	13
7.1.3	Shrnutí nákladovosti na tryskání u obou druhů odlitků.....	15
<b>7.2</b>	<b>Posuzování efektivity práce tryskacího zařízení.....</b>	<b>15</b>
7.2.1	Využití ukazatele Jednotné spotřeby abraziva (JSA) .....	16
7.2.1.1	Hodnocení ukazatele jednotné spotřeby abraziva (JSA) .....	17
7.2.2	SOUČASNÝ STAV TRYSKACÍ TECHNIKY VE SLÉVÁRNÁCH .....	20
7.2.2.1	TECHNICKÝ STAV TRYSKACÍCH ZAŘÍZENÍ VE SLÉVÁRNĚ H.....	20
7.2.2.2	TECHNICKÝ STAV TRYSKACÍCH ZAŘÍZENÍ VE SLÉVÁRNĚ I .....	29
7.2.2.3	TECHNICKÝ STAV TRYSKACÍCH ZAŘÍZENÍ VE SLÉVÁRNĚ J .....	29
7.2.2.4	SHRNUTÍ SITUACE V TRYSKACÍ TECHNICE .....	31
<b>7.3</b>	<b>OPATŘENÍ VEDOUcí K OPTIMALIZACÍ NÁKLADŮ NA TRYSKÁNÍ.....</b>	<b>32</b>
7.3.1	Opatření technického charakteru.....	32
7.3.2	Opatření motivačního charakteru .....	33
<b>7.4</b>	<b>Shrnutí problematiky tryskání řešené v PROJEKTECH .....</b>	<b>34</b>
7.4.1	Náklady na tryskání OCELOVÝCH odlitků – naměřené na odlitcích PROJEKTŮ.....	35

7.4.2	Náklady na tryskání LITINOVÝCH odlitků - naměřené na odlitcích PROJEKTŮ .....	35
7.4.3	Nálezy ve slévárnách dle posouzení ing. Pavla Jelínka.....	35
7.4.4	Doporučení.....	36
7.4.4.1	Pracovní směs abraziva.....	36
7.4.4.2	Abrazivo.....	36
7.4.4.3	Sledování spotřeby abraziva .....	37
7.4.4.4	Možnost ovlivnění nákladů tryskání .....	37
<b>8</b>	<b>POKRAČOVÁNÍ ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ.....</b>	<b>38</b>
<b>8.1</b>	<b>NÁKLADOVÁ NÁROČNOST TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ U OCELOVÝCH ODLITKŮ .....</b>	<b>38</b>
<b>8.2</b>	<b>Posouzení výrobní fáze tepelného zpracování hodnocením nákladů jednotlivých pecí .....</b>	<b>39</b>
8.2.1	Charakteristika žíhacích pecí ve slévárnách zařazených do PROJEKTU (tab. 8.1).....	40
8.2.2	ÚVODNÍ HODNOCENÍ ŽÍHACÍCH PECÍ VE SLÉVÁRNÁCH ZAŘAZENÝCH DO PROJEKTU XV .....	41
8.2.2.1	Posouzení nákladů na TeZ zahrnující plyn a údržbu - $N_{(p,u)}$ .....	42
8.2.2.2	Posouzení nákladů na TeZ zahrnující plyn, elektrickou energii a údržbu - $N_{(p,e,u)}$ .....	44
8.2.2.3	Hledání aspektů, které ovlivňují účinnost cyklu .....	45
<b>8.3</b>	<b>Posouzení pecí na tepelné zpracování.....</b>	<b>46</b>
8.3.1	Slévárna H .....	46
8.3.2	Slévárna J .....	49
8.3.3	Slévárna I.....	50
<b>8.4</b>	<b>Závěr posouzení nákladovosti tepelného zpracování u rozšířeného souboru ocelových odlitků .....</b>	<b>51</b>
8.4.1	Možná zaměření pokračování řešení v oblasti TeZ.....	51
8.4.1.1	Optimalizace diagramu tepelného zpracování.....	52
<b>8.5</b>	<b>Problematika sledování nákladů na tepelné zpracování u hliníkových slitin .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU.....</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>SHRNUTÍ A ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>64</b>

# 1 ÚVOD

Odborná komise ekonomická ČSS od r. 2000 nákladově posuzuje jednotlivé hlavní fáze výroby odlitků. Cílem těchto prací je postupně podrobit všechny fáze nákladové analýze a následně vytvořit nákladové modely, které by umožnily zjistit nákladovou náročnost každého konkrétního odlitku. Posléze - když dokážeme příslušnou nákladovou hodnotu měřit – je také možné ji řídit.

Již čtvrtým rokem se věnujeme oblasti apretace odlitků. V předložené práci řešitelský kolektiv pokračuje v posuzování otázek mechanického čištění (tryskání) u litinových a ocelových odlitků. Do této oblasti začleňuje zejména odlitky ze sléváren, které nově vstoupily do řešitelského týmu. Navazuje na hledání závislosti apretačních nákladů na charakteristických veličinách odlitků.

A také pokračujeme v řešení velice komplikované otázky tepelného zpracování ocelových odlitků.

V předložené studii nechceme pokud možno opakovat zjištěné skutečnosti z minulých třech PROJEKTŮ, které se otázkám apretace věnovaly. Pokud je to nezbytné, pak se na výsledky zjištěné v předcházejících PROJEKTECH odvoláváme.

## 2 VÝCHOZÍ SITUACE PROJEKTU XV

Otázkám apretace odlitků se věnujeme, jak bylo vzpomenuto, již čtvrtým PROJEKTEM. Cílem výchozího PROJEKTU XII (PXII) - /1/, který se začal zabývat problematikou apretace odlitků, bylo vyvinout metodiku nákladového ohodnocení hlavní výrobní fáze apretace. A samozřejmě, podle vyvinuté metodiky, stanovit náklady na vybrané odlitky pro všechny zvolené dílčí výrobní fáze.

Poté jsme se v následujícím PXIII - /2/ zaměřili na systematické hodnocení jednotlivých dílčích výrobních fází apretace. Hlavním posláním PXIII bylo hledat cesty, které by měly za následek snížení nákladovosti apretace ocelových odlitků u mechanického čištění (tryskání). A dále vyvinout charakteristické hodnoty, které by co nejpřesněji vystihovaly povrchové, hmotnostní a tvarové odlišnosti posuzovaných odlitků. Zaměřili jsme se zejména na otázky tryskání u ocelových odlitků. Dále bylo definováno celkem osm charakteristických hodnot odlitků. S těmi jsme následně posuzovali závislosti na nákladech apretace.

V navazujícím PROJEKTU XIV - /3/ jsme analyzovali hlavní vlivy, které rozhodujícím způsobem ovlivňují nákladovou náročnost mechanického čištění (tryskání) u litinových odlitků. Dále jsme zahájili práce na analýze nákladů na tepelné zpracování ocelových odlitků.

Vzhledem k tomu, že PROJEKT XV v zásadě završuje problematiku tryskání a dále rozpracovává otázky tepelného zpracování, považujeme za nezbytné alespoň ve výtahu zopakovat hlavní metodické zásady řešení.

### 2.1 Zevrubný popis použité metodiky stanovení nákladů

Viz Příloha 2

## **2.2 Úvodní práce řešitelského týmu PROJEKTU XV**

V PROJEKTU XV jsme se v první řadě zaměřili na rozšíření řešitelského kolektivu a zařazení nových odlitků do sledování.

### **2.2.1 Rozšíření řešitelského týmu PROJEKTU XIV**

V úvodu řešení každého PROJEKTU se řešitelský tým vždy snaží rozšířit o další slévárny. U PXV jsme doplnili kolektiv sléváren o VÍTKOVICKÉ SLÉVÁRNY, spol. s.r.o. Ostrava, DSB EURO Blansko, s.r.o. a ZLH Plus, a.s. Hronec.

Dále jsme se snažili zapojit Slévárnu ČKD Kutná Hora, a.s., TOS-MET Slévárna a. s. Čelákovice a S+C ALFANA METAL Tršice. To se však nepodařilo.

Kolektiv řešitelů se tedy vytvořil z pěti původních a tří nově zapojených sléváren, dvou specialistů, koordinátora a studentů VŠB-TU Ostrava.

### **2.2.2 Zařazení nových odlitků do sledování**

K původně posuzovaným odlitkům (viz PROJEKT XIV - /3/) přibyly další.

Nově zařazená slévárna – Slévárna H si pro řešení PXV zvolila dva odlitky. První s názvem Nosič lopatek o hrubé hmotnosti 700 kg z litiny s kuličkovým grafitem (LKG). Tento odlitek byl označen podle původního systému značení jako O.29. A druhý s názvem Trojník o hrubé hmotnosti 950 kg byl z oceli, označen jako O.30.

Podobně Slévárna I dodala zpracované podklady pro 2 nové odlitky. První s číslem O.31 – Převodovka z LKG a hrubé hmotnosti 118 kg. Druhý - O.32 s názvem Těleso z oceli o hrubé hmotnosti 48 kg. Zde je třeba dodat, že slévárna neměla v této kategorii odlitek, který by hmotnostně odpovídal obecným záměrům posuzování vedeného v rámci PROJEKTŮ. Potřebovala však nákladovost výroby svých odlitků posoudit, proto volila odlitek, který se jí jevil jako odpovídající.

Slévárna I pracovala s ocelovým odlitkem O.33 s názvem Kuželové ozubené kolo o hrubé hmotnosti 976 kg.

Dále budeme definovat cíle PROJEKTU XV.

### **3 Cíle PROJEKTU XV**

Na základě závěrů PROJEKTŮ XII, XIII a XIV si řešitelský kolektiv pro PROJEKT XV vytkl následující cíle:

- Zařadit do souborů odlitků, včetně jejich charakteristik a nákladových atributů dosud posuzovaných v PROJEKTECH, odlitky nově zapojených sléváren. Stanovit pro nové odlitky jejich charakteristiky a nákladové atributy.
- Nově posoudit rozšířené soubory charakteristik odlitků včetně jejich možných závislostí na nákladovosti.
- Nově posoudit u rozšířených souborů odlitků nákladovost tryskání a tepelného zpracování.
- Rozšířit úhel pohledu na posouzení tryskání odlitků o ukazatele jednotkové spotřeby abraziva vztaženého na příkon turbíny.
- U tepelného zpracování odlitků hledat účinnostní ukazatel výrobního cyklu.
- Navrhnout vhodné pokračování řešení v PROJEKTU XVI.

Následně považujeme za vhodné dát alespoň rámcové informace o řešitelských organizacích zapojených do řešení.

### **4 INFORMACE O ŘEŠITELSKÝCH ORGANIZACÍCH V PROJEKTU XV**

Viz Příloha P2.

Následně bude vhodné podat alespoň základní informace o odlitcích, které jsou v PROJEKTU XV sledovány.

### **5 ODLITKY SLEDOVANÉ V PROJEKTU XV**

Nejprve se zaměříme na litinové odlitky.

#### **5.1 Odlitky z litiny zahrnuté ve sledování**

Celkem bylo do PROJEKTU XV zařazeno 17 odlitků z litiny. Jejich vybrané ukazatele jsou uvedeny v **tab. 5.1**.

**Tab. 5.1: Litinové odlitky**

		Slévárna D							Slévárna J				Slévárna E		Slévárna G		Slévárna H	Slévárna J
		Skříň 1	Skříň 2	Tischgehaue	Těleso ZETA	Laterne	Těleso	Těleso	Odlitek 1	Odlitek 2	Příčnick	Lože	COPPA OLIO	KARTER	Těleso	Těleso	Nosič lopatek	Převodovka
Ukazatel		O.11	O.12	O.13	O.14	O.21	O.27	O.28	O.15	O.16	O.17	O.18	O.19	O.20	O.25	O.26	O.29	O.31
1	<b>Hrubá hmotnost [kg]</b>	89	136	141	118	878	15	17	4640	3400	27900	560	127	84	13,5	115	700	118
2	<b>Zařazení hmotnostní</b>	1	1	1	1	2	1	1	10	7	11	2	1	1	1	1	2	1
3	<b>Zařazení tvarové</b>	4	4	5	5	4	2	5	2	2	5	6	5	3	5	2	2	3
4	<b>Druh litiny</b>	LLG	LLG	LLG	LLG	LKG	LLG	LLG	LLG	LLG	LLG	LLG	LLG	LLG	LKG	LKG	LKG	LLG

**Tab. 5.2: Ocelové odlitky zařazené do sledování**

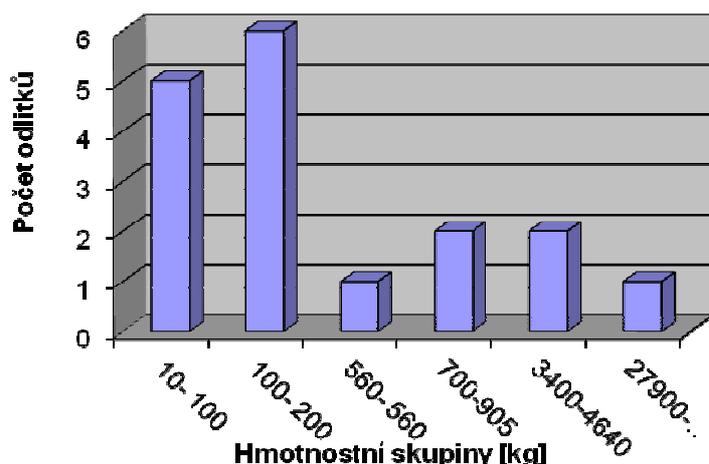
Název		Slévárna E		Slévárna C			Slévárna F		Slévárna H	Slévárna I	Slévárna J
		Dno kelímku	Planeten-trager	Kolo	Náboj	Rám	Čep	Vnitřní skříň	Trojník	Těleso	Kuželové ozubené kolo
		O.1	O.2	O.3	O.4	O.22	O.23	O.24	O.30	O.32	O.33
1	<b>Hrubá hmotnost (kg)</b>	1050	955	805	905	950	1100	1100	950	48	976
2	<b>Zařazení hmotnostní</b>	3	2	2	2	2	3	3	2	1	2
3	<b>Zařazení tvarové</b>	2	3	2	2	2	3	5	4	3	2
4	<b>Ocel</b>	uhlíková	nízkoleg.	nízkoleg.	uhlíková	uhlíková	nízkoleg.	nízkoleg.	stř.leg.	uhlíková	uhlíková

Soubor těchto odlitek se během řešení PROJEKTŮ postupně vyvíjel. Původně v PXII /1/ byl záměr pracovat s litinovými odlitky o hrubé hmotnosti cca 100 kg. Postupně se však v důsledku zařazení dalších sléváren do řešitelského týmu a jejich sortimentního omezení dostávaly do řešení litinové odlitky s jinými hmotnostmi. Dále jsme také měli porozumění pro zájem sléváren nákladově posoudit jimi vybraný odlitek.

Je třeba dodat, že podrobné informace o „původních“ odlitcích (z PXII, PXIII a PXIV) jsou detailně popsány v /3/. Nově zařazené odlitky v PROJEKTU XV (O.29 a O.31) mají uvedeny detailní postupy výrobních úkonů v P2. Jejich nákladové profily jsou shrnuty v P1. V tabulkových přílohách na CD Romu záměrně necháváme různé poznámky a podklady pro tvorbu grafů a tabulek. Tento postup se ukázal v minulosti jak pro řešitele, tak i pro uživatele vhodný. Záměrně také v P4 uvádíme ze stejných důvodů tabulky a grafy v originální formě.

Skutečností tedy je, že ve výběrovém souboru litinových odlitek se jejich hrubé hmotnosti pohybují od 13,5 kg do 27900 kg (viz **tab. 5.1, ř.1**). Názorně je uveden rozptyl hrubé hmotnosti odlitek na **obr. 5.1**.

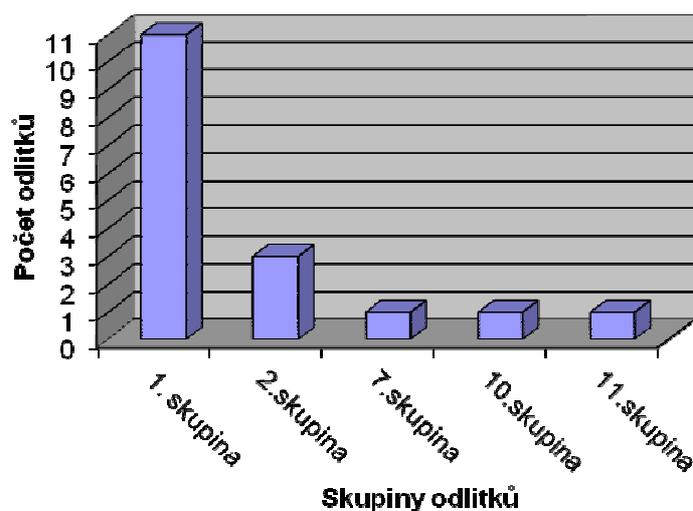
**Obr. 5.1: Histogram četnosti hmotnostního rozložení litinových odlitek**



Z něj je zřejmé, že 5 odlitek je v pásmu do 100 kg a následně 6 od 100 kg do 200 kg. To představuje prakticky dvě třetiny všech posuzovaných odlitek. Uvedený histogram signalizuje relativně velký hmotnostní rozptyl.

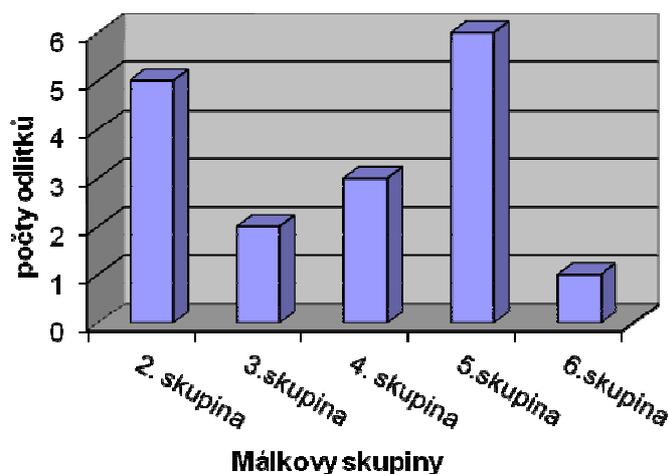
Poněkud relativně příznivější rozložení odlitek signalizuje zařazení dle Málkova hmotnostního třídění (viz /1/, s.39) – **tab. 5.1, ř. 2**. Málek do první skupiny řadí odlitky s hrubou hmotností do 500 kg. A do druhé skupiny od 500 kg do 1000 kg. Z **obr. 5.2** vyplývá, že v první a druhé hmotnostní skupině dle Málka je celkem 82 % odlitek našeho výběrového souboru.

Obr. 5.2: Histogram četnosti hmotnostního zařazení odlitků dle Málka



V ř.3 tab. 5.1, je zařazení odlitků dle Málkova třídění podle tvaru odlitků (viz /1/, s. 40). Doplňme, že se zvyšující se skupinou členění dle tvaru (skupiny 1 – 6) vzrůstá „komplikovanost“ vyráběného odlitku. Situace je názorně uvedena na obr. 5.3.

Obr. 5.3: Histogram četnosti litinových odlitků členěných podle tvaru dle Málka



Z něj vyplývá skutečně rozsáhlá členitost posuzovaných odlitků. Dodejme pouze, že 35 % odlitků je vedeno v 5. skupině a necelých 30 % ve skupině druhé.

Připojme ještě, že 13 odlitků z výběrového souboru je z LLG a zbylé 4 z LKG.

## 5.2 Odlitky z oceli zahrnuté ve sledování

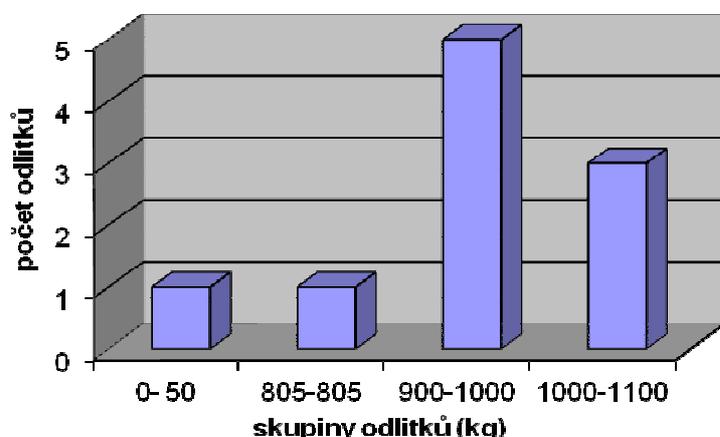
Celkem bylo do PROJEKTU XV zařazeno 10 odlitků z oceli. Sedm z původních sledování (O.1 - O.24) a tři nově zařazené v PROJEKTU XV (O. 30, O.32 a O.33). Je třeba dodat, že ve sledování jich bylo zařazeno původně celkem 17. Některé však neměly ohodnoceny veškeré výrobní fáze (kupříkladu tepelné zpracování). Proto je v šetření PROJEKTU XV využíváme pouze částečně. Vybrané ukazatele deseti odlitků jsou uvedeny v tab. 5.2.

Soubor ocelových odlitků se během řešení PROJEKTŮ podobně jako u litinových postupně vyvíjel. Původně v PXII /1/ byl záměr pracovat s odlitky z oceli o hrubé hmotnosti cca 1000 kg. Postupně se však v důsledku zařazení dalších sléváren do řešitelského týmu a jejich sortimentního omezení dostávaly do řešení odlitky s jinými hmotnostmi. Dále jsme také měli opět porozumění pro zájem sléváren nákladově posoudit vybraný odlitek.

Je třeba dodat, že podrobné informace o „původních“ odlitcích (z PXII, PXIII a PXIV) jsou opět detailně popsány v /3/. Nově zařazené odlitky v PROJEKTU XV (O.30, O.32 a O.33) mají uvedeny detailní postupy výrobních úkonů v P2. Jejich nákladové údaje jsou shrnuty rovněž v P1.

Skutečností tedy je, že ve výběrovém souboru ocelových odlitků se jejich hrubé hmotnosti pohybují od 48 kg do 1100 kg (viz **tab. 5.2, ř.1**). Názorně je uveden rozptyl hrubé hmotnosti odlitků na **obr. 5.4**.

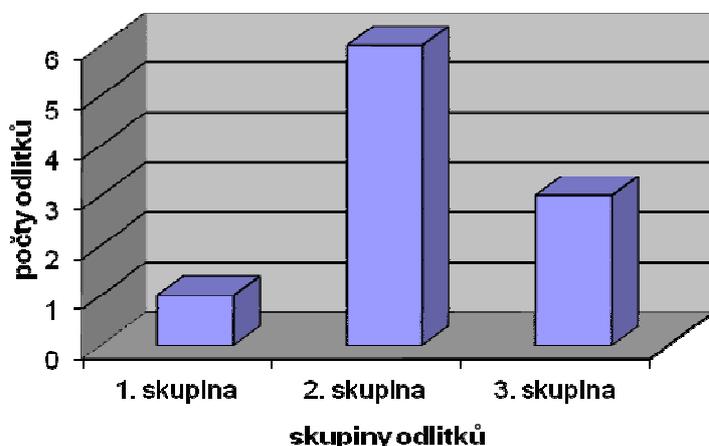
**Obr. 5.4: Histogram četnosti hmotnostního rozložení ocelových odlitků**



Z něj je zřejmé, že 5 odlitků je v pásmu od 900 kg do 1000 kg. A následně od 1000 kg do 1100 kg jsou další 3 odlitky. To představuje 80 % všech odlitků ve výběrovém souboru. Zcela zásadně se vyděluje odlitek O.32 se 48 kg hrubé hmotnosti. Uvedený histogram signalizuje opět relativně velký rozptyl.

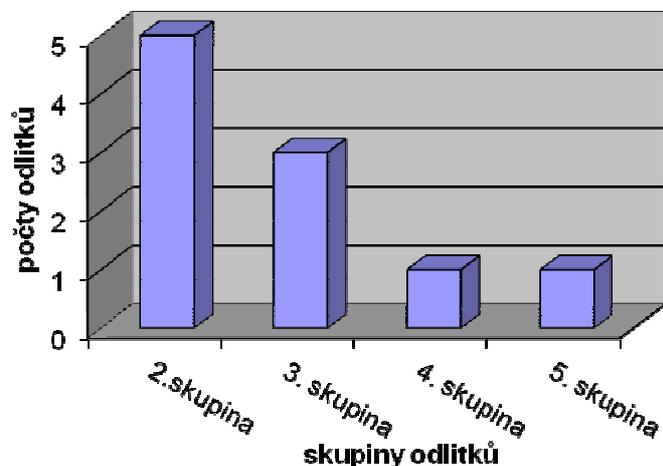
Hmotnostní zařazení odlitků podle Málka - viz **tab. 5.2, ř. 2** a **obr. 5.5** uvádějí, že 6 odlitků je zařazeno ve 2. skupině a 3 ve skupině třetí. Nejmenší odlitek se nachází v 1. skupině.

**Obr. 5.5: Histogram četnosti hmotnostního zařazení ocelových odlitků dle Málka**



V ř. 3, tab. 5.2, je zařazení odlitků dle Málkova třídění podle tvaru odlitků (viz /1/, s.40). Situace je názorně uvedena na obr. 5.6.

Obr. 5.6: Histogram četnosti tvarového zařazení ocelových odlitků dle Málka



Z něj opět vyplývá členitost posuzovaných odlitků. Padesát procent odlitků je vedeno ve 2. skupině a 30 % ve skupině třetí. Po jednom odlitku je ve skupině čtvrté a páté.

Doplňme, že 5 odlitků je z uhlíkové oceli, 4 z nízkolegované a jeden ze středně legované.

Následně se zaměříme na hodnocení rozšířených souborů odlitků - tedy jejich vybrané charakteristiky.

## 6 VYBRANÉ CHARAKTERISTIKY ODLITKŮ

Úvodní práce v oblasti výběru a stanovení charakteristik odlitků byly provedeny již v PXII a PXIII. Hledání charakteristik odlitků bylo dáno mimořádnou složitostí vyráběných odlitků. Z toho vyplynula snaha najít takové charakteristiky, s pomocí kterých bude možné problematiku hodnocení nákladovosti do jisté míry zjednodušit. A následně se snad i dopracovat k možným závislostem zejména u nákladových veličin na jejich hodnotách. Tato problematika je rozpracována v /1,2/.

Na základě těchto východisek a dalších šetření v PXIV jsme se dopracovali k osmi charakteristikám odlitků, viz tab. 6.1.

Tab. 6.1: Vybrané charakteristiky odlitků

číslo sl./ř.	pojmenování	označení	jednotky	vymezení	poznámka
	1	2	3	4	5
1	<b>Hmotnostní zařazení</b>	$\Omega_{hm}$	číslo skupiny	zařazení do 11 skupin	dělení dle Mála
2	<b>Tvarové zařazení</b>	$\Omega_{tv}$	číslo skupiny	zařazení do 6 skupin	dělení dle Mála
3	<b>Hrubá hmotnost odlitku</b>	$\Omega_{hmo}$	kg	skutečná hmotnost	
4	<b>Modul odlitku</b>	$\Omega_{mo}$	cm	objem odlitku/povrch odlitku	
5	<b>Objem kvádrů</b>	$\Omega_{ok}$	dm <sup>3</sup>	a*b*c	nejmenší objem kvádrů
6	<b>Brhelovo kritérium</b>	$\Omega_{br}$	kg/dm <sup>3</sup>	hrubá hmotnost odlitku/objem odlitku	
7	<b>Brhel-Jelínkovo kr.</b>	$\Omega_{br-jl}$	kg <sup>2</sup> /dm <sup>3</sup>	Brhelovo kritérium*hrubá hmotnost odlitku	
8	<b>Herzánovo kr.</b>	$\Omega_{hr}$	1/dm <sup>3</sup>	Brhelovo kritérium/hrubá hmotnost odlitku	

Tyto charakteristiky byly následně stanoveny pro veškeré odlitky, které byly zařazeny do sledování. Charakteristiky pro litinové odlitky jsou uvedeny v **tab. 6.2 v P3**. Podobně stejné údaje pro ocelové odlitky jsou soustředěny v **tab. 6.3 v P3**.

**Tab. 6.2 a 6.3** zahrnují v závěrečných čtyřech sloupcích náklady na apretaci odlitků v členění na materiálové (MN), zpracovací (ZN) a neúplně vlastní náklady (NVN). Je třeba dodat, že pracujeme s tak zvanými náklady výrobními (skupina A). Tato skupina nákladů zahrnuje pouze ty výdaje vynaložené na opravu pouze povrchových vad po provedení vizuální kontroly. Pokud zákazník vyžaduje vyšší požadavky na vnitřní čistotu a homogenitu odlitku dle nedestruktivních zkoušek (NDT), pak je třeba vynaložit další náklady na následné opravy – sk. C a na zkušební testy – sk.B. Ty pro vzájemné porovnání nákladové náročnosti apretace odlitků nejsou námi již posuzovány.

Následně se zaměříme již na posouzení závislosti nákladů na apretaci na jednotlivých charakteristikách odlitků.

## 6.1 ŠETŘENÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK U LITINOVÝCH ODLITKŮ

Na základě závěrů z PXIV jsme se zaměřili na zkoumání závislosti u stejné hmotnostní skupiny odlitků. V daném případě to byla 1. hmotnostní skupina - tedy odlitky do 500 kg hrubé hmotnosti odlitků (viz **sl.3, tab. 6.2**). Posuzovaly se lineární závislosti, kdy závisle proměnnou byly NVN sk. A v Kč/kg (**sl. 17. v tab. 6.2**) a nezávisle proměnnou jednotlivé charakteristiky odlitků – viz **sl.4, 8 – 11**.

Pro stanovené závislosti byly porovnány jejich koeficienty korelace  $R_{skut}$  s koeficientem korelace kritickým -  $R_{krit}$ . Zjištěné výsledky jsou shrnuty v **tab. 6.4 v ř.1,2.**

**Tab. 6.4: Koeficienty korelace závislostí nákladů na charakteristikách odlitků**

			počet odlitků	hrubá hmotnost	modul	objem kvádra	Brhelovo kritérium	Brhel-Jelínkovo	Herzánovo	$R_{krit}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	litina	apretace	11	0,4085	0,53388	0,183	0,188	0,5374	0,3725	0,6021
2	litina	apretace	10	0,5989	0,4338					0,6319
3	ocel	apretace	9	0,4261		0,1334	0,3192	0,097	0,4154	0,6664
4	ocel	apretace	8		0,2578					0,7067

Ze vzpomenuté **tab.6.4** vyplývá, že lineární závislost u všech posuzovaných charakteristik je  $R_{skut}$  (**sl.4-9**) menší než  $R_{krit}$  (**sl.10**). To tedy znamená, že u daných charakteristik nebyla prokázána statistická závislost.

Podobně jsme postupovali i u ocelových odlitků.

## 6.2 ŠETŘENÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK U OCELOVÝCH ODLITKŮ

Podobně jsme postupovali se zkoumáním závislosti u stejné hmotnostní skupiny i u ocelových odlitků viz **tab. 6.3 v P3**. V daném případě jsme se také snažili posuzovat odlitky s blízkými hrubým hmotnostmi.

Vzhledem ke specifickému rozložení hmotností odlitků (**sl. 3. tab. 6.3**) jsme ze sledování závislostí vyřadili odlitek O.32 s hmotností 48 kg. Tím ve výběrovém souboru zůstaly odlitky o hrubé hmotnosti od 805 kg do 1100 kg. Byť se toto hmotnostní rozmezí nekryje s Málkovým tříděním, rozhodli jsme se s ním pracovat.

Opět se posuzovaly lineární závislosti, kdy závisle proměnnou byly NVN sk. A v Kč/kg (**sl. 14. v tab. 6.3**) a nezávisle proměnnou jednotlivé charakteristiky odlitků – viz **sl. 3 - 8**.

Pro stanovené závislosti byly opět porovnány jejich koeficienty korelace  $R_{skut}$  s  $R_{krit}$ . Zjištěné výsledky jsou opět shrnuty v **tab. 6.4 v ř. 3,4**. Ze vzpomenuté **tab. 6.4** vyplývá, že u lineární závislosti u všech posuzovaných charakteristik je  $R_{skut}$  (**sl. 4-9**) menší než  $R_{krit}$  (**sl. 10**). To tedy opět znamená, že u daných charakteristik ocelových odlitků také nebyla prokázána statistická závislost.

### **6.3 SHRNUTÍ ŠETŘENÍ ZÁVISLOSTÍ NÁKLADŮ NA APRETACI NA VYBRANÝCH CHARAKTERISTIKÁCH ODLITKŮ**

Při shrnutí této problematiky je nezbytné se odvolat na šetření provedené v PXIV /3/, s. 12 – 27. Tam jsme v podobném zkoumání závislostí nákladů na apretaci výběrového souboru 10 litinových odlitků prokázali lineární závislost pouze u modulu a Brhel – Jelínkova kritéria. U zbylých charakteristik jsme statistický stupeň závislosti neprokázali.

Jiná situace byla při posuzování souboru s vyšším počtem odlitků. Je třeba doplnit, že se jedná o výběrové soubory odlitků, které byly sledovány slévárnami a pro PXIV jsme je využili pro posouzení závislostí.

U Slévárny G jsme pracovali s 41 litinovými odlitky. Tam se ukázala jako statisticky významná závislost nákladů na minimálním objemu kvádrů, Herzánovu kritériu, hrubé hmotnosti odlitků a Brhel – Jelínkovu kritériu. Nejvyšší stupeň statistické závislosti – měřeno koeficientem regrese  $R^2$  (od 53 % do 60 %) vykazovala závislost na modulu.

Podobná skutečnost byla konstatována ve Slévárně F. Tam na několika výběrových souborech několika tisíc ocelových odlitků byla prokázána silná statistická závislost nákladů na apretaci na hrubé hmotnosti odlitku a modulu odlitku.

Shrneme-li uvedené skutečnosti, vyplývají nám pro další šetření v zamýšleném PROJEKTU XVI tyto náměty:

- a) pokusit se na velkých souborech odlitků v některé další slévárně ověřit závěry zjištěné ve Slévárně G a ve Slévárně F. Potřebnými velkými soubory tohoto charakteru v současné době nedisponují ani ve Slévárně H ani ve Slévárně J. Slévárna I má jisté soustředění potřebných dat. Tam bude potřeba situaci prošetřit a posoudit její použitelnost pro tyto záměry.
- b) Jako zásadní se jeví posoudit reálné využití těchto závislostí pro konkrétní řízení nákladovosti apretace odlitků ve slévárnách. Tento úkol by mohl být jedním ze stěžejních úloh v zamýšleném PROJEKTU XVI.

Následně se zaměříme na nákladové posouzení tryskání rozšířených souborů litinových a ocelových odlitků o nové slévárny.

## **7 POSOUZENÍ FÁZE TRYSKÁNÍ U ROZŠÍŘENÝCH SOUBORŮ**

Nejprve se zaměříme na vlastní posouzení nákladovosti.

### **7.1 Hodnocení nákladů litinových a ocelových odlitků**

V úvodu se věnujeme litinovým odlitkům.

### 7.1.1 Litinové odlitky

Vyjdeme ze základních nákladových údajů apretace odlitků. Východisko pro jejich stanovení je v **tab.7.1 (PŘÍLOHA 3)**. V této tabulce jsou uvedeny náklady na apretaci v členění tak jak se s nimi pracovalo v PXIV. Tedy v měrných nákladech (Kč/kg). U zpracovatelů jsou uvedeny podklady podstatně detailnější (tedy členění na materiálové a zpracovací náklady a s náklady na odlitek celkem). V závěru **tab. 7.1** jsou ve **sl. 18 až 20** uvedeny vybrané statistické ukazatele.

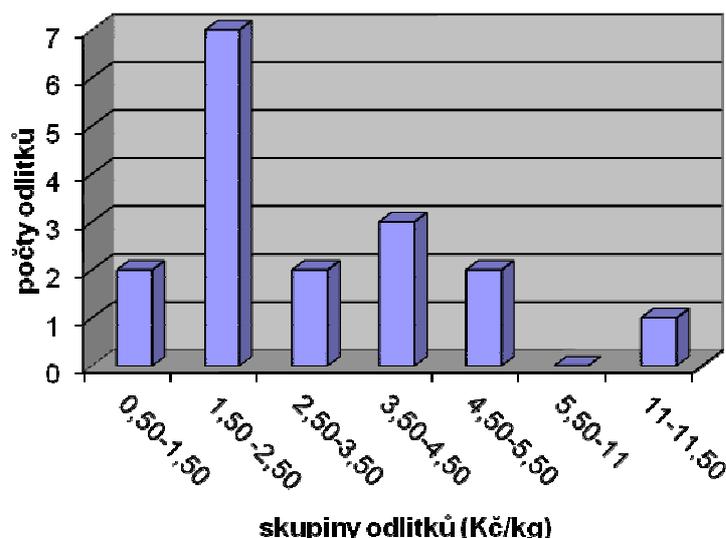
Je třeba zopakovat, že u posuzování litinových odlitků jsou veškeré náklady zařazeny do tzv. nákladů výrobních - tedy skupiny A. U těchto odlitků zákazník obvykle nevyžaduje vyšší požadavky na vnitřní čistotu a homogenitu odlitku (dle NDT). Není třeba pak vynaložit další náklady, které označujeme pracovní jako „následné opravy“.

Nejprve se budeme rámcově věnovat posouzení nákladů na apretaci celkem.

Z **ř.23., sl. 19 a 20, tab. 7.1 (P3)** vyplývá, že tyto náklady se pohybují od 0,74 Kč/kg do 11,23 Kč/kg.

**Obr.7.1** znázorňuje histogram četnosti NVN na apretaci.

**Obr. 7.1: Histogram četnosti NVN na apretaci**



Vyplývá z něj, že 41 % odlitků se pohybuje s náklady od 1,5 Kč/kg do 2,5 Kč/kg. Druhé maximum (3,5 Kč/kg – 4,5 Kč/kg) čítá 17% odlitků. Do minimálních nákladů lze zahrnout 2 odlitky, které jsou ve skupině od 0,50 Kč/kg do 1,50 Kč/kg. Následující nákladové skupiny mají (s výjimkou extrému s náklady 11,23 Kč/kg) vždy po dvou odlitcích.

U nově zařazených odlitků můžeme konstatovat, že O.29 (Slévárna H) patří s 1,81 Kč/kg do majoritní skupiny s příznivými náklady. Odlitek O.31 ze slévárny I s 3,79 Kč/kg je zahrnut ve skupině druhého topu s náklady méně příznivými.

Tedy u nákladů na apretaci můžeme konstatovat skutečně velký rozptyl.

Náklady na tryskání u litinových odlitků tvoří významnou část celkových NVN vynaloženou na jejich apretaci. Tryskání nákladově tvoří minimálně 16 % a maximálně 48 %. V průměru

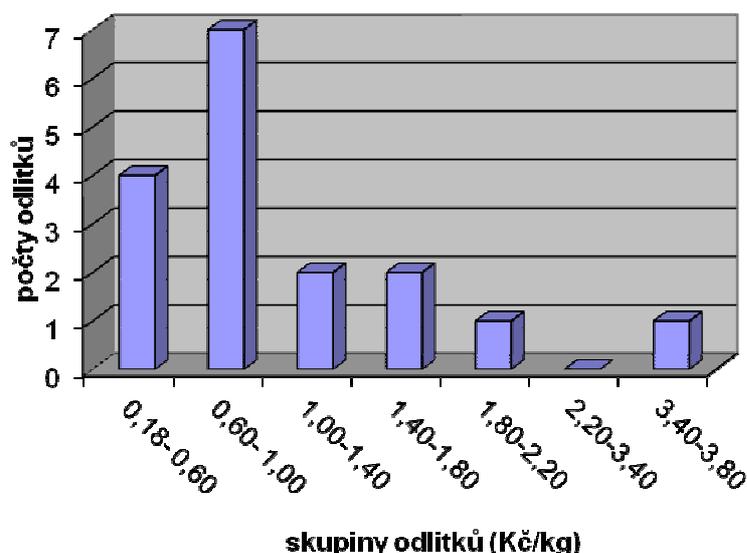
se tato výrobní fáze podílí téměř 35 %. Je tedy zřejmé, že tato fáze je nákladově skutečně významná.

Z **tab. 7.1** zjišťujeme, že náklady na mechanické čištění (tryskání) u 17 litinových odlitek, které měl řešitelský tým ve svém rozšířeném výběrovém souboru, se pohybují od 0,21 Kč/kg do 3,72 Kč/kg s průměrným nákladem 1,1 Kč/kg.

Při hodnocení rozptylu u nákladovosti je třeba mít na paměti zásadní vliv hmotnosti a tvarů posuzovaných odlitek. Dále také složení tryskané dávky, které je ve slévárnách ovlivněno řadou faktorů.

Nicméně nákladové rozpětí je velice rozsáhlé. Z **obr. 7.2** vyplývá, že největší podíl posuzovaných odlitek je v oblasti minimálních nákladů.

**Obr. 7.2:** Histogram četnosti NVN tryskání litinových odlitek



Tedy v oblasti prvních dvou skupin jsou zařazeny více než dvě třetiny našich odlitek. Je tedy zřejmé, že zejména odlitky s vyššími náklady by měly být předmětem dalšího šetření.

Nově zařazený odlitek O.29 (Slévárna H) s náklady na tryskání 0,29 Kč/kg se zařazuje do skupiny s nejmenšími náklady. Druhý odlitek O.31 (Slévárna I) s 1,34 Kč/kg se řadí již do třetí nákladové skupiny s náklady vyššími.

Jak bylo již dříve řečeno, posuzované odlitky jsou o hmotnosti od 13,5 kg do 27900 kg s různým tvarovým zařazením. To má samozřejmě také svůj nemalý vliv na nákladovost.

Následně se věnujeme nákladovým charakteristikám ocelových odlitek.

### 7.1.2 OCELOVÉ ODLITKY

Východisko pro jejich stanovení je v **tab. 7.2 (PŘÍLOHA 3)**. V této tabulce jsou uvedeny náklady na apretaci v členění v Kč/odlitek a v měrných nákladech. V závěru **tab. 7.2** jsou ve **sl. 22 až 24** uvedeny vybrané statistické ukazatele.

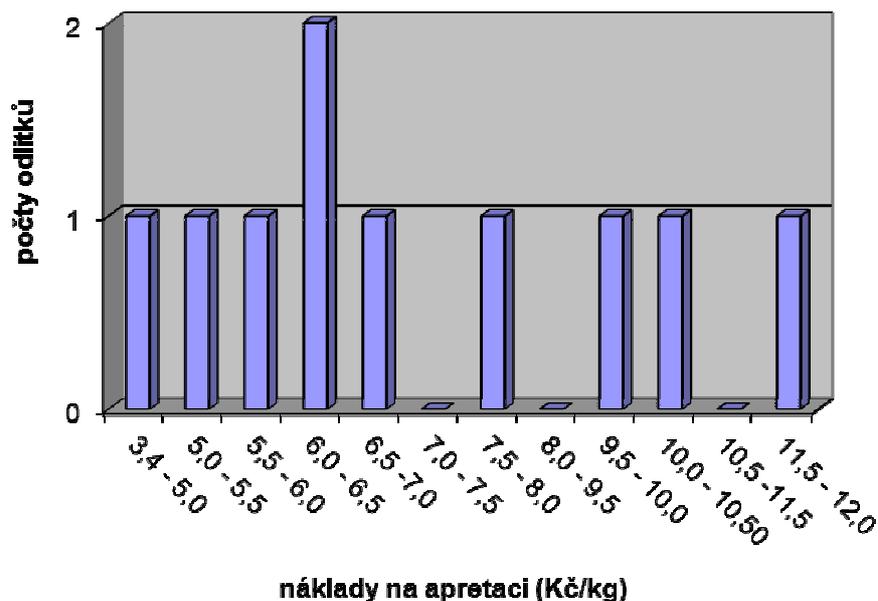
Je třeba zopakovat, že u posuzování ocelových odlitků jsou veškeré náklady zařazeny do tzv. nákladů výrobních - tedy skupiny A.

Nejprve se budeme rámcově věnovat posouzení nákladů na apretaci celkem.

Z ř. 30., sl. 23 a 24, tab. 7.2 (P3) vyplývá, že tyto náklady se pohybují od 3,43 Kč/kg do 11,38 Kč/kg.

**Obr. 7.3** znázorňuje histogram četnosti NVN na apretaci.

**Obr. 7.3: Histogram četnosti nákladů na apretaci u ocelových odlitků**



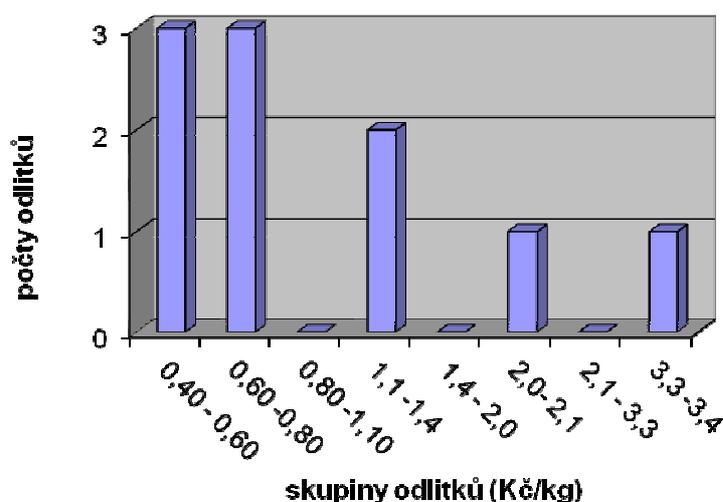
Vyplývá z něj, že pouze u jedné skupiny (náklady od 6,0 Kč/kg do 6,5 Kč/kg) jsou 2 odlitky. Dalších osm skupin vykazuje náklady po jednom odlitku. To opět naznačuje výrazný nákladový rozptyl.

U nově zařazených odlitků můžeme konstatovat, že O.30 (Slévárna H) opět mají s 3,43 Kč/kg minimální náklady. Odlitek O.32 ze Slévárny I s 9,71 Kč/kg stejně jako O.33 ze Slévárny J jsou ve skupinách s vysokými náklady na apretaci.

Náklady na tryskání u ocelových odlitků tvoří také nezanedbatelnou část celkových NVN vynaloženou na jejich apretaci. Tryskání nákladově tvoří minimálně 4% a maximálně 35%. V průměru se tato výrobní fáze podílí téměř 15%. Je tedy zřejmé, že tato fáze je nákladově také důležitá.

Z tab. 7.2, ř. 8 zjišťujeme, že náklady na mechanické čištění (tryskání) u 10 ocelových odlitků, které měl řešitelský tým ve svém rozšířeném výběrovém souboru, se pohybují od 0,43 Kč/kg do 3,39 Kč/kg s průměrným nákladem 1,12 Kč/kg. Zjišťujeme tedy, že nákladově je mechanické čištění jak u litinových tak u ocelových odlitků u našich výběrových souborů v zásadě shodné. S tím, že i rozptyl nákladů – tedy minimum a maximum se v zásadě kryje. Z obr. 7.4 vyplývá, že největší podíl posuzovaných odlitků je v oblasti minimálních nákladů.

Obr. 7.4: Histogram četnosti nákladů na tryskání ocelových odlitků



Tedy v oblasti prvních dvou skupin, kde jsou zařazeny téměř dvě třetiny posuzovaných odlitků. Následně se nacházejí dva odlitky ve skupině s náklady 1,1 – 1,4 Kč/kg. Histogram četnosti je uzavřen s odlitky o nákladech na tryskání vyššími než 2 a 3 Kč/kg. Je tedy zřejmé, že zejména odlitky s vyššími náklady by měly být předmětem dalšího šetření.

Nově zařazené odlitky se zařazují následovně. Odlitek O.30 (Slévárna H) s 0,45 Kč/kg se řadí opět do první skupiny s nejmenšími náklady. Slévárna I s odlitkem O.32 a náklady 3,39 Kč/kg má nejvyšší náklady na tryskání. Slévárna J s náklady 1.36 Kč/kg se také zařazuje mezi skupinu s vyššími náklady.

### 7.1.3 Shrnutí nákladovosti na tryskání u obou druhů odlitků

Jak bylo výše zjištěno tak náklady na tryskání u litinových a ocelových odlitků se u rozšířených souborů téměř shodně pohybují mezi 0,20 Kč/kg až 3,70 Kč/kg. Průměrně dosahují výše asi 1,10 až 1,20 Kč/kg. A zjištěný významný rozptyl v nákladech dává předpoklad k možné nákladové redukci.

Jedna z cest k hledání opatření vedoucí k nákladové redukci jistě bude v obrácení pozornosti ke sledování efektivity práce tryskacího zařízení.

## 7.2 Posuzování efektivity práce tryskacího zařízení

V PXIV jsme se této oblasti věnovali velice rozsáhle. Zejména jsme se zaměřili na oblast hodnocení kvality abraziva a operativní sledování jeho spotřeby. K tomu byly kriticky posouzeny stávající způsoby sledování spotřeby ve slévárnách zařazených do PROJEKTU XIV. Bylo to zejména podle zásady, že řídit lze pouze ten parametr, který je měřen. Kriticky jsme posuzovali kupříkladu stáří tryskacích zařízení, atd. A abrazivo, jak jsme zjistili, tvoří cca 27 až 40 % z NVN na tryskání. Další téměř shodnou položku tvoří osobní náklady (23-40 %) a zbylých 20 až 50 % dělá elektrická energie.

Tyto skutečnosti nás vedly ke konstrukci ukazatele, který do jisté míry spojuje minimálně náklady na abrazivo a elektrickou energii. A ve svém důsledku snad spojuje všechny tři aspekty. Dochází-li k optimalizaci spotřeby abraziva a elektrické energie tak samozřejmě se optimalizuje i doba tryskání.

Tab. 7.3: Konstrukce ukazatele jednotné spotřeby abraziva vztaženého na 1 kW turbín

	Slévárna	Druh trysk. zařízení	Nosnost	Abrazivo Ø vel. zrna	Prům. spotřeba abraziva (PSA) *)	Celkový instalovaný výkon turbín	Využití výkonu	JSA na 1 kW turbíny **)	Nth - abrazivo
			t	mm	kg/hod	x(kW)	%	kg/hod/kW	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Slévárna C	závěsný	4,5	1,32	16,2	60	58	0,47	46
2	Slévárna F	8.p	40	1,85	36,3	92,5	69	0,57	49
3	Slévárna F	13.p	12	1,76	8,9	55,5	69	<b>0,23</b>	29
4	Slévárna F	Stem	80	1,76	24,2	132	65	<b>0,28</b>	32
5	Slévárna F	7.p	35	1,76	11,1	55,5	69	<b>0,29</b>	25
6	Slévárna E	komorový	10	2,4	21	88	54	0,44	58
7	Slévárna E	závěsný	1,5	1,54	27	88	54	0,57	70
8	Slévárna D	bubnový	2	1,68	14,8	11	87	1,55	78
9	Slévárna D	komorový	4	1,68	9,2	22	41,5	1,01	53
10	Slévárna G	závěsný	1	1,18	18,3	44	88	0,47	61
11	Slévárna I	závěsný	1,5	1,95	30,49	55,5	84	0,65	64

### 7.2.1 Využití ukazatele Jednotné spotřeby abraziva (JSA).

Konstrukci tohoto ukazatele předcházelo v PXIV vytvoření poměrně rozsáhlé **tab. 7.3** s názvem Vybrané charakteristiky tryskacích zařízení – viz /3/ P3. Její následné další rozšiřování posléze vedlo v tvorbě **tab. 7.3**.

V **tab. 7.3** jsou uvedeny k posuzovaným tryskacím zařízením (TZ) následující údaje. V první řadě slévárna, kde je TZ instalováno (**sl. 1**). Dále druh TZ (**sl. 2**), jeho nosnost,  $\phi$  velikost zrna u abraziva (**sl. 4**) a průměrná spotřeba abraziva - PSA\*) -viz **sl. 5**. Je třeba říci, že právě tento ukazatel dělal zejména v začátcích některým slévárnám problém. Následně to byl součet instalovaného příkonu všech turbín u konkrétního TZ (**sl. 6**). Poté je to využití výkonu v %. A nakonec hledaný JSA\*\*) – tedy jednotková spotřeba abraziva (**sl. 8**). Ta je definována podílem průměrné spotřeby abraziva v kg/hod, vztažena na celkový součet využitého příkonu všech turbín příslušného TZ.

V posledním sloupci (**sl.9, tab. 7.3**) se pracuje s tak zvanými náklady na tryskací hodinu (Nth) – viz (1).

$$Nth = x(1,6E + JSA * A + 0,25) + 36n \dots \dots \dots (1)$$

Kde: -Nth...náklady na tryskací hodinu (Kč) - je to prakticky hodnota ideálního případu, kdy jsou turbíny TZ využívány na 100%,

- x součet výkonu instalovaných turbín (kW),
- n počet instalovaných turbín (bez rozměru),
- E cena jedné kWh (Kč),
- JSA ukazatel z **tab. 7.3 sl.5** (kg/ hod),
- A cena 1 kg abraziva (Kč/kg).

K vysvětlení vztahu (1) je třeba dodat, že

- první činitel „ $x \cdot 1,6E$ “ vyjadřuje veškeré náklady na elektrickou energii všech elektrických pohonů tryskacího zařízení včetně magnetického separátoru a filtru spotřebovaných během hodiny tryskání. Z praktických sledování se zjistilo, že na jednu instalovanou kW turbíny připadá spotřeba asi 1,2 – 2,0 kWh. Prakticky se tedy uvažuje „střed“ - tedy 1,6 kWh/W.
- druhý činitel „ $x \cdot JSA \cdot A$ “ kvantifikuje náklady na tryskací hodinu z hlediska spotřeby abraziva. Doplňme, že ukazatel  $x$  je v kW a JSA v (Kč/kW)/hod.
- třetí činitel „ $x \cdot 0,25$ “ kvantifikuje náklady na tryskací hodinu z hlediska spotřeby filtračních patron. Vychází ze skutečnosti, že filtrační patrony se mění minimálně jedenkrát za rok. Dále se počítá s 1020 provozními hodinami v roce. A předpokládá se, že na instalovaný příkon 1 kW připadá 0,26 filtrační patrony. Z toho vychází koeficient 0,25 Kč/kW/hod.
- čtvrtý činitel kvantifikuje náklady na náhradní díly turbín. Ze zkušeností vyplývá, že tento náklad činí 1,5 €, což odpovídá asi 36 Kč/turbínu.

Je třeba doplnit, že  $N_{th}$  je možné stanovit také dle skutečných údajů jednotlivých sléváren. A ne pouze dle modelových ukazatelů zjištěných experty zaměřenými na tryskací techniku.

I tuto možnost řešitelský tým zvažoval. Nicméně v tomto okamžiku nejsou pro věrohodný propočít dle vlastních informací sléváren vytvořeny podmínky. Proto v PXV nebyl proveden.

V následujícím PROJEKTU XVI proto doporučujeme  $N_{th}$  - náklady na tryskací hodinu konkretizovat dle skutečných nákladů příslušných sléváren. Tato absolutní hodnota bude přínosem především pro dotčené slévárny. Dále doporučujeme tento údaj vztáhnout na skutečný využitý příkon turbín pro získání tzv. jednotkové  $N_{th}$  (obdoba JSA) pro porovnání napříč slévárnami bez ohledu na typ a velikost stroje.

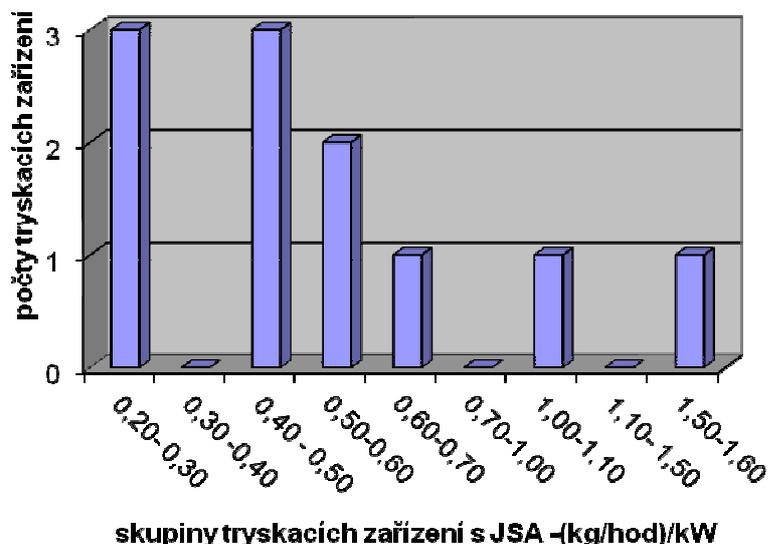
Pro výpočet podílu nákladů na abrazivo se využívá v **tab. 7.3** první činitel vzorce (1) vztažený na celkové  $N_{th}$ .

Nyní se zaměříme na posouzení daného ukazatele – JSA pro šetřené tryskací zařízení sléváren.

### 7.2.1.1 Hodnocení ukazatele jednotné spotřeby abraziva (JSA)

Je třeba v úvodu uvést, že za optimální hodnotu JSA se považuje jeho výše od 0,2 do cca 0,3. Z tohoto pohledu je třeba k hodnocení přistupovat. Ze **sl. 8**, **tab. 7.3** je zřejmé, že této podmínce vyhovují pouze tři TZ ve Slévárně F. To dokládá i **obr. 7.5**.

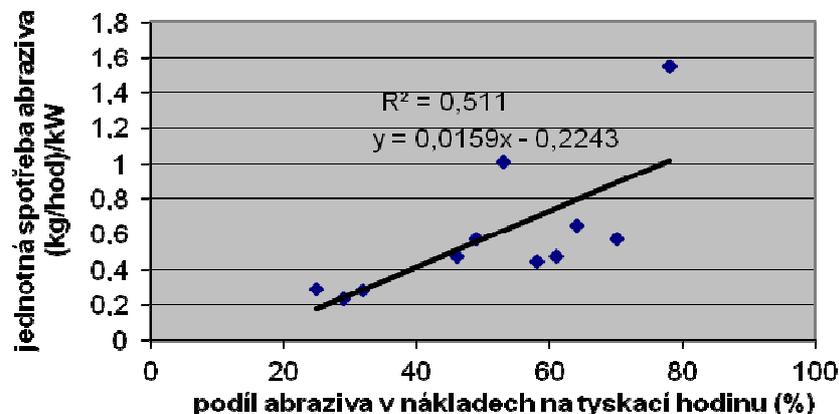
Obr. 7.5: Histogram četnosti jednotkové spotřeby abraziva u tryskacích zařízení



Z něj je zřejmé, že za skupinou s optimálními hodnotami JSA se následně nacházejí 3 zařízení s JSA 0,4-0,5. Pak se počty TZ se zhoršujícím ukazatelem JSA postupně snižují.

Zajímaly nás pochopitelně hlavní vlivy, které tento důležitý ukazatel ovlivňují. Jako první jsme šetřili vliv podílu abraziva v nákladech na tryskací hodinu. Podle očekávání se tento aspekt (viz obr. 7.6, sl. 9) ukázal jako významný.

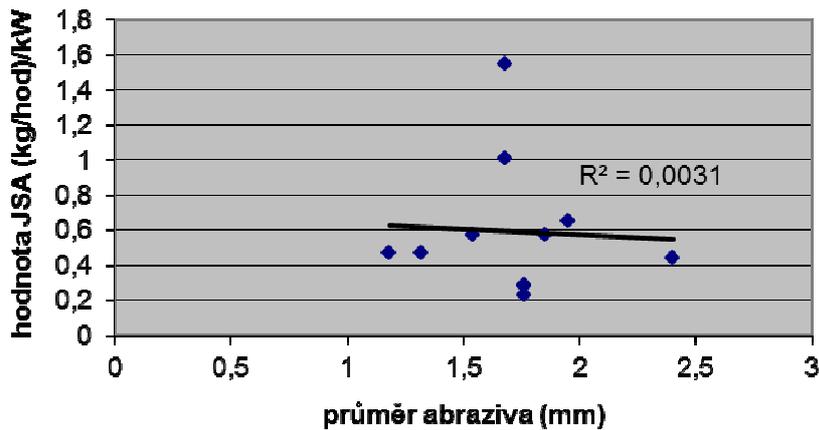
Obr. 7.6: Závislost JSA na podílu abraziva v nákladech na tryskací hodinu



Podle koeficientu determinace ovlivňuje JSA podíl abraziva v hodinových nákladech z více než 50 %. Také koeficient korelace  $R_{krit}$  se ukázal menší než  $R_{skut}$ , což dokládá, že závislost je objektivní. Je to i zcela logické - čím vyšší jednotková spotřeba abraziva, tím vyšší podíl na celkových nákladech na tryskací hodinu.

Následně jsme pro úplnost posoudili vliv průměru abraziva na JSA – viz obr. 7.7.

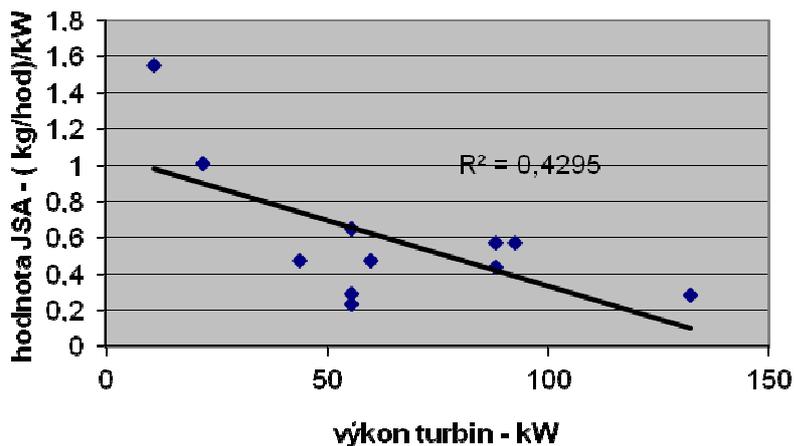
Obr. 7.7: Závislost na průměru abraziva



Závislost se neukázala jako statisticky významná.  $R_{skut}$  byl pouze 0,055. A navíc se zvyšujícím se průměrem signalizoval pokles ukazatele JSA. Tato skutečnost není v souladu s praxí. JSA roste s průměrem abraziva. Vykázaný nepatrný pokles je patrně dán za prvé velmi malým počtem vzorků a hlavně i značnými rozdíly ve kvalitách použitého abraziva zúčastněných sléváren. Závislost by byla patrnější, pokud by všichni používali abrazivo stejného výrobce - ať s vyšší či nižší trvanlivostí. Tak se může stát, že větší průměr jednoho výrobce bude mít stejnou, či vyšší trvanlivost, než menší průměr jiného výrobce. V našem případě by to bylo téměř nepravděpodobné, kdyby výsledky byly dle teoretického předpokladu. JSA je totiž úzce spjato s funkcí trvanlivosti abraziva - na tom staví i dále popsaný přístroj dálkového sledování provozu TZ. Pokud bude zařízení technicky způsobilé, je JSA závislé pouze na trvanlivosti abraziva - a ta je závislá významně na kvalitě a méně významně na jeho velikosti.

Podobně také pro malý počet vzorků nevyšla ani závislost JSA na hodnotě PSA. Jako důležitý a statisticky významný se však překvapivě projevil instalovaný příkon turbín (viz **obr. 7.8**).

Obr. 7.8: Závislost JSA na výkonu turbín



Tento obraz potvrzuje, jak málo se věnují slévárny optimalizaci tryskacího procesu - hlavně spotřebě abraziva. JSA není závislá na výkonu turbín. Je to jednotková spotřeba. V ideálním případě by to byla přímka s hodnotou na ose y „ve výši“ cca 0,2.

Jak tedy využít znalost hodnoty JSA? V první řadě prověřit vlivy, které byly prokázány (viz **obr. 7.5, 7.6, 7.7 a 7.8**). Rozhodující však bude v první řadě technický stav TZ, jeho údržba, úroveň jeho obsluhy a pracovní režimy a postupy vlastního tryskání.

Následně se zaměříme na posouzení technického stavu tryskacích zařízení.

## **7.2.2 SOUČASNÝ STAV TRYSKACÍ TECHNIKY VE SLÉVÁRNÁCH**

Na posouzení technického stavu TZ jsme se zaměřovali i v PROJEKTECH XII, XIII a XIV. V této práci se věnujeme pouze slévárnám, které byly nově zařazeny do řešení. Opíráme se o vyjádření specialisty Ing. Pavla Jelínka, který slévárny osobně navštívil.

### **7.2.2.1 TECHNICKÝ STAV TRYSKACÍCH ZAŘÍZENÍ VE SLÉVÁRNĚ H**

V této slévárně byla provedena dvě posouzení. První v r. 2013 a následující v r. 2014. Zcela záměrně se problematice slévárny věnujeme podrobněji, poněvadž obdobná situace je i v některých jiných provozech. Navíc zde byl proveden i rámcový návrh dalšího postupu s odhadem možných přínosů.

#### **a) Posouzení provedené v r. 2013**

##### Úvod k posouzení

Oba dva komorové tryskače Škoda CKM 3 jsou používány na odstranění zbytků formovacích směsí z ocelových a litinových odlitků a pro tryskání po tepelném zpracování. Hmotnost odlitku do cca 5t, největší rozměr odlitku cca do 1,5 m, některé odlitky jsou tvarově složité kapsy atd.

V současném stavu techniky je pro tryskání tohoto sortimentu nejvhodnější závěsné tryskací zařízení. Oproti komorovým tryskačům nabízí následující výhody:

- tryskaný předmět je tryskán v jedné operaci,
- vhodně navržená závěsná trať umožní snížit vedlejší časy,
- vhodným zavěšením tvarově složitých dílců lze zabránit usazování abraziva v kapsách,
- vyšší produktivitou snižuje nároky na počet obsluhujícího personálu,

Výhod by se jistě dalo najít více, nicméně tato zpráva vychází z daného stavu se záměrem vytěžit ze stávajících zařízení maximum.

#### I. Zjištěný stav zařízení

Oba tryskače jsou udržované, běžná prohlídka při vypnutém stavu bez demontáží krytů jednotlivých mechanismů neodhalila žádný důvod k servisnímu zásahu. Vnitřní stěny tryskacích komor jsou vyloženy gumovými pásy. Ty nejsou z důvodu tlumení sekundárních odrazů abraziva příliš výhodným řešením, ale řada firem z ekonomických důvodů toto řešení využívá a v tomto případě je vhodné tyto pásy ponechat – viz dále.

Zcela odlišný dojem na stav tryskačů nastal po jejich spuštění. Jejich tryskací výkon a efektivita celého tryskacího procesu jsou značně nízké. Je to dáno stavem techniky v době jejich konstrukce a jejich napojením na filtrační systém slévárny.

Hlavní důvody pro tento nepříznivý stav lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Špatná funkce odsávání.
- 2) Absence magnetického separátoru – viz obrazová příloha.
- 3) Absence větrného odlučovače – viz obrazová příloha.
- 4) Absence zásobníku na abrazivo.

Ad1 – Tryskače jsou napojeny na centrální odsávání. Tento způsob není principiálně vhodný, protože tlakové poměry u jednotlivých spotřebičů lze obtížně nastavit a ještě obtížněji toto nastavení trvale udržet. Navíc je potrubí dlouhé, v mnoha úsecích zanesené prachem a obtížně čistitelné.

Ad2 – Tryskací zařízení používaná pro odstranění zbytků formovacích směsí neumožňují při absenci magnetického separátoru hospodárný provoz. Magnetický separátor odděluje slévárenské písky od abraziva. Pokud se tyto písky z abraziva neoddělí, způsobují extrémní opotřebení dílů metacích jednotek.

Ad3 – U předmětných tryskačů není instalován větrný odlučovač v provedení moderních zařízení, ale jakási dvoustupňová kaskáda, bez možnosti nastavení síly odtahu. Absence faktorů ad2 a ad3 znamená, že v případě průchodného potrubí strhává proud vzduchu kromě písku i abrazivo. To pak nutí provozovatele používat abrazivo s relativně velkou zrnitostí, zde S660, což je nevýhodné. Pokud je potrubí neprůchodné, tak spolu s abrazivem zůstávají v oběhu i zbytky písku a důsledkem je vysoké opotřebení částí stroje.

Ad4 – Zařízení není vybaveno zásobníkem na abrazivo. Tato skutečnost hospodárnost provozu těchto nevybavených zařízení ještě podstatně snižuje. Nedovolí vytvořit provozní směs abraziva (viz obrazová příloha) i kdyby první 3 body byly splněny.

Navíc je zde další problém. V zařízení může obíhat pouze tolik abraziva, kolik ho pojme oběhový systém – šnekový, korečkový dopravník. Pokud by ho bylo více, zavalí se šnekový dopravník. V oběhu je ho tedy méně, protože abrazivo v průběhu tryskání opotřebením a rozpadem stále ubývá. Je tedy potřeba jej neustále pravidelně doplňovat. Tato skutečnost činí poměrně značné požadavky na zodpovědnost obsluhy. Dostatek abraziva v oběhu lze zjistit pouze z údajů na ampérmetrech.

Tento nedostatek se skutečně projevil u prvního z kontrolovaných tryskačů. Po spuštění bylo obtížné odebrat vzorek abraziva pro síťovou zkoušku, protože ho byl v oběhu nedostatek. Místo 400 kg abraziva za minutu dle návodu k obsluze protékalo odhadem 40 kg.

U obou tryskačů byl proveden síťový rozbor pracovní směsi. Níže uvedené hodnoty jsou procenta hmotnosti.

**Tab. 7.4: Síťový rozbor pracovní směsi**

Síto mm	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	dno
<b>CKM 3 (1) PS</b>	92		3,5	1,5	2	1,5
<b>CKM 3 (2) PS</b>	99					
<b>CKM 3 (2) O</b>	37		2	2	39	20

(1) PS a (2) PS – tryskač č. 1 a č. 2 – pracovní směs. Pracovní směs zde není. Na sítu 1,0 mm zůstala pouze jmenovitá zrnitost. Doplňme, že PS označuje pracovní směs.

(2) O – tryskač č. 2 – odpad. 37 % jmenovité zrnitosti v odpadu. Kritická hodnota!

Závěrem lze uvést, že tato nevybavenost způsobuje dlouhé tryskací časy, nedostatečnou kvalitu otryskaného povrchu, vysokou spotřebu abraziva.

Zároveň neumožňuje zlepšení daného stavu a tato skutečnost je pro slévárnu zřejmě ta nejdůležitější informace. Pokud nebude vyřešena recyklace abraziva, jakákoli investice do těchto tryskacích zařízení pro zlepšení daného stavu se mine účinkem!

## II. Návrh řešení

Dovybavit zařízení takovým způsobem, aby splňovalo současné požadavky na funkci tryskacích zařízení, není jednoduchá záležitost. V konkrétních krocích to znamená:

- demontáž stávajícího potrubí filtru u tryskače,
- demontáž kaskády + příslušenství, tedy všeho od výstupu korečkového dopravníku k metacím jednotkám,
- prodloužení korečkového dopravníku,
- instalace nosné konstrukce pro recyklaci abraziva,
- instalace recyklace abraziva – magnetický separátor, větrný odlučovač, silo, dávkovací jednotky,
- spojit výstup korečkového dopravníku a recyklaci abraziva přechodovým dílem,
- instalace nového filtračního zařízení,
- instalace předodlučovače,
- propojit potrubím tryskací komoru, větrný odlučovač a předodlučovač s filtrem.

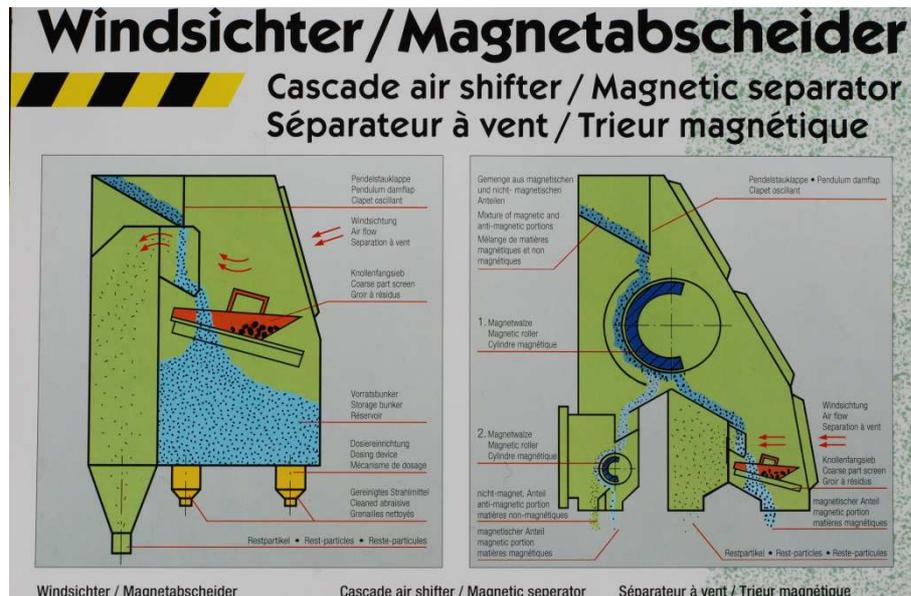
Jelikož má Slévárna H v úmyslu modernizaci filtračního systému u zmíněných tryskačů, nabízí se zde vhodná příležitost pro současnou realizaci modernizace recyklace abraziva. Obě podskupiny jsou navzájem propojeny a současná realizace by byla výhodná jak z hlediska časového i finančního, tak i z hlediska koordinace a vyslovení požadavků k filtračnímu systému před jeho vlastní instalací.

Přínos této modernizace lze očekávat v:

- kratší době tryskání,
- dosažení požadované kvality povrchu,
- úspoře abraziva,
- možnosti použít nových druhů abraziv.

### III. Obrazová část

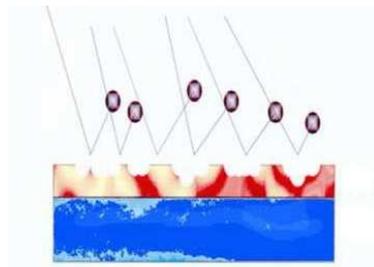
Obr. 7.9: Schematické znázornění větrného odlučovače a magnetického separátoru



Větrný odlučovač sám je i nedílnou součástí každého magnetického separátoru. Je určen k odloučení prachových částic z abraziva.

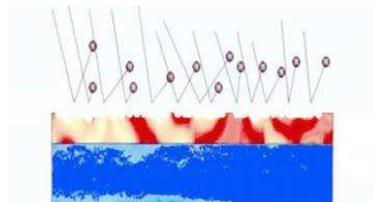
Na levém vyobrazení (viz výše) je větrný odlučovač. Vzduch proudící přes závoj abraziva – červené šipky – strhává částice pod 0,3 mm (prach) a odvádí je do odpadu.

Na pravém vyobrazení (viz výše) je magnetický separátor s integrovaným větrným odlučovačem. Rotační bubny s magnetickými segmenty unášejí magnetickou složku – abrazivo – a nemagnetická složka – písek – padá gravitací dolů. Tím je provedeno oddělení písku od abraziva. Toto je ještě ve spodní části vpravo zbaveno prachových částic.



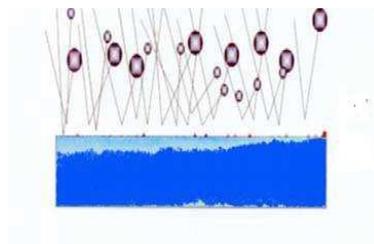
Pracovní směs je hrubozrná:

- povrch odlitku je rozbitý,
- proud zrn vykazuje nízkou míru překrytí,
- povrch je nedostatečně očištěn.



Pracovní směs je jemnozrná:

- zrna nemají dostatek energie odstranit nečistoty,
- povrch je nedostatečně očištěn.



Zrnitost pracovní směsi je vyvážená:

- povrch odlitku je obnažen,
- proud zrn vykazuje dostatečnou míru překrytí,
- povrch je řádně očištěn.

Znázornění a výklad (Stav zařízení viz bod 4.) k provozní směsi abraziva. U předmětných tryskačů je směs extrémně hrubozrnná a navíc v nedostatečném množství.

## **b) Posouzení provedené v r. 2014**

### Úvod k posouzení

Prohlídka zařízení dne 3. 9. 2014 a zjištěné podněty k řešení. Při minulé návštěvě dne 4. 4. 2013 byly zdůrazněny následující skutečnosti:

- 1 – Špatná funkce odsávání.
- 2 – Absence magnetického separátoru – viz obrazová příloha.
- 3 – Absence větrného odlučovače – viz obrazová příloha.
- 4 – Absence zásobníku na abrazivo.

Tedy bylo konstatováno, že pokud nebude vyřešena recyklace abraziva, jakákoli investice do těchto tryskacích zařízení pro zlepšení daného stavu se mine účinkem!

Předpokládalo se, že zpráva vyvolá minimálně další jednání o případné modernizaci. Bylo tedy doporučeno, aby zejména z hlediska koordinace a vyslovení požadavků k filtračnímu systému před jeho vlastní instalací došlo k předběžnému jednání.

### I. Zjištěný stav zařízení v r. 2014

Slévárna během roku vynaložila jisté finanční prostředky, stav věci se v podstatě nezměnil. Oba dva tryskače vybavila identickými zásobníky na abrazivo.

Ze zápisu 3. 9. 2014 vyplývají tyto problémy:

1. Nevyřešena recyklace abraziva.
2. Špatná funkce odsávání.
3. Absence magnetického separátoru.
4. Absence větrného odlučovače.
5. Okénko pro kontrolu hladiny abraziva v zásobníku CKM 3 je příliš nízko, na stropě zásobníku chybí kontrolní otvor.
6. Nové filtrační zařízení – jedno pro oba dva tryskače, relativně vzdálené s dlouhým potrubím.
7. Absence možnosti instalace dvou jednotlivých filtrů.
8. Konfigurace potrubí a umístění regulačních klapek.

**Další zjištění:** Je i nadále používáno abrazivo S 660 + WG 14, odpad je recyklován v jiném tryskači a vrácen zpět do oběhu. Uživatel v dobré víře vynaložil jisté finanční prostředky, přínos je však nulový.

### První posuzovaný tryskací stroj - CKM

Při zběžné prohlídce byly zjištěny/získány následující skutečnosti:

- Tryskací čas 12 minut.
- Zatížení turbín 12+17A při 2x15kW.
- Únik abraziva v základové jámě.

- Chybná konstrukce a funkce rotačního síta na konci šnekového dopravníku.
- Chybějící vyložení tryskací komory, poškození vnějšího pláště/nosné konstrukce.
- Nakloněný korečkový dopravník.

Následující foto názorně dokumentují konstatované problémy.

**Obr. 7.10 a,b: Chybějící vyložení tryskací komory**



**Obr. 7.11 Nakloněný korečkový dopravník**



**Obr. 7.12: Únik abraziva do základové díry**



**Obr. 7.13: Chybějící část rotačního síta**



**Obr. 7.14: Absence regulační klapky**



Druhý posuzovaný tryskací stroj - průběžný, závěsné TZ Carlo Banfi:

- nosnost závěsů 5 a 8t nesmyslně snížena na pouhé 2t,
- absence tří závěsných háků (původní stav osm kusů závěsných háků).

**Obr. 7.15 a,b: Detaily TZ Carlo Banfi**



**Obr. 7.16: Nově instalovaná drážka pro pohyb odlitků z Čistírny na průběžný tryskač Carlo Banfi, nosnost 5t**

**Obr. 7.17: Kladnice jeřábové kočky jezdící po drážce k průběžnému TZ Carlo Banfi, nosn. 5t**



Tryskač je vybaven zvláštním zařízením na recyklaci abraziva, i zde regulační klapka není. Jedná se pouze o větrný odlučovač, který je nefunkční.

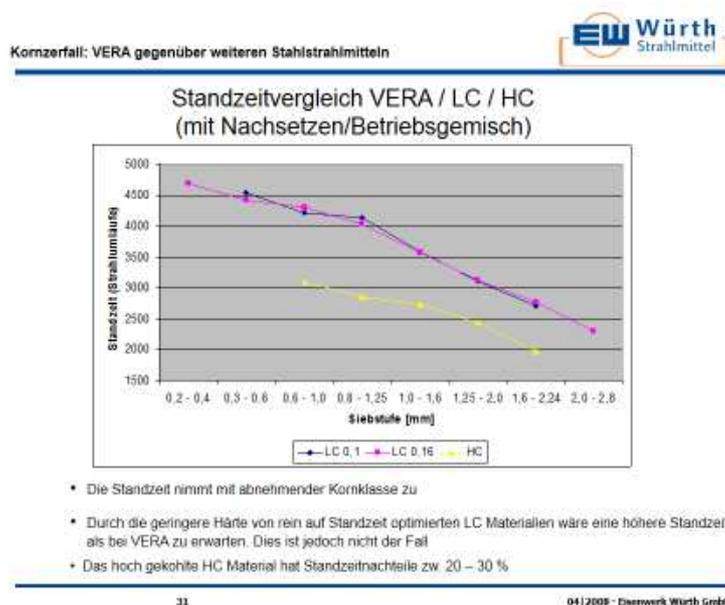
**Obr. 7.18: Odlučovač Carlo Banfi**



Zřejmě i z tohoto důvodu je nasazeno abrazivo zrnitosti S 930 – aby nebylo strháváno proudem vzduchu a zůstalo co nejdéle v oběhu. Uživatel si zřejmě neuvědomuje, že životnost abraziva s touto extrémně velkou zrnitostí je velice nízká.

Pro informaci je následně vložen graf s křivkami životnosti abraziva. Ve slévárně používané abrazivo S930 je znázorněno žlutou křivkou.

**Obr. 7.19: Znázornění životnosti abraziva**



**Obr. 7.20: Zvláštní nastavení usměrňovače u spodní komory**



U takto nastaveného usměrňovače (viditelné okno) je zřejmé, že paprsek abraziva směřuje do tělesa turbíny. Nutno zkontrolovat nastavení dle dokumentace výrobce.

### Poslední posuzovaný tryskový stroj - PT500B

Dávkovací jednotky jsou ovládány ručně pákami na boku stroje. Absence zásobníku na abrazivo, dále absence pneumatického ovládání klapky na přísun abraziva. Navíc je výkon zařízení indikován jedním společným ampérmetrem. Není možné vyhodnotit, zda metací zařízení funguje správně, a je tedy dostatečně účinné v průběhu tryskání, vše je měřeno jen jedním ampérmetrem, tedy pojezd vrat, otáčení pásu i metací zařízení.

Obr. 7.21: Ovládací páky dávkovacích jednotek



Obr. 7.22: Společný ampérmetr



### III. Doporučení:

Vybrat z těchto čtyř tryskačů ten, který je relativně nejvíce využíván a kde by měla případná úprava za nejméně „peněz“ nejvyšší přínos. Podle týmu řešitelů to je jeden z tryskačů CKM 3.

Tento tryskač vybavit následujícím zařízením a úpravami:

- magnetický separátor – cca 10 000,-EUR,
- větrný odlučovač – cca 50 000,-Kč,
- prodloužení korečku – cca 40 000,-Kč,
- dálkové sledování tryskacího procesu – ca 30 000,-Kč,
- montážní práce – cca 200 000,-Kč,
- úprava na potrubí – cca 30 000,-Kč.

**Přínos:** Bylo by možno nasadit podstatně jemnější zrnitost abraziva, s pomocí kterého lze dosáhnout kvalitního otryskaného povrchu bez ztráty broků odtahem do filtru. Toto abrazivo vykazuje i delší životnost, takže celkem by bylo možno dosáhnout 50 % úspory.

Pomocí dálkového sledování by byla možná 100 % kontrola využití zařízení a zároveň i kontrola zatížení metacích jednotek. Tedy nutná data pro vyhodnocení spotřeby abraziva.

Po této úpravě – nejsou uvažovány jiné případné technické nedostatky – by byl tryskač svojí funkcí na úrovni současného stavu techniky. Kromě zlepšení čistící schopnosti a ekonomiky provozu by měl provozovatel k dispozici data pro další optimalizaci tryskacích operací.

**Závěr:** Vezmeme-li v úvahu ekonomický dopad zjištěných závad na tryskací stroje, je katastrofální. Jedna hodina tryskání na tryskacím stroji CKM 3 je zjednodušeně vypočtena energie násobena cenou abraziva, dostáváme tak hodnotu 470 Kč/hod. Při odstranění závad, a pořízení doplňkových zařízení jako jsou magnetický separátor a větrný odlučovač, je možné náklady spojené s doplněním abraziva snížit až o 50 %. U tryskacích strojů PT 500B a průběžného tryskače Carlo Banfi je průměrný náklad tryskací hodiny 647 Kč/hod.

Ekonomický provoz tryskacích zařízení, která jsou nedílnou součástí cídírenských apretačních procesů, je značně energeticky náročný. Je zde však mnoho aspektů, které se dají ovlivnit. Prvním z aspektů je motivace obsluhy, která má nedílnou účast na procesu tryskání. Dalším jsou modernizace a opravy tryskacích strojů. Takto lze náklady spojené s procesem tryskání snížit možná až o 70%.

### 7.2.2.2 TECHNICKÝ STAV TRYSKACÍCH ZAŘÍZENÍ VE SLÉVÁRNĚ I

Prohlídka zařízení byla provedena dne 22. 7. 2014 na závěsném tryskači Agtos.

Je to relativně moderní zařízení z roku 2007 vybavené 3 turbínami po 18,5 kW. Dále magnetickým separátorem a vlastním filtrem. Jsou zde veškeré předpoklady pro efektivní využití stroje. Spotřeba abraziva dělá 23 kg/hod. Diskutovala se otázka jeho snížení a zkrácení tryskacího času na 18 min.

Sítovými rozbory odebraného abraziva bylo zjištěno:

- odpad odváděný větrným odlučovačem obsahoval cca 35% použitelného abraziva,
- abrazivo S550 má trvanlivost 2019 oběhů.

Připomínky, komentáře, návrhy:

a) Nastavit proudění vzduchu ve větrném odlučovači tak, aby velikost odváděných částic nepřesahovala 0,3 mm.

b) Věnovat se kvalitě a velikosti abraziva. Použité abrazivo není z nejkvalitnějších a vhodná úprava velikosti zrna spolu s vyšší kvalitou nabízí šanci na úsporu.

c) Tryskací časy jsou dány nejobtížněji čistitelným druhem odlitku (tvarově náročný odlitek) a zároveň i umístěním odlitků v tryskací komoře vzhledem k umístění turbín.

Zde se nabízí prostor pro mnoho úvah, jak zvýšit efektivitu:

- tryskat méně dílů kratší dobu?
- upravit závěsy pro jiný počet dílů s jinou polohou zavěšení?
- jaký je za současného stavu nejkratší tryskací čas pro optimální díl?

### 7.2.2.3 TECHNICKÝ STAV TRYSKACÍCH ZAŘÍZENÍ VE SLÉVÁRNĚ J

Prohlídka zařízení byla provedena dne 3. 9. 2014

**a) Předmětem posouzení byl komorový tryskač ŠKODA TKM 10** se třemi turbínami. Bylo zřejmé, že pracovník obsluhy se o zařízení v rámci možností pečlivě stará. Kromě absence magnetického separátoru nelze nic zásadního vytknout, až na to, že v současné době by byl pro tryskání stávajících odlitků použit závěsný tryskač. V provozní směsi abraziva jmenovité zrnitosti 2,3 mm byl nalezen podíl na sítu 1,00 mm - 89 % a 0,60 mm - 11%. Je tedy zřejmé, že filtr jemnější zrnitost odsaje.

Obr. 7.23: Konfigurace turbín – dvě boční, jedna horní



Zvláštním zjištěním bylo, že všechny lopatky na bočních turbínách byly popraskané. Všechny podélně, některé dokonce navíc i příčně.

Obr. 7.24: Detail prasklé lopatky



Kromě tohoto jevu byl zjištěn průnik abraziva uzavřenou dávkovací jednotkou a údajnou netěsností ventilu na bunkru abraziva – nebezpečí zasypaní korečkového dopravníku.

**b) Komorový tryskač ŠKODA CKM 3** na slévárně oceli. U tohoto tryskače platí prakticky vše, co bylo řečeno k tomuto typu ve slévárně H. Tryskači je zde věnována lepší péče, ale ekonomika provozu je i zde z principu žalostná.

Poznámka - vnitřek komory nebyl při prohlídce přístupný.

Následná foto dokumentují stav u TZ.

Obr. 7.25: Nové těleso korečku



Obr. 7.26: Výměna dílů turbín s detailem ovládní dávkovací jednotky



Obr. 7.27: Ovládní dávkovacích jednotek



#### 7.2.2.4 SHRNUÍ SITUACE V TRYSKACÍ TECHNICE

Je třeba zopakovat, že zjištění v nově zapojených slévárnách plně zapadá do hodnocení konstatované v PXIV. V oblasti tryskacích zařízení ve slévárnách je obecně dosti neutěšená situace. Možná do jisté míry podnětným může být postup ve slévárně H. Jednak vlastním postupem řešení (spíše dřívějším neřešení) situace. A dále návrhem dalšího postupu a možnými přínosy. U této slévárny jsme poněkud na rozpacích, poněvadž nákladové hodnocení fáze tryskání signalizuje relativně příznivé ukazatele. Proto se jeví vhodné tyto propočty znovu prověřit.

Následně se zaměříme na relativně drobná technická a motivační opatření vedoucí k optimalizaci nákladů na tryskání.

## 7.3 OPATŘENÍ VEDOUcí K OPTIMALIZACí NÁKLADŮ NA TRYSKÁNÍ

Nejprve se zaměříme na opatření technického charakteru

### 7.3.1 Opatření technického charakteru

Do této skupiny v první řadě lze zařadit relativně velice jednoduché zařízení nazvané “počítadlo tryskacích hodin”.

#### a) Počítadlo provozních hodin

Toto relativně velice jednoduché zařízení (BW 40.28311220) má rozměry 55x55x20 a napájecí zdroj na 230 V. Přesnost záznamu je 0,01 hod, což je na naše poměry zcela dostačující. Bližší informace je na webu elemant.cz. Jeho cena je do 600 Kč (včetně DPH). Dodejme, že je připojitelné k výpočetní technice.

Zařízení bylo úspěšně ověřeno ve Slévárně G a následně ve Slévárně H. Doplňme, že při řešení problematiky apretace je možné využít jak u tryskacích zařízení, tak i u žíhacích pecí.

#### b) Zařízení na snímání zatížení metacích turbín tryskacího zařízení

Autorem námětu je Ing. Pavel Jelínek, který se dlouhodobě danou problematikou zabývá. Záměrem bylo monitorování procesu tryskání pomocí snímání zatížení metacích turbín TZ. Cílem řešení by mělo být zařízení pro jednu až 16 turbín. Samozřejmě bude spojení s počítačem. Zabudovaný program umožní zobrazit i grafický průběh výkonu každé turbíny v reálném čase, tabulkový výkon, tryskací a vedlejší časy s možností statistického vyhodnocení. Zařízení má dálkové sledování - požadavek je, aby zákazník disponoval počítačem s OS MS Windows 7 nebo Windows server 2008. Rozhraní NET framework 4.0. Dále možnost k připojení do standardní podnikové sítě, abychom měli dostupná data k dalšímu zpracování. Tedy umožnit vzdálené připojení k počítači z internetu (minimálně po dobu testovacího provozu). Pro zákazníka to znamená, že tam, kde bude mít přístup k internetu, tam bude moci v reálném čase sledovat stav a provoz zařízení.

Úvodní série je připravována pro 10 TZ. Řešení bude vedeno tak, aby jeho cena nepřekročila částku 30000 Kč.

Jeho využití bude jednak pro operativní řízení a kontrolu tryskacího procesu. A samozřejmě také i pro systém hodnocení tryskání.

Záměrem je, aby do konce roku 2014 byla úvodní série tohoto zařízení připravena.

Následně se zaměříme na opatření motivačního charakteru.

### 7.3.2 Opatření motivačního charakteru

Nejprve se zaměříme na konkrétní zavedené motivační opatření, cíleně mířené k obsluze tryskacích zařízení.

#### a) Opatření vedoucí k úspoře nákladů na abrazivo obsluhou TZ

Motivační opatření na úsporu nákladů abraziva bylo ověřeno a následně zavedeno ve Slévárně G.

Při výpočtu NVN apretace litinových odlitků pro PROJEKT XIV, bylo ve Slévárně G třeba stanovit spotřebu abraziva. Spotřeba byla určena průměrem z hodnot za červenec až prosinec 2012 a činila 18,3 kg/hod tryskání. Během roku 2013 bylo přijato několik opatření, která jsou popsána v /3/. Při novém hodnocení za období leden až červen 2014 vycházela průměrná spotřeba abraziva již pouze 15 kg/hod. Díky opatřením, realizovaným v r. 2013, klesla tedy spotřeba abraziva o 3,3 kg/hod tryskání.

Protože Slévárna G byla přesvědčena, že lze spotřebu abraziva dále snižovat (za současného snížení nákladů na tryskání), rozhodli se do této problematiky více zainteresovat obsluhu TZ.

Obsluze byl navržen tzv. motivační program, který obsahuje soubor kritérií, za jejichž splnění je přiznána finanční odměna. Jedná se o následující kritéria:

- spotřeba abraziva,
- splnění výkonů tryskání,
- dodržování proudového zatížení motorů turbín,
- dodržování termínů odběrů vzorků pracovní směsi abraziva a odpadu ze separace.

#### I. Spotřeba abraziva

Hranice spotřeby abraziva je snížena o 10 % z dlouhodobého průměru před zavedením motivačního programu. Kritérium se považuje za splněné, když skutečná spotřeba je nižší než hraniční. Pro splnění kritéria musí mít obsluha tryskače stroj v dobrém technickém stavu a musí dodržovat zásady efektivního tryskání.

#### II. Splnění výkonů tryskání

Kritérium nutí obsluhu optimalizovat tryskací dávky, dodržovat dobu tryskání a vede ji k tomu, aby netryskala „bez abraziva“. Spotřeba abraziva a výkony tryskání spolu úzce souvisí. Hodnocení jednoho kritéria bez druhého nahrává obsluze k podvádění.

#### III. Dodržování proudového zatížení motorů turbín

Dodržování proudového zatížení motorů turbín souvisí s předchozími kritérii a vypovídá o množství abraziva procházejícím turbínou. Kontroluje se namátkově (minimálně 1 x týdně) tak, že určený technik provede odečet proudového zatížení v ampérech a zjištěnou hodnotu zaznamená do příslušného formuláře. V budoucnu by Slévárna G chtěla na TZ zavést monitorování proudového zatížení (viz /4/).

#### IV. Dodržování termínů odběrů vzorků pracovní směsi abraziva a odpadu ze separace

Toto kritérium je spíše pomocného charakteru pro doplnění předchozích. Pro každé TZ jsou stanoveny termíny odběrů vzorků pracovní směsi a odpadu ze separace. Vyhodnocení je popsáno ve /3/. Výsledky mohou odhalit skryté závady na TZ a obsluhám tak pomáhají při plnění předchozích kritérií.

Motivační program se vyhodnocuje jednou za kvartál. Za splnění všech kritérií dostává obsluha plnou finanční odměnu, při nesplnění některého kritéria jen poměrnou část. Finanční prostředky pro vyplácení motivačních odměn se získávají z úspor na abrazivu. Část z takto uspořených finančních prostředků je vyčleněna pro slévárnu a zbývající díl je pro motivační odměny.

Motivační program byl zaveden od 3. kvartálu 2014. Spotřeba abraziva v tomto kvartálu byla 12,7 kg/hod. Úspora pak dělala 15,4 % abraziva. Ve Slévárně G předpokládají, že důsledným dodržováním kritérií je možno dosáhnout úspory abraziva 10 – 18%.

Tento přístup může slévárna vřele doporučit.

Následně se zaměříme na zajímavou oblast změny vnímání nákladové náročnosti členy řešitelského týmu.

#### **b) Vývoj vnímání nákladové náročnosti tryskání účastníky PROJEKTŮ.**

Lze konstatovat, že všichni účastníci „apretačních“ PROJEKTŮ (tedy PXII až PXV) zaznamenali změnu ve vlastním posuzování nákladů na tryskání. Na původně přehlíženou operaci nyní pohlížejí jako na oblast, která má nemalé nákladové rezervy a vyžaduje znalosti z oblasti funkce tryskacích zařízení, vlastností abraziva nebo pracovní směsi. K významnému posunu došlo zejména v pochopení nutnosti evidence alespoň základních spotřebních a výkonových dat. V úvodních rozborech pracovaly slévárny maximálně s údajem ročního objemu nakoupeného abraziva. V současné době je již většina účastníků schopna hodnotit *operativně* spotřeby abraziva, tryskací časy, tryskané objemy odlitků a další ukazatele pro jednotlivé tryskače. Někteří zástupci sléváren již tyto výstupy využívají k řízení efektivity tryskání i k motivačním programům. Se značným zájmem přistupují slévárny k doporučeným opatřením v technické oblasti i k zavádění moderních monitorovacích prvků.

Tyto skutečnosti lze považovat za jeden z hlavních přínosů nejen pro přímé účastníky projektů.

Pro závěr statě o tryskání v PROJEKTU XV se řešitelský kolektiv rozhodl provést jisté shrnutí problematiky mechanického čištění, ke kterému dospěl v PXII až PXV.

## **7.4 Shrnutí problematiky tryskání řešené v PROJEKTECH**

**Tryskání** je technologický postup úpravy povrchu nejrůznějších, obvykle metalických materiálů proudem jemných abrazivních částic. Tyto částice jsou urychlovány ve většině případů lopatkovými koly metací jednotky (MJ či turbíny), nebo stlačeným vzduchem. Rychlost abraziva se obvykle pohybuje v rozmezí 60 – 100 m/sec. Abrazivo je výtahem přiváděno k MJ, které jej vrhají na čištěný povrch. Nejvíce se jako abrazivní materiál

používají ocelové broky, ocelová či litinová drť nebo sekaný drát. Ve výrobě odlitků se využívají komorové, závěsné, bubnové, drátěné, průběžné tryskače s různými druhy MJ nebo i ruční – tlakovzdušné tryskače.

Tryskání se provádí opakovaně při různých fázích výrobního procesu. Tedy na čištění zbytků formovacích směsí, k odstranění okují po tepelném zpracování, čištění povrchu před nátěrem, před provedením nedestruktivních zkoušek, apod. Bylo zjištěno, že NVN tryskání tvoří tři hlavní položky: abrazivo, energie a osobní náklady. Jejich výše je ovlivněna především technickým stavem zařízení a jeho seřízením, kvalitou abraziva a délkou tryskacích časů a obecně také kvalitou obsluhy.

#### **7.4.1 Náklady na tryskání OCELOVÝCH odlitků – naměřené na odlitcích PROJEKTŮ**

Náklady na tryskání ocelových odlitků nepatří (podílem) k nejvýznamnějším nákladovým položkám NVN apretace. Ocelový odlitek se během základní výrobní fáze tryská 2x až 4x. Tryskání nákladově tvořilo minimálně 4% a maximálně 35 % z NVN apretace. V průměru se tato výrobní fáze podílí téměř 16 %. Průměrné složení jednotlivých položek: abrazivo 27%, energie 50%, osobní náklady 23%. U měrných nákladů bylo zjištěno rozpětí od 0,43 Kč/kg do 3,39 Kč/kg. Pokud se týká výše měrných nákladů a jejich rozpětí jsou shodné s náklady na tryskání u litinových odlitků.

#### **7.4.2 Náklady na tryskání LITINOVÝCH odlitků - naměřené na odlitcích PROJEKTŮ**

Náklady na tryskání u litinových odlitků tvoří významnou část celkových NVN jejich apretace. Tryská se maximálně 2x, ale nákladově tvoří minimálně 16 % a maximálně 48 % NVN apretace. V průměru se tato dílčí výrobní fáze podílí 35 % z NVN apretace. Je tedy zřejmé, že tato fáze je nákladově významná. Skladba NVN: abrazivo 40%, energie 20% a osobní náklady 40%. Náklady na mechanické čištění (tryskání) u 17 litinových odlitků, se pohybují od 0,21 Kč/kg do 3,72 Kč/kg. Toto nákladové rozpětí je enormní.

#### **7.4.3 Nálezy ve slévárnách dle posouzení ing. Pavla Jelínka**

- Nefunkční odsávání, větrný odlučovač,
- Absence ampérmetru, ampérmetry s příliš velkým rozsahem,
- Nefunkční metací jednotka, různě zatížené metací jednotky,
- Čistota zařízení, nepravidelná kontrola a údržba,
- Poddimenzovaný zásobník,
- Nerovnoměrné doplňování abraziva,
- Silný odtah odlučovače – abrazivo do odpadu,
- Nízká životnost abraziva,
- Stáří tryskačů (3 – 66 roků), generální opravy (2 – 8 let).

Je možné říci, že až na výjimky jsou tyto nálezy obecné.

## 7.4.4 Doporučení

Technický stav tryskacího zařízení, jeho správná údržba a obsluha je jedním z klíčových faktorů nákladovosti této operace. Za základní cíl považujeme vytvoření optimální pracovní směsi a výbava a nastavení (seřízení) tryskače. Z pohledu obsluhy zařízení považujeme za samozřejmé dodržování technologické kázně a provádění aktivní kontroly zařízení. Další možností pro eliminaci negativního vlivu lidského faktoru je využití moderních řídicích a kontrolních prvků v zařízení.

### 7.4.4.1 Pracovní směs abraziva

Rozumíme tím směs v oběhu tryskacího zařízení, která obsahuje cca 50% abraziva jmenovité zrnitosti. Zbytek je směsí menších opotřebovaných zrn až do velikosti 1/3 jmenovité zrnitosti – tedy velikosti zrna cca 0,3 až 0,4 mm. Pro výběr jmenovité zrnitosti abraziva platí pravidlo, že velikost zrna má být co možná nejmenší. Ale takové, aby spolehlivě odvedlo tu „nejtěžší“ práci. Těmito jednoduchými pravidly se ne každý řídí a někdy je dokonce ani nenalezneme v návodu na použití stroje.

Pracovní směs abraziva je tedy směs zrn o velikosti 0,3 až 1,6 mm – pro zrnitost S 390 (1,00 – 1,60 mm), která se tvoří procesem tryskání cca 1 týden. Aby se v tryskači tato směs mohla vytvořit, musí být splněny následující podmínky:

- Větrný odlučovač - správná funkce větrného odlučovače zaručuje oddělení prachových částic od abraziva a tím snižuje opotřebení především MJ. Zároveň udržuje i efektivitu provozu, protože oběh prachu v tryskači snižuje tryskací výkon.
- Zásobník abraziva - pokud je zásobník „malý“, obíhá v zařízení relativně málo abraziva, rychle dochází k jeho opotřebení. Je nutno jej často doplňovat a v oběhu se pak bude v podstatě nalézat jen abrazivo jmenovité zrnitosti. Pokud by byl zásobník příliš „velký“, nastal by opačný případ – žádné abrazivo nebude o jmenovité zrnitosti a bude obsahovat pouze drobnou frakci.
- Doplňování abraziva – rezervní zásobník s automatickým doplňováním.
- Abrazivo – typ, kvalita.

### 7.4.4.2 Abrazivo

Kvalita abraziva je určena dvěma základními parametry. **Trvanlivostí**, tedy schopností co nejdéle vydržet v oběhu tryskače do svého úplného rozpadu a **intenzitou**. Tedy schopností předat svoji kinetickou energii otryskávanému povrchu. Pro zjištění obou dvou kvalitativních parametrů se abrazivo laboratorně testuje v tzv. **Ervínově turbíně**. Je to certifikované zařízení, principiálně podobné metací jednotce, ve kterém se 100 g nepoužitého abraziva při 2700 ot/min vrhá proti pevné stěně do úplného rozpadu na prach. Počet otáček, kdy se abrazivo zcela rozpadlo je pak mírou trvanlivosti. Pro zjištění intenzity, tzv. **Almentest**, se používá stejné zařízení s tím rozdílem, že abrazivo se vrhá proti normou definovanému pásku plechu a zjišťuje se jeho prohnutí v mm. Čím větší je prohnutí, tím větší má abrazivo intenzitu dopadu.

- Kulaté ocelové abrazivo má obsah od 0,1 do 1,2 % C. Vyrábí se v indukčních pecích (IP). Z nich se proud taveniny přivádí na vodní paprsek, kdy rychlým ochlazením a rozstříkem vznikají drobné kuličky. Ty následně padají do vodního bazénu.

- Nejvíce používaná jsou tzv. vysokouhlíková abraziva s obsahem uhlíku 0,8 – 1,2 % (*martenzitická struktura*). Charakteristické pro tato abraziva je relativně nenáročná výroba a levný výchozí materiál.
- Vysokouhlíková abraziva jsou tvořena směsí martenzitu a zbytkového austenitu. Vzhledem k rozdílné délkové roztažnosti obou fází dochází již při prvotním ochlazení taveniny ke vzniku mikrotrhlin, které již nelze odstranit. V důsledku toho se tato abraziva opotřebovávají rozpadem.
- Abrazivo s optimalizovaným obsahem C je charakteristické bainitickou strukturou, která se v průběhu tryskání dále zpevňuje a opotřebovává se odlupováním povrchové vrstvy. Rovnoměrně tedy zmenšuje svoji velikost a stále si drží zaoblený tvar.

#### 7.4.4.3 Sledování spotřeby abraziva

Za základní parametr považujeme sledování spotřeby abraziva za časovou jednotku tryskání a pravidelné provádění síťového rozboru pracovní směsi. Je možné i sofistikovanější sledování za použití stále dostupnější měřicí elektroniky. A dále (*rozpracované*) - monitorování tryskání pomocí snímání zatížení metacích turbín tryskače a spotřeba abraziva na 1 kW instalované turbíny.

Shrneme-li výše uvedená zjištění tak ovlivnění nákladů na tryskání je schematicky ukázáno následně.

#### 7.4.4.4 Možnost ovlivnění nákladů tryskání

Operace tryskání má dávkový charakter, to znamená, že zpracování probíhá v dávkách, které jsou složeny z odlítků různé hmotnosti a tvaru. Pokud slévárny dodrží výše uvedená vybraná doporučení, mohou ovlivnit měrné náklady tryskání hlídáním doby tryskání a složením tryskané dávky. Náklady tryskání na měrnou jednotku tedy nemusí přímo vykazovat závislost a budou silně ovlivněny aktuální sortimentní skladbou slévárny.

Schematicky můžeme naznačit hlavní vlivy na náklady tryskání na následujícím obrázku.

Obr. 7.28: Hlavní faktory ovlivňující nákladovost tryskání



## 8 POKRAČOVÁNÍ ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ

Na úvod je třeba připomenout, že s posuzováním této problematiky jsme začali v r. 2013 v PXIV. Postupovali jsme podle ověřené metodiky všech PROJEKTŮ. Tedy v první řadě nákladové ohodnocení odlitků této výrobní fáze metodou NVN. K tomuto přístupu si slévárny vybraly své odlitky. U nich byla následně metodou NVN tato fáze ohodnocena. Následně jsme posuzovali také náklady na tepelné zpracování u používaných žhacích pecí. A poté specialista Ing. Michal Fík posoudil jejich technický stav.

Loni (r. 2014) jsme se začali zamýšlet nad ukazateli účinnosti pecí a závislosti jejich parametrů na vybraných aspektech.

Obdobně chceme postupovat u této fáze i v PXV, kdy máme náš sortiment odlitků rozšířen o tři.

Chceme i u fáze tepelného zpracování (TeZ) zachovat stejný přístup jako jsme volili u fáze tryskání. Tedy ve studii se maximálně odvolávat na výsledky PXIV a pouze v nezbytné míře nutné skutečnosti opakovat.

Doplňené ocelové odlitky jsou uvedeny v **kap. 5**. Nejprve se zaměříme na nákladovou náročnost TeZ u 10 hodnocených ocelových odlitků.

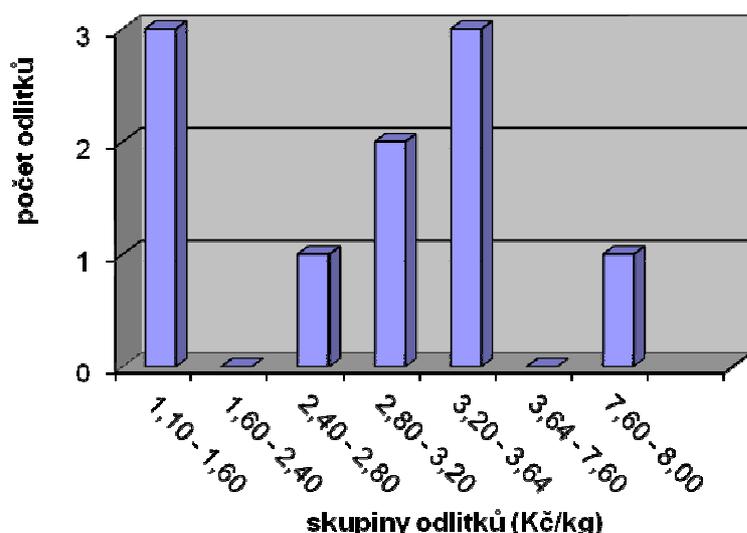
### 8.1 NÁKLADOVÁ NÁROČNOST TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ U OCELOVÝCH ODLITKŮ

Náklady na TeZ ocelových odlitků jsou uvedeny v **ř. 13, tab. 7.2 v P3**.

Náklady na TeZ u ocelových odlitků tvoří významnou část celkových NVN vynaloženou na jejich apretaci. TeZ nákladově tvoří minimálně 19 % a maximálně až 69 %. V průměru se tato výrobní fáze podílí 41 %. Je tedy zřejmé, že *tato fáze je nákladově důležitá*.

Z **tab. 7.2, ř. 13** dále zjišťujeme, že náklady na TeZ u 10 ocelových odlitků, které měl řešitelský tým ve svém rozšířeném výběrovém souboru, se pohybují od 1,16 Kč/kg do 7,88 Kč/kg s průměrným nákladem 3,09 Kč/kg. Z **obr. 8.1** vyplývá, že největší podíl posuzovaných odlitků (3 odlitky) je v oblasti minimálních nákladů – tedy od 1,10 Kč/kg do 1,60 Kč/kg a od 3,2 Kč/kg do 3,64 Kč/kg.

Obr. 8.1: Histogram četnosti nákladů na tepelné zpracování



Nákladově méně četná (2 odlitky) je třetí skupina (od 2,8 Kč/kg do 3,2 Kč/kg). Jeden odlitek má náklady ve skupině 2,4 – 2,8 Kč/kg. Histogram četnosti je uzavřen s odlitkem o nákladech na TeZ 7,9 Kč/kg. Je tedy zřejmé, že nákladovost na TeZ je značně nevyrovnaná. A zejména odlitky s vyššími náklady by měly být předmětem dalšího šetření.

I když jsme si vědomi skutečnosti, že TeZ u ocelových odlitků jsou obvykle různého charakteru, měli jsme zájem posoudit závislost NVN na jejich počtu. Podobně jako v PXIV nám zkonstruovaná přímka signalizovala při vyšším počtu operací TeZ zvyšující se náklady. Nicméně nevykázala statisticky významnou závislost. A to ani v případě, že nebyly uvažovány extrémní náklady TeZ 7,9 Kč/kg.

Nově zařazené odlitky lze hodnotit následovně. Odlitek O.30 (Slévárna H) s 1,33 Kč/kg se řadí do první skupiny s nejmenšími náklady. Slévárna I s odlitkem O.32 a náklady 3,41 Kč/kg má náklady na TeZ druhé nejvyšší. Slévárna J (O.33) s náklady 7,88 Kč/kg má v daném souboru náklady nejvyšší.

Jak bylo již signalizováno, věnovali jsme se také posouzení nákladů na žihací pece.

## 8.2 Posouzení výrobní fáze tepelného zpracování hodnocením nákladů jednotlivých pecí

Pro tyto účely byla velice pracně konstruována **tab. 8.1 (PŘÍLOHA 3)**: Výchozí podklady k hodnocení pecí na tepelné zpracování.

Zaměřuje se na pece sléváren, které vyrábějí ocelové odlitky. V **tab. 8.1** jsou také některé informace o pecích sléváren, které se nepodařilo následně doplnit ve všech údajích (kupř. Slévárny K a J).

Pokud se týká posuzovaných údajů, tak v první řadě registrují vstupní technické a energetické podkladové informace (**sl. 1- 29, 33**). A z nich jsou následně vyvozeny hodnoty výsledné. Tedy zejména nákladové údaje (**sl. 31-37**). Následují údaje účinnosti (**sl. 39 a 40**).

### 8.2.1 Charakteristika žíhacích pecí ve slévárnách zařazených do PROJEKTU (tab. 8.1).

V úvodu považujeme za nutné provést podrobnější popis vybraných sloupců jmenované inovované tabulky.

*Informace vstupní:*

- sl.6:** Užité rozměry – to jsou skutečné, maximálně využitelné rozměry vnitřního prostoru pece, kam lze vložit vsázku. Tj. vnitřní rozměry pece bez nutných uliček po stranách a pod stropem, případně bez prostoru pro žíhací podložky. U pecí Slévárny C údaj výšky znamená výšku nad podložkami.
- sl.7:** Objem užitého pracovního prostoru pece – je vyjádřen v m<sup>3</sup> na základě údajů ze **sl.6**.
- sl.8:** Maximální hmotnostní zatížení v tunách, na které je pec dimenzována (v praxi není vždy nutně využívána).
- sl. 9:** Z toho žíhací pomůcky – hmotnost žíhacích pomůcek (podložek). Po odečtení této hmotnosti máme maximální hmotnostní využitelnost pece pro odlitky.
- sl. 10:** Použité palivo.
- sl. 11, 12, 13:** Hořáky typ, existence předeřevu (zde uvádíme, zda je využit předeřev spalovacího vzduchu – rekuperace) a počet hořáků.
- sl.14:** Maximální provozní teplota – jedná se o maximální konstrukční teplotu pece, která však není z technologických důvodů vždy využita.
- sl.15:** Průměrná teplota cyklu – je roční průměrná teplota pece během všech cyklů.
- sl. 16:** Průměrná teplota výdrže – roční průměr maximálních technologických teplot všech cyklů (výdrží).
- sl.17:** Maximální instalovaný příkon – jedná se o maximální příkon pece, nikoli o průměrný potřebný příkon.
- sl. 19:** Spotřeba el. energie – roční spotřeba elektrické energie. U plynových pecí převážně pro ventilátory spalovacího vzduchu, případně odtahové, dále pro řídicí (ŘS), akční členy, pohybové mechanismy apod.
- sl. 20:** Spotřeba plynu – roční spotřeba plynu přepočtená na normální tlak (Nm<sup>3</sup>).
- sl.21:** Počet cyklů tepelného zpracování v daném roce.
- sl. 28:** Náklady na údržbu – roční náklady na servis a údržbu, včetně nákladů na žíhací pomůcky.
- sl. 29:** Příkon el. energie – celkový příkon elektrické energie pro sledovanou pec.

*Vypočtené hodnoty:*

- sl. 30:** Průměrná spotřebovaná energie v plynu na 1 kg odlitku. Stanoví se vztahem celkové roční spotřeby plynu v GJ na hmotnost zpracovaných odlitků.
- sl. 31:** Spotřeba plynu za rok vyjádřená v Kč. Vzniká vynásobením hodnot ve **sl. 20** (Nm<sup>3</sup> plynu/rok) a cena Nm<sup>3</sup> v Kč (**sl. 24**).
- sl. 32:** Náklady na spotřebovaný plyn vyjádřené v Kč na jeden kg odlitku.

-**sl. 33**: Roční náklady na elektrickou energii vyjádřené v Kč. Násobek **sl. 19** (spotřebovaná energie v kWh/rok) a **sl. 25** (cena za kWh).

-**sl. 34**: Náklady na elektrickou energii na jeden kg odlitku. Získáme vztažením hodnot ve **sl. 33** (vynásobených 1000) na údaje ve **sl. 22** (roční produkce v tunách).

-**sl. 35**: Náklady na údržbu na jeden kg odlitku. Vypočteme vztažením hodnot **sl.č. 28** vynásobených 1000 (roční náklady na údržbu) na hmotnost zpracovaných odlitků (**sl. 22**).

-**sl. 36**: Náklady celkem na kg odlitku. Vznikne součtem **sl. 32, 34 a 35**. Tyto náklady nezahrnují odpisy z pořizovacích nákladů.

-**sl. 37**: Náklady celkem na kg odlitku bez nákladů na el. energii. Vznikne součtem **sl. 32, 34**.

-**sl. 38**: Průměrná hmotnost odlitků na cyklus. Získá se vztažením celkové hmotnosti zpracovaných odlitků (**sl. 22**) a počtu cyklů pece za rok (**sl. 21**).

-**sl. 39**: Využití maximálního zatížení pece. Získá se vztažením průměrné hmotnosti odlitků na cyklus (**sl. 38**) na maximální hmotnostní zatížení pece (**sl. 8**) snížené o žihací pomůcky (**sl. 9**). Je vyjádřen v %.

-**sl. 40**: Účinnost cyklu. V daném případě se nejedná o účinnost pece, ale o průměrnou účinnost žihacího cyklu stanovenou z ročních souhrnných dat, kdy příkon pece je dán násobkem roční spotřeby plynu a jeho výhřevnosti převedené na kJ. Výkon pece je celková hmotnost zpracovaných odlitků v peci v kg násobena měrnou tepelnou kapacitou a (prozatím) průměrnou teplotou výdrže. Tento parametr je ovlivněn využitím pece, spotřebou plynu a dalšími provozními vlivy.

Z uvedeného popisu **tab. 8.1** je zřejmé, že je v ní soustředěna celá řada údajů, které mohou sloužit ke kvalitnímu posouzení jejich práce.

## 8.2.2 ÚVODNÍ HODNOCENÍ ŽIHACÍCH PECÍ VE SLÉVÁRNÁCH ZAŘAZENÝCH DO PROJEKTU XV

Ze **sl. 7, tab. 8.1** vyplývá, že objem pracovního prostoru posuzovaných pecí se pohybuje od 4,6 m<sup>3</sup> do 150 m<sup>3</sup>. Tedy rozdíly v objemu pecí jsou zcela zásadní.

<u>Zjednodušeně</u> :	- 5 m <sup>3</sup>	2 pece
	- 10 až 20 m <sup>3</sup>	3 pece
	- 30-40 m <sup>3</sup>	6 pecí
	- 50 -60 m <sup>3</sup>	3 pece
	- 90-100 m <sup>3</sup>	3 pece
	- 150 m <sup>3</sup>	1 pec

Podobné zásadní rozdíly vykazují rozdíly v hmotnostním zatížení pecí v tunách (**sl. 8**). Ty se pohybují od 10 t do 100 t. Tyto rozdíly v objemu pracovního prostoru a tonáži pecí samozřejmě mají svůj dopad v nákladovosti na TeZ.

U sledovaných pecí TeZ je ve všech případech používán zemní plyn. U pecí Slévárny E je ve dvou případech používán plyn směsný.

Je třeba mít na zřeteli, že u některých pecí je instalován předeřev vzduchu (**sl. 11-13**). To by se mělo projevit v nižší nákladovosti. Bohužel ne vždy tomu tak je.

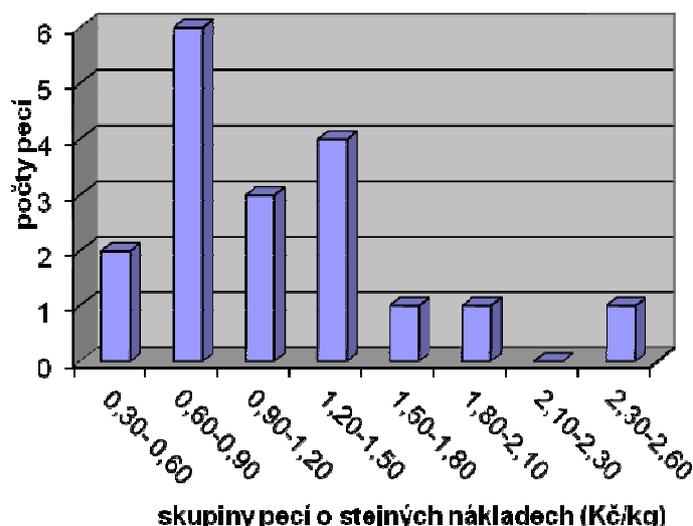
Při hodnocení nákladovosti pecí na tepelné zpracování vycházíme z ukazatelů – viz **sl. 32 – 37, tab. 8.1**. Do nákladů, které je možné věrohodně v žíhacích pecích evidovat, zařazujeme plyn (**sl. 31, 32**), dále el. energii (**sl. 33, 34**) a náklady na údržbu (**sl. 35, tab. 8.1**). Z **tab. 8.1** vyplývá, že u některých sléváren není spotřeba el.energie evidována samostatně dle pecí (kupř. Slévárna C a E). Abychom tedy měli co nejrozsáhlejší výběrový soubor sledovaných pecí zúžili jsme naše šetření v prvním kroku pouze na posuzování součtu nákladů na plyn a údržbu (**sl. 37**) – Označme si je jako  $N_{(p,u)}$ . Tato hodnota je použitelná u 18 pecí. A v druhém kroku se následně zaměříme na šetření všech nákladů tedy  $N_{(p,e,u)}$  – tedy náklady na plyn, elektrickou energii a údržbu.

### 8.2.2.1 Posouzení nákladů na TeZ zahrnující plyn a údržbu - $N_{(p,u)}$

Zjišťujeme, že náklady na TeZ hodnocené přes pece  $N_{(p,u)}$  - viz **tab. 8.1, sl.37** se pohybují od 0,55 Kč/kg do 2,41 Kč/kg. To považujeme za velké rozpětí. Je třeba dodat, že z cca 80 (nehodnotíme-li Slévárnu E, která má směsný plyn za interní ceny) až více než v 90 % se na nákladech podílí plyn.

Na **obr. 8.2** je uveden histogram četnosti nákladů sledovaných žíhacích pecí.

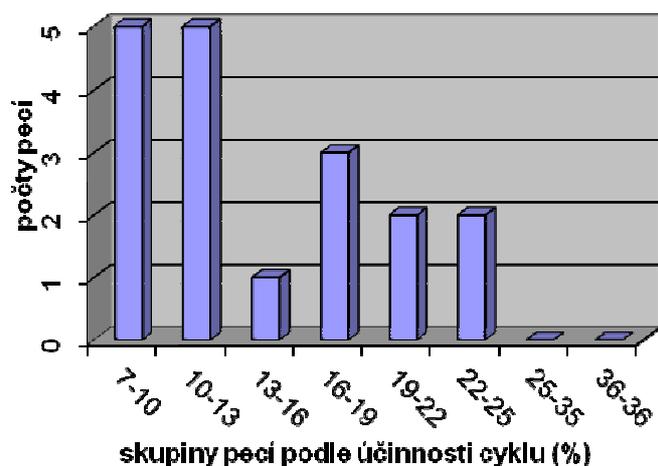
**Obr. 8.2:** Histogram četnosti nákladů na tepelné zpracování -  $N_{(u,p)}$



Z histogramu je zřejmé, že náklady skupiny 2 pecí se pohybují od 0,30 Kč/kg do 0,60 Kč/kg. Druhá množina šesti pecí (s vyššími náklady) se pohybuje v rozmezí 0,60 Kč/kg do 0,90 Kč/kg. Podobně další 3 pece vykazují tyto náklady od 0,90 – 1,2 Kč/kg. Následuje skupina čtyř pecí s náklady 1,2 Kč/kg až 1,5 Kč/kg. Další skupiny nákladů již charakterizují vždy jednu pec až do 2,6 Kč/kg, Tyto rozdíly v nákladech pecí by měly být slévárnami detailně posouzeny.

Při hledání hlavních faktorů, které ovlivňují nákladovost TeZ jednotlivých pecí ve formě  $N_{(p,u)}$ , jsme se v první řadě zaměřili na účinnost cyklu (**tab. 8.1, sl. 40**). Tato veličina byla definována výše. Účinnost cyklu se pohybuje od 7 % do 24 % s průměrnou hodnotou 15 %. Zatím nejsou se sledováním tohoto ukazatele velké zkušenosti. Je to hodnota účinnostní, měla by tedy teoreticky být pokud možno co nejvyšší. Když se podíváme na histogram četnosti jeho hodnot (viz **obr. 8.3**), tak zjišťujeme, že nejvyšší ukazatel mezi 22 až 25 % je pouze u dvou pecí!

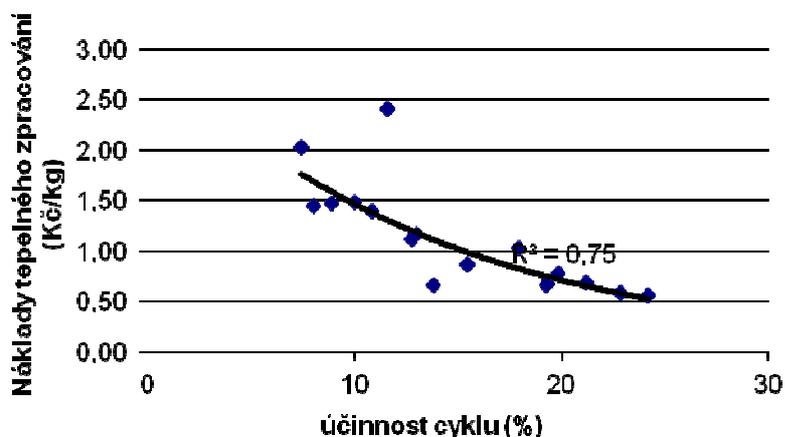
Obr. 8.3: Histogram četnosti účinnosti cyklu



Dále u dalších dvou pecí se pohybuje mezi 19 – 22 % a postupně klesá. Je zajímavou skutečností, že nejvíce pecí (pět) má tento ukazatel nejnižší mezi 7 až 10 % a 10 až 13 %!

Vraťme se však k námi sledovaným nákladům! Na **obr. 8.4** je vykreslena závislost těchto nákladů  $N_{(p,u)}$  na účinnosti cyklu.

Obr. 8.4: Závislost nákladů na plyn a údržbu na účinnosti cyklu



Dodejme, že nejdříve byla sestrojena lineární závislost. Ta s  $R^2 = 0,6274$ ,  $R_{skut} = 0,7921$  a  $R_{krit} = 0,4683$  prokázala statistickou závislost.

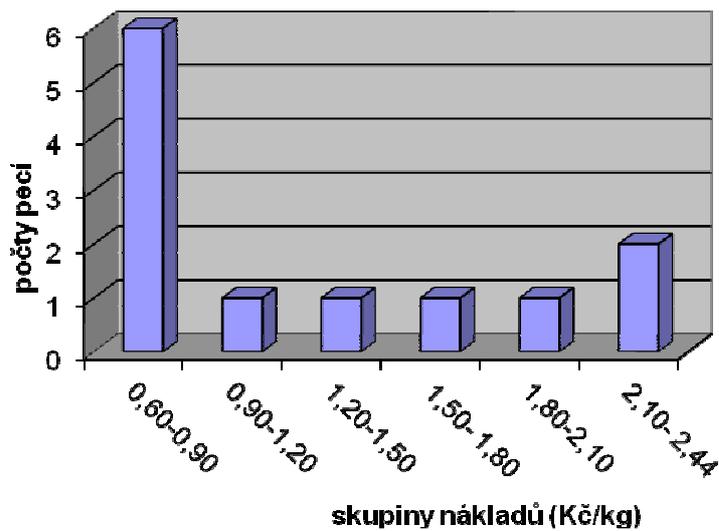
Vzhledem k tomu, že v daném případě nemůžeme pracovat s lineární závislostí (náklady na TeZ nemohou být při jisté vysoké hodnotě účinnosti cyklu záporné) vykreslili jsme exponenciální závislost. Ta nám (viz **obr. 8.4**) velice věrně naznačuje průběh skutečných nákladů. A dle koeficientu determinace  $R^2 = 0,75$  říká, že účinnost cyklu určuje téměř ze 75% výši nákladů  $N_{(p,u)}$ .

Dále se zaměříme na posouzení  $N_{(p,e,u)}$  – tedy náklady TeZ pecí na plyn, elektrickou energii a údržbu.

### 8.2.2.2 Posouzení nákladů na TeZ zahrnující plyn, elektrickou energii a údržbu - $N_{(p,e,u)}$

Náklady na TeZ hodnocené přes pece  $N_{(p,e,u)}$  - viz **tab. 8.1, sl. 36** se pohybují od 0,60 Kč/kg do 2,44 Kč/kg s průměrnou hodnotou 1,26 Kč/kg. To považujeme opět za velké rozpětí. Je třeba dodat, že náklady na elektrickou energii se pohybují od 1% do mezních 37 % s průměrnou hodnotou 10 %. Na **obr. 8.5** je uveden histogram četnosti nákladů sledovaných žihacích pecí  $N_{(p,e,u)}$ .

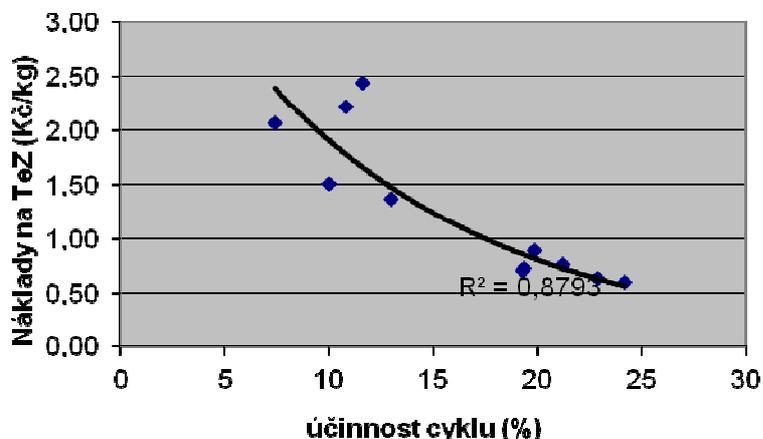
Obr. 8.5: Histogram četnost nákladů na TeZ zahrnující el. energii, plyn a údržbu



Z histogramu je zřejmé, že nejnižší náklady skupiny 6 pecí se pohybují od 0,60 Kč/kg do 0,90 Kč/kg. Dále se po jedné peci „obsazují“ jednotlivé nákladové skupiny. Až nejvyšší (2,1 – 2,44 Kč/kg) kde jsou dvě pece. Opět i tato zjištění v nákladech pecí by měly být slévárnami detailně posouzeny.

Opakovaně zaměříme vazbu těchto nákladů na účinnost cyklu (sl.40). U nákladů  $N_{(p,u)}$  se prokázala opět velice zajímavá vazba. Na **obr. 8.6** je vykreslena opět exponenciální závislost těchto nákladů  $N_{(p,e,u)}$  na účinnosti cyklu.

Obr. 8.6: Závislost nákladu TeZ (plyn, el.energie a údržby) na účinnosti cyklu



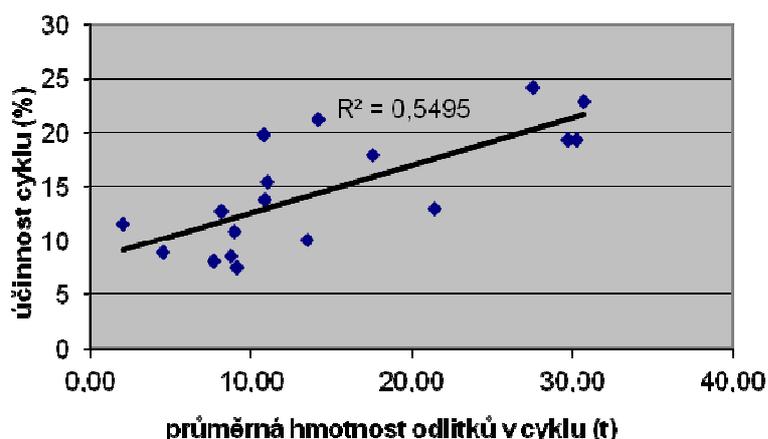
**Obr. 8.6** nám opět velice věrně naznačuje průběh skutečných nákladů. A  $R^2 = 0,8793$  (koeficient determinace) říká, že účinnost cyklu určuje téměř z 90 % výši nákladů  $N_{(p,e,u)}$ . To je velice zajímavé zjištění.

Poněvadž účinnost cyklu se jeví pro výši nákladů jako velice významná, zaměříme se dále na aspekty, které jej ovlivňují.

### 8.2.2.3 Hledání aspektů, které ovlivňují účinnost cyklu

Prvním vlivem, který chceme prošetřit, jsou průměrné hmotnosti odlitků v cyklu. Tato závislost je znázorněna na **obr. 8.7**.

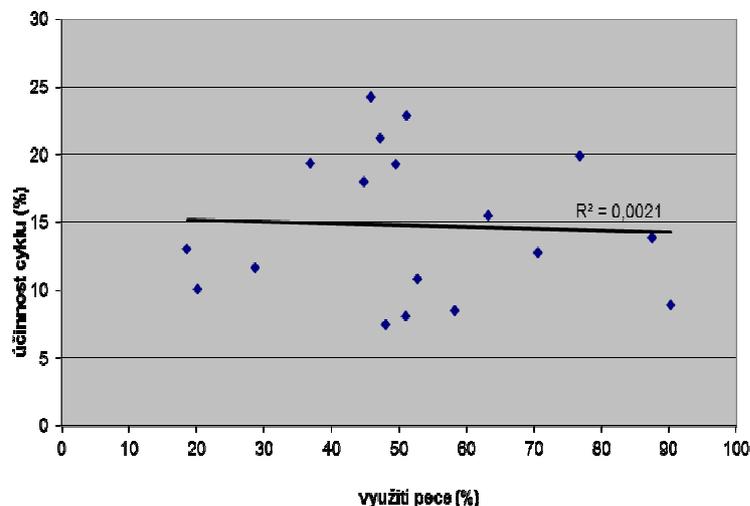
**Obr. 8.7:** Závislost účinnosti cyklu na průměrné hmotnosti odlitků v cyklu



Z uvedeného grafu očekávaně vyplývá, že se zvyšující se průměrnou hmotností odlitků v cyklu vzrůstá účinnost cyklu. Podle koeficientu determinace zajišťuje tento vliv asi 55 % celkového působení. Poněvadž  $R_{skut}$  je vyšší než  $R_{krit}$  je tato závislost statisticky významná.

Jako další prošetřovaná veličina bylo využití maximálního zatížení pece (**sl. 39, tab. 8.1**). Tato závislost je vykreslena na **obr. 8.8**.

**Obr. 8.8:** Závislost účinnosti cyklu na využití pece



Tato doslovně pouze naznačená závislost signalizuje, že se stoupajícím využitím pece účinnost cyklu „nezatelně“ klesá. To není v souladu jak s teoretickými předpoklady tak i praktickými zkušenostmi. A navíc se závislost neprokázala jako statisticky významná.

Dále byly posuzovány i závislosti účinnosti cyklu na maximálním hmotnostním zatížení pece (sl. 8) a objemu užitého pracovního prostoru pece (sl. 7). V obou případech se jevíly správné tendence přímek (přímá úměra), ale koeficienty korelace byly velice nízké.

Následně jsme se zaměřili na průzkum technického stavu pecí na žihání.

### 8.3 Posouzení pecí na tepelné zpracování

Detailní posouzení spojené s příslušným rámcovým doporučením a odhadem možných přínosů provedl specialista Ing. Michael Fík z Tepelných zařízení Fík, s.r.o, Praha.

Při posuzování pecí byli přítomni zástupci sléváren, se kterými byla problematika podrobně prodiskutována.

Opět se zaměřujeme pouze na nové slévárny.

#### 8.3.1 Slévárna H

##### a) Pec č. 1 (40)

##### Zjištěné skutečnosti:

- v původním stavu, bez rekonstrukce,
- těžká, šamotová vyzdívka – vysoká ztráta akumulací tepla,
- pec je vybavena původními hořáky Škoda, jejichž bezpečný chod je zajištěn dodatečným pilotním hořákem s hlídáním a zapalováním,
- užívá se přednostně pro nižší teplotní režimy z důvodu spotřeby,
- žihá se na rostech.

##### Doporučení:

- Rekonstrukce pece, při výměně vyzdívky se soustředit na co nejnížší akumulační ztráty, využít vláknitých materiálů na stěny, strop i vrata pece.
- Dle charakteru a tvaru vsázky pak zvážit možnost konstrukce vyzdívky vozu z lehčených materiálů, kdy nosným prvkem bude soustava ocelových žáruvzdorných odlítků (sloupky, trámce). Nebo alespoň částečná konstrukce vyzdívky z lehčených žárobetonů.
- Při výměně topného systému pak rozhodně doporučujeme využití rekuperace ať již centrálním rekuperátorem, nebo rekuperačními hořáky.
- Řídicí systém s přesnou regulací spalovacího poměru, kompenzací spalovacího poměru v závislosti na teplotě předeřevu, regulaci tlaku v peci, automatickým provozem dle zadaných křivek.
- Dotěsnění vozu v peci a dveří.
- Sledovat přesně spotřeby plynu v závislosti na množství ohřáté vsázky. Sledovat spotřebu el. energie jednotlivých pecí, nebo alespoň jejich skupin.
- Pokud tah komína umožní, nepoužívat odtahové ventilátory (výkony 2 x 11 kW), případně řídit tyto ventilátory měničem.

### Přínos:

Předpokládaná úspora při celkové rekonstrukci je až 40 % plynu.

Rekonstrukce též přinese výrazné zlepšení rovnoměrnosti teplotního pole a tím sníží náklady vyplývající ze zmetkovitosti způsobené nesprávným tepelným zpracováním.

### **b) Pec č. 2 (41)**

#### Zjištěné skutečnosti:

- po rekonstrukci,
- vláknitá vyzdívka,
- rekuperační hořáky WS 230 kW, 2x5 ks,
- odtahový ventilátor, řízení tlaku v peci hradítkem,
- vůz původní, pouze nová vyzdívka, materiál na roštech, které jsou na stoličkách,
- pec nemá mechanické dotěšňování žlabů, pouze pevné žlaby s pískem,
- dveře nemají mechanismus dotlačení, pouze dotěšnění vlastní vahou,
- rovnoměrnost  $\pm 14$  °C. Byl by požadavek na lepší rovnoměrnost.

#### Návrh:

Nová konstrukce vyzdívky vozu – možnost konstrukce vyzdívky z lehčených materiálů, kdy nosným prvkem bude soustava ocelových žáruvzdorných odlitků (sloupky, trámce, rošty), viz **obr. 8.9**.

**Obr. 8.9: Konstrukce vyzdívky vozu**



- Kontrolovat dotěšnění vozu v peci, zvážit mechanické dotlačování.
- Pravidelně kontrolovat mechanismus těsnění dveří.
- Pokud nejsou použity, bylo by vhodné, vzhledem k jejich výkonu řídit ventilátory měničem otáček.
- U rekuperačních hořáků pravidelně kontrolovat spalovací poměr v celém rozsahu provozních teplot pece.

### c) Pec č. 3 (14)

Obr. 8.10: Pec č. 3



#### Zjištěné skutečnosti:

- pec je nově dodána,
- pískové těsnící žlaby, dotlačování dveří samotíží,
- pec je vybavena 14 ks rekuperačních hořáků Rekumat 100 kW,
- dva vzduchové a dva chladicí ventilátory řízené frekvenčními měniči,
- odtah novým komínem 600 mm,
- měření plynu i elektro,
- produkce válce (válcovací stolice), na stoličkách, bez roštů.

#### Návrh:

- Kontrola spalovacího poměru.
- V případě vyššího požadavku na rovnoměrnost zvážit mechanické dotěsnění žlabu vozu.
- Zvážit využití pece i na jiný sortiment, vzhledem k její moderní konstrukci a nižší energetické náročnosti.

### d) Pec č. 4 (IHC)

#### Zjištěné skutečnosti:

- poklop venku,
- pokloповá pec na LTO ze šedesátých let, umístěná venku,

Obr. 8.11: Pec č. 4



### Doporučení:

- Nahradit moderním zařízením spalujícím zemní plyn, lze předpokládat až o 40 % nižší náklady na TeZ.

### Poznámka:

U pecí s přídavným chlazením vzduchem kontrolovat, zda chlazení „nepodchlazuje“ při náhřevu a výdrži. Pravidelný servis, kontrola spalovacího poměru. Sledování spotřeby plynu i elektrické energie, průtok vsázky.

V porovnání s ostatními slévárnami vyšší nákupní cena plynu!

## **8.3.2 Slévárna J**

### **a) Pece č. 1-3**

Obr. 8.12: Pec č. 1



### Zjištěný stav:

- Pece dosud nebyly rekonstruovány.
- Vyzdívky jsou z tvrdých šamotových materiálů (vysoké ztráty akumulací i prostupem), částečně s vnitřní torkretací vláknitým materiálem.
- Lze předpokládat nerovnoměrnost teplotního pole a z toho vyplývající další ztráty opakovaním TeZ.

### Doporučení:

- Rekonstrukce pecí, při výměně vyzdívky se soustředit na co nejnižší akumulační ztráty, využít vláknitých materiálů na stěny, strop i vrata pece.
- Dle charakteru a tvaru vsázky pak zvážit možnost konstrukce vyzdívky vozu z lehčených materiálů, kdy nosným prvkem bude soustava ocelových žáruvzdorných odlitků (sloupky, trámce).
- Při výměně topného systému pak rozhodně doporučujeme využití rekuperace ať již centrálním rekuperátorem, nebo rekuperačními hořáky.
- Řídicí systém s přesnou regulací spalovacího poměru, kompenzací spalovacího poměru v závislosti na teplotě přehřevu, regulací tlaku v peci, automatickým provozem dle zadaných křivek.

- Dotěsnění vozu v peci a dveří.
- Sledovat spotřebu el. energie jednotlivých pecí, nebo alespoň jejich skupin.
- Sledovat přesně spotřebu plynu v závislosti na množství ohřáté vsázky.

#### Přínos:

Předpokládaná úspora při celkové rekonstrukci je až 40 % plynu.

Rekonstrukce též přinese výrazné zlepšení rovnoměrnosti teplotního pole a tím sníží náklady vyplývající ze zmetkovitosti způsobené nesprávným tepelným zpracováním.

#### Poznámka:

V porovnání s ostatními slévárnami vyšší nákupní cena plynu!

### 8.3.3 Slévárna I

Obr. 8.13: Posuzovaná pec



#### Zjištěný stav:

- Původní pec ze sedmdesátých let.
- Pískové žlaby.
- Ruční mechanismus dotěsnění vrat.
- Původní rekuperátor, dle dokumentace až 450°C, skutečná teplota spalovacího vzduchu není sledována.
- Vnitřní vrstva vyzdívky je provedena z vláknitých materiálů.

#### Doporučení:

- Předně zkontrolovat funkci stávajícího rekuperátoru, změřit teplotu spalovacího vzduchu před hořáky, provést kontrolu spalovacího poměru v celém rozsahu pracovních teplot.
- Následně doporučujeme rekonstrukci pece, při výměně vyzdívky se soustředit na co nejnížší akumulační ztráty, využít vláknitých materiálů na stěny, strop i vrata pece.
- Dle charakteru a tvaru vsázky pak zvážit možnost konstrukce vyzdívky vozu z lehčených materiálů, kdy nosným prvkem bude soustava ocelových žáruvzdorných odlitků (sloupky, trámce).
- Při výměně topného systému pak rozhodně doporučujeme využití rekuperace ať již stávajícím nebo novým centrálním rekuperátorem, případně rekuperačními hořáky.

- Řídicí systém s přesnou regulací spalovacího poměru, kompenzací spalovacího poměru v závislosti na teplotě přehřevu, regulaci tlaku v peci, s automatickým provozem dle zadaných křivek.
- Dotěsnění vozu v peci a dveří.
- Sledovat spotřebu el. energie jednotlivých pecí, nebo alespoň jejich skupin.
- Sledovat přesně spotřeby plynu v závislosti na množství ohřáté vsázky.

#### Přínos:

Předpokládaná úspora při celkové rekonstrukci je až 40 % plynu.

Rekonstrukce též přinese výrazné zlepšení rovnoměrnosti teplotního pole a tím se sníží náklady vyplývající ze zmetkovitosti způsobené nesprávným tepelným zpracováním.

Slévárna I uvedená zjištění postupně prošetřuje a využije k racionalizaci výroby odlitků jak v oblasti tryskání tak i TeZ.

Je možné konstatovat, že nálezy ve slévárnách jsou do jisté míry obdobné zjištěním v PXIV. A můžeme také připomenout, že slévárny by měly akceptovat doporučení, která byla formulována v PXIV ve stati „DESATERO HOSPODÁRNÉHO PROVOZU PRO ÚSPORY ENERGIÍ“.

## **8.4 Závěr posouzení nákladovosti tepelného zpracování u rozšířeného souboru ocelových odlitků**

Jak je zřejmé tak práce zaměřené na TeZ v PROJEKTU XV opět rozšířily pohled na možnosti racionalizace této fáze výroby odlitků. Došlo k definici základních technických předpokladů pro efektivní provoz pecí. Z databáze údajů pecí řešitelů se nyní vytvářejí srovnávací ukazatele jako např. účinnost cyklu, využití pecí, spotřeba plynu/kg odlitku apod. Tyto ukazatele „průměrují“ hodnoty energeticky značně rozdílných cyklů. Jako problematické se jeví získávání relativně přesných dat, stejně jako v počátcích PROJEKTŮ řešících tryskání.

Zásadním pro zúčastněné slévárny v PXV bude pokusit se získané informace využít pro zefektivnění své práce. Je patrně zbytečné dodávat, že by si slévárny měly porovnat své výsledky s druhými slévárnami. A dále využít jak prokázaných nebo pouze snad nastíněných aspektů, které ovlivňují nákladovost TeZ.

Práce v PXV však také položily nové otázky a nastínily nové možnosti pro pokračování v řešení této problematiky.

### **8.4.1 Možná zaměření pokračování řešení v oblasti TeZ**

První oblastí bude zcela jistě další rozvedení účinnostních charakteristik. Je to v první řadě dopracování slibně naznačené účinnosti cyklu. Zde bude třeba se zaměřit na další aspekty, které tento ukazatel ovlivňují. A dále posoudit další možné ukazatele účinnosti.

Jako další se jeví posoudit možnou vhodnost nákladového porovnání jednotlivých operací TeZ. Myslí se kupříkladu možnost porovnání operace normalizace, popouštění, kalení apod. v

různých slévárnách. Provedená porovnání by mohla být jak v oblasti energetické tak samozřejmě i nákladové. Dosavadní diskuse řešitelského týmu naznačují možné problémy zejména v oblasti existence věrohodných dat, srovnatelnost vlastního porovnání operací apod. Je tedy zřejmé, že tato oblast si vyžádá poměrně rozsáhlé šetření.

Jako zcela zásadní se jeví budoucí zaměření na optimalizaci diagramu tepelného zpracování.

#### 8.4.1.1 Optimalizace diagramu tepelného zpracování

##### a) Úvod do problematiky

V návaznosti na sběr dat a vyhodnocování nákladů na tepelné hospodářství v rámci PROJEKTŮ XIV a XV vyvstal požadavek na jejich další využití v podobě konkrétních technických řešení, která by vedla k dalšímu systematickému snižování a kontrole nákladů na tepelné zpracování.

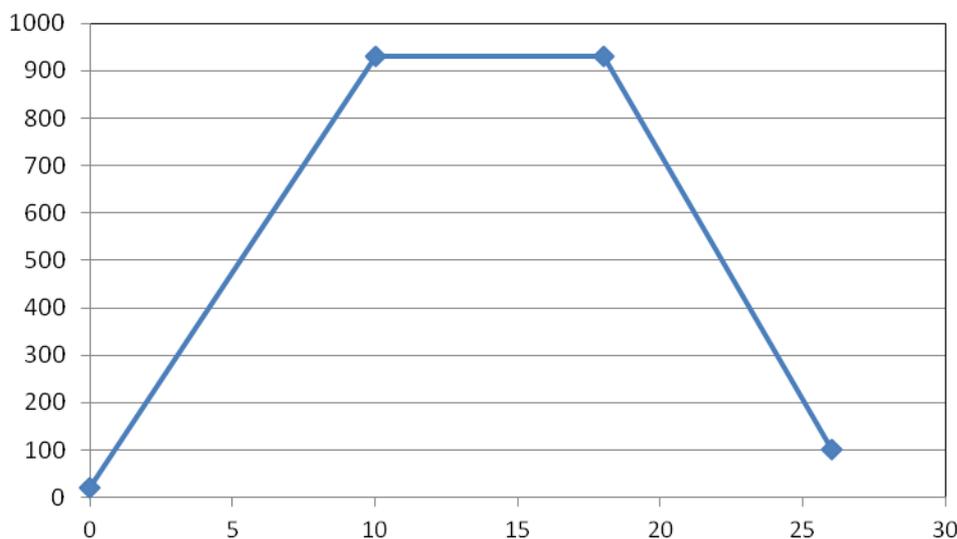
Jedním z mnoha směrů, kterými lze v problematice TeZ postupovat je i revize, analýza a následná optimalizace teplotních diagramů TeZ.

Ze získaných dat vyplývá, že náklady na energie představují v TeZ odliktů majoritní podíl v celkových nákladech (cca 80%).

Spotřeba energií je pak úměrná průměrné teplotě a délce trvání TeZ.

Z pohledu úspor energií na diagramy TeZ tak vyplývá - jestliže nemůžeme ovlivnit teploty (jsou dány technologicky), pak se lze zamýšlet nad délkou, tj. celkovým časem ohřevu a výdrže (viz diagram).

**Obr. 8.14: Zjednodušený diagram TeZ**



Zjednodušený diagram TeZ se skládá ze tří částí: fáze ohřevu, fáze výdrže a fáze chlazení.

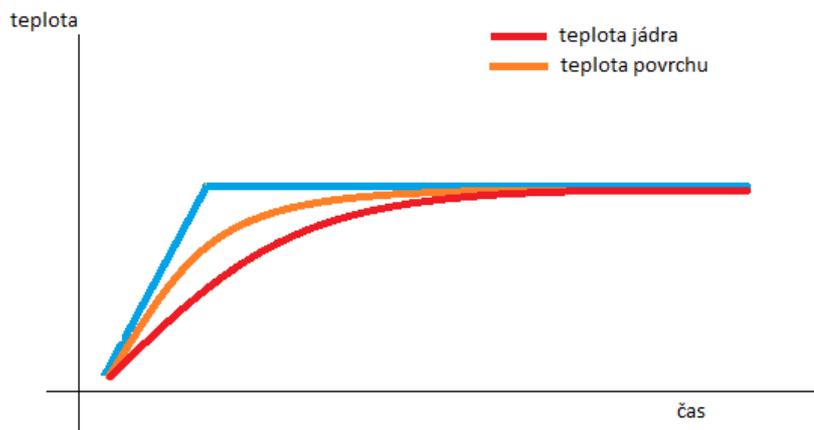
Fáze chlazení probíhá v praxi až na výjimky bez přitápění, čímž se neúčastní na spotřebě plynu a prozatím se jí nebudeme zabývat. Nicméně, v budoucnu se i k této části vrátíme.

Fázi prodlevy (výdrže) pak je možno rozdělit na dvě části.

- První část slouží pro dorovnání teplot jak mezi povrchem a jádrem vsázky, tak mezi jednotlivými kusy (odlitky) v pracovním prostoru pece.
- Druhá, podstatně kratší část prodlevy pak je nezbytně nutná pro tzv. „fázové přeměny materiálu“. U většiny běžných materiálů se však jedná o velice krátkou dobu, v řádu minut.

V zájmu co nejnížší spotřeby je nutnost zkrátit fázi ohřevu a fázi výdrže na minimální, nezbytně nutnou dobu (zejména z důvodu ztrát pece „na prázdno“).

**Obr. 8.15: Diagram teplotního nárůstu**



Je nutno si uvědomit, že takový diagram (viz výše) je jen zjednodušeným teoretickým popisem a zdaleka neodpovídá průběhu teplot ve vsázce. Zvláště ve fázi ohřevu, teploty v jádru vsázky zcela nekorrespondují s teplotou prostředí v peci, kterou jsme schopni sledovat. Zjednodušeně řečeno, čím rychlejší ohřev a silnější stěna vsázky (odlitku), tím větší rozdíly mezi povrchovou a vnitřní teplotou vsázky.

Pro dorovnání těchto teplot pak slouží fáze výdrže.

V současné době se při návrhu diagramů TeZ vychází ze tří způsobů:

- I) Sledování vnitřní teploty vsázky tzv. vlečnými termočlánky vloženými dovnitř vsázky, nebo dovnitř rozměrově podobných pomůcek (kostky).
- II) Jednoduchým výpočtem pomocí různých matematicko-fyzikálních pomůcek (praxe).
- III) Modelováním ohřevu na výpočtovém modelu.

Všechny výše uvedené způsoby se snaží sledovat (I), respektive předpovědět (II, III) dosažení teploty jádra vsázky (odlitku). Bohužel ani jeden z těchto uvedených způsobů nelze, ať již z finančních, nebo provozně-technických důvodů aplikovat pravidelně pro každou vsázku a jsou tak používány pouze jako kontrolní.

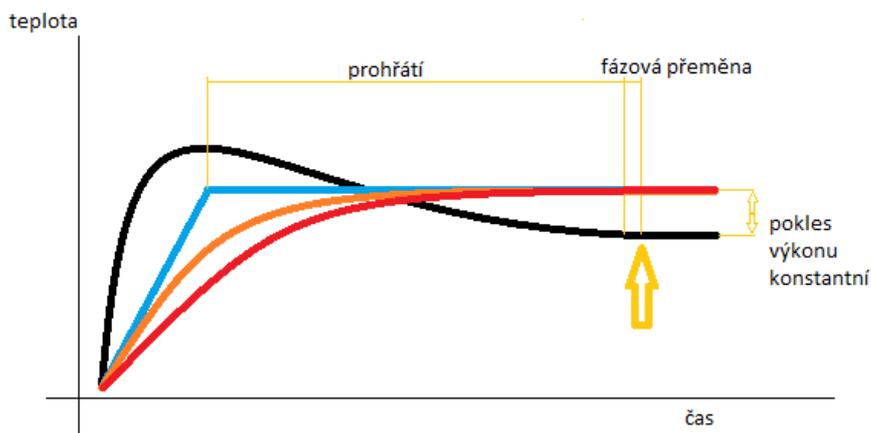
Jednoduše řečeno: Snažíme se popsat něco, co přesně neznáme (teploty jádra) na základě nedostatečných informací, ze kterých dále vytváříme zjednodušený popis (diagram), dle kterého se snažíme pokud možno co nejpřesněji řídit teploty prostředí v peci po odhadnutou dobu. To ovšem není cílem.

Cílem z hlediska ohřevu je zajistit prohřátí vsázky v celém průřezu na požadované teplotě a zajistit dostatečnou dobu na „fázové přeměny materiálu“.

### b) Záměr

Záměrem tohoto řešení je vytvořit systém optimalizace doby diagramu TeZ na základě sledování vnějších parametrů pece a to zejména okamžitého příkonu pece (plynové i elektrické).

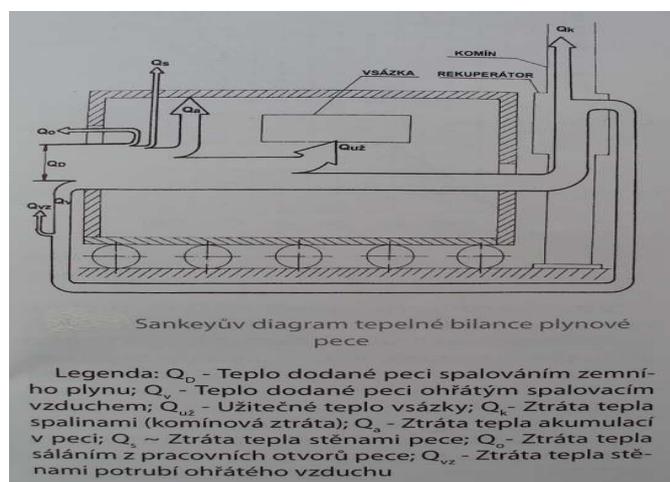
Obr. 8.16: Schematický teplotní průběh



Na obr. 8.16 výše je černou čarou znázorněn průběh křivky příkonu pece, modrou čarou diagram TeZ, oranžová je teplota povrchu materiálu, červená teplota jádra materiálu.

Příkon pece roste s rostoucí teplotou, dosahuje maxima při dosažení teploty výdrže a dále pak klesá, dle toho, jak se materiál postupně prohřívá. V okamžiku, kdy je materiál prohřátý, ustálí se okamžitý příkon na přibližně konstantní hodnotě, která v podstatě pokrývá jen ztráty pece na prázdno. K doplnění problematiky viz obr. 8.17.

Obr. 8.17: Sankeyův diagram tepelné spotřeby u pece na TeZ



Analýzou této křivky, bez ohledu na absolutní hodnoty jsme schopni rozpoznat bod, kdy materiál již „nepřijímá“ další teplo. Lze tedy předpokládat, že došlo k jeho prohřátí do jádra. Následuje úsek, který slouží pro fázové přeměny materiálu. Ten lze pro daný materiál definovat pouze dobou. Po uplynutí tohoto úseku, v bodě označeném šipkou, lze automaticky ukončit fázi výdrže a přejít do fáze chlazení materiálu.

V případě, že pec bude „naložena“ menší hmotností vsázky, dojde k rychlejšímu ohřevu a diagram bude automaticky kratší.

Totéž platí, pokud bude vsázka menších průřezů, rychleji se prohřeje a diagram se opět automaticky zkrátí.

**c) Výhody řešení:**

- flexibilita v závislosti na objemu a charakteru vsázky,
- systematickosti práce s diagramy – nepracujeme s odhady, ale měřenými hodnotami,
- snížení rizika lidského faktoru při výpočtu a zadávání diagramů v praxi,
- snížení spotřeby paliva vlivem zkrácení diagramů,
- zvýšení kapacity vlivem zkrácení diagramů,
- snížení zmetkovitosti při TeZ,
- v případě pecí s moderním řídicím systémem se jedná pouze o softwarové řešení, tedy relativně levnou investici.
- možno použít na plynových i elektrických pecích,
- systém lze využít nejen při tepelném zpracování, ale při ohřevěch obecně, tj. i pro ohřívací pece apod. (vždy jde o prohřátí vsázky).

**d) Rizika řešení:**

- při malých objemech vsázky a v pecích s tvrdou vyzdívkou může akumulace vyzdívkou pece převýšit akumulaci do materiálu. Diagram by pak byl naopak delší, než je třeba.
- nutno odladit takový systém pro specifické zařízení – pec a provozní podmínky. K tomu by sloužilo parametrické zadávání hodnoty poklesu výkonu – bod možno jednoduše posouvat.
- systém nelze v takto jednoduché podobě použít u průběžných pecí.

**e) Další postup:**

- konzultace problematiky s metalurgii,
- instalace a vyzkoušení systému ve vybraném provozu (nejlépe v rámci rekonstrukce pece, tj. s novým řídicím systémem),
- zvážit a vyzkoušet provázání systému optimalizace diagramu s pecními regulačními termočlánky – kontrola rovnoměrnosti teplot v prostoru pece,
- vývoj autonomního sledovacího zařízení, které lze instalovat nezávisle na řídicím systému pece (vyhodnocování průtoku plynu dle plynoměru, u el. pecí elektroměru).

### Poznámka:

Obrázky pro tento návrh byly vytvořeny pouze ilustrativně, hodnoty neodpovídají reálným podmínkám.

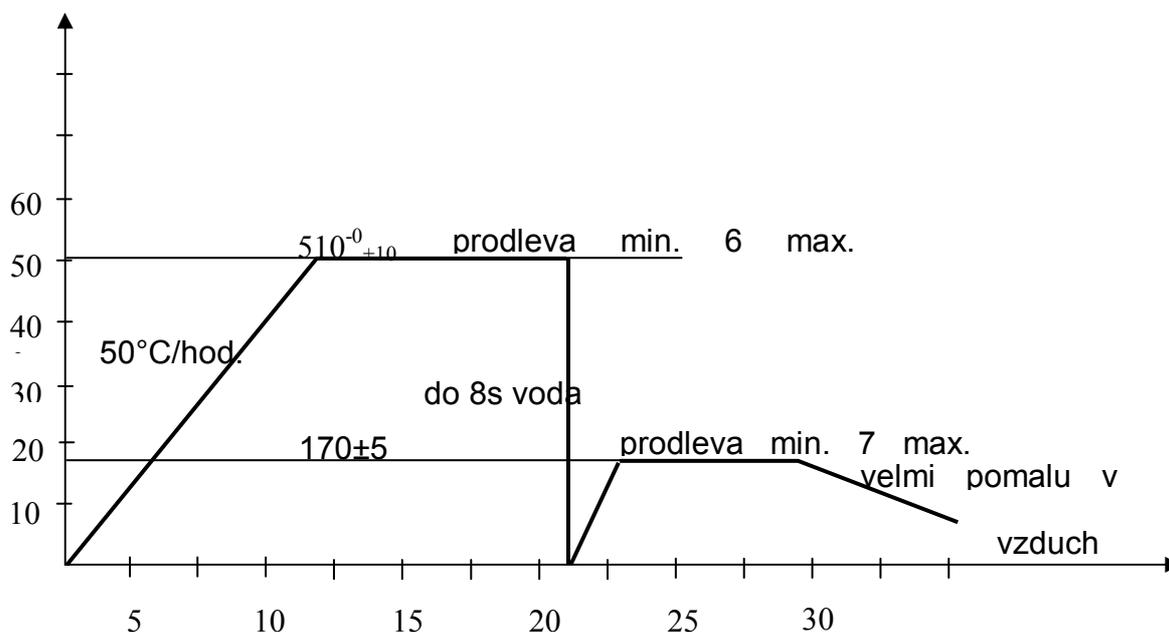
Při řešení nákladovosti TeZ ocelových odlitků je nutné se alespoň zmínit o TeZ odlitků z hliníkových slitin.

## 8.5 Problematika sledování nákladů na tepelné zpracování u hliníkových slitin

Když si v prvním přiblížení nastíníme problematiku TeZ hliníkových slitin konstatujeme, že:

- operace probíhají při významně nižších teplotách (cca 500°C) než u ocelových odlitků – viz **obr. 8.18**,
- bývají prováděny v elektrických komorových odporových pecích,
- vyhřívané komory jsou bezvyzdívkové z nerezavějících ocelí,
- izolace stěn a víka bývají z keramických vláknitých materiálů.

**Obr. 8.18: Diagram tepelného zpracování Al slitin**



Na podmínky Slévárny D byla provedena rámcová úvodní kalkulace nákladů odlitků z Al slitin na TeZ. Zjistilo se, že pouze energetické náklady se pohybují od 2,16 Kč/kg do 2,34 Kč/kg. K tomu je nezbytné přidat náklady na manipulaci, spotřebu technologické vody a její chemické úpravy, osobní náklady žihače a vozičkáře, nezbytnou údržbu atd. To všechno signalizuje, že náklady by vzrostly minimálně na dvojnásobek výdajů energetických.

Nákladovost ocelových odlitků, kde se operace TeZ provádějí za teplot minimálně od 600°C do 900 °C, činila od 1,16 Kč/kg do 7,88 Kč/kg s průměrem 3,09 Kč/kg.

V podmínkách Slévárny D byla při návštěvě Ing. Michaela Fíka situace zevrubně posouzena a předběžné návrhy při instalaci nových pecí signalizují úsporu až 50 % paliva (viz **obr. 8.19**).

Podrobnější podklady jsou uloženy u Ing. Ivo Lány, Ph.D. Je tedy zřejmé, že s problematikou TeZ u Al slitin je třeba s plnou vážností pracovat.

**Obr. 8.19: Pracoviště tepelného zpracování Al slitin**



## **9 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU**

Tato oblast byla ve studii podrobně rozváděna, proto ji uvedeme pouze bodově.

### **a) oblast zkoumání charakteristik odlitků a jejich závislostí**

Zde se v první řadě jeví nutné ověřit velice zajímavé výsledky závislostí ze Sléváren F a G v PXIV. V úvahu připadá Slévárna I, kde patrně existují potřebná data.

Ve druhé řadě bude třeba se vážně zamyslet nad praktickým využitím prokázaných výsledků nákladových závislostí pro slévárny.

### **b) oblast tryskání**

Zde bude nezbytné se dále zaměřit na rozpracování otázek JSA (jednotné spotřeby abraziva) a jeho využití ve slévárnách.

Dále bude třeba posoudit otázky použitelnosti také nově vyvinutého ukazatele „hodinových nákladů tryskání“. S ním se dosud významně nepracovalo.

Také bude nezbytné rozpracovat optimální využití k řízení operace tryskání zařízení na snímání zatížení metacích turbín TZ.

A je zde zcela nová oblast motivačních opatření, které si vyžadují příslušné využití. V současném stavu řešení, kdy můžeme řadu operací u tryskání dosti přesně nákladově ohodnotit je to velice žádané zaměření.

### c) oblast tepelného zpracování

V této by bylo vhodné se zaměřit na:

- rozvedení účinnostních charakteristik,
- posoudit vhodnost nákladového porovnání jednotlivých operací TeZ (kupříkladu porovnání operace normalizace, popouštění, kalení apod.) v různých slévárnách,
- jako zcela zásadní se jeví budoucí zaměření na optimalizaci diagramu tepelného zpracování,
- v následujícím PROJEKTU je třeba se také zaměřit na problematiku TeZ slitin hliníku.

## 10 SHRNUÍ A ZÁVĚR

Předkládaná studie nejdříve PROJEKT XV zařazuje do souvislosti s PXII až PXIV. Následně se zaměřuje na východiska z PXIV. Poté shrnuje základní metodická východiska řešení nákladů na apretaci.

Pak se již věnuje úvodním pracím PXV. Nejprve to bylo rozšíření řešitelského týmu o tři slévárny - Vítkovické slévárny, spol. s.r.o., DSB EURO, s.r.o. Blansko a ZLH Plus, a. s. Hronec. Tyto slévárny přinesly do sledování tři nové ocelové a dva litinové odlitky.

Následně byly stanoveny cíle PROJEKTU XV. Ty se zaměřují především na oblast posouzení rozšířených souborů odlitků v oblasti charakteristik odlitků a jejich následným využitím pro nákladové závislosti. A dále na nákladovost mechanického čištění spojené s hledáním jednotícího ukazatele jednotkové spotřeby abraziva. Podobně u tepelného zpracování opět hodnotíme rozšířené soubory spolu s vytvořením a hodnocením účinnostního ukazatele.

Poté je uvedena zevrubná charakteristika nových sléváren.

Následně jsme se již zaměřili na oblast vytvoření dříve vytypovaných charakteristik odlitků. Ty byly u výběrových souborů stanoveny. Ukázalo se, že šetřené závislosti nákladů na apretaci jak u ocelových, tak i litinových odlitků na uvedených charakteristikách vykazují závěry obdobné, jak byly zjištěny v PXIV. Potvrdilo se tedy dříve signalizované řešení použít pro toto řešení rozsáhlých souborů těchto dat ve slévárnách.

U posuzování nákladů na tryskání rozšířených souborů jsme si potvrdili rozsáhlou měnlivost nákladů. U litinových i ocelových odlitků téměř shodnou od cca 0,20 Kč/kg do 3,70 Kč/kg.

Následně jsme se věnovali posuzování efektivnosti tryskacího zařízení. K tomu účelu byl vytvořen ukazatel Jednotné spotřeby abraziva (JSA). Ten je vykazován v (kg/hod)/kW. Zjednodušeně JSA je podílem průměrné spotřeby abraziva vztahované na 1kW příkonu metacích jednotek příslušného tryskače. Jeho hodnota by se měla pohybovat od cca 0,2 do 0,3. Bohužel tyto hodnoty dosahují pouze 3 TZ z jedenácti posuzovaných. Následně se prokázalo, že JSA statisticky významně závisí na podílu abraziva v hodinových nákladech na tryskání. Podobně se jako statisticky významný projevil k překvapení i příkon turbín u TZ. Poté se v práci rozsáhle diskutuje využití tohoto ukazatele.

Následně provedené posouzení technického stavu TZ vyznívá obdobně problémově jako v r. 2013. Ve slévárně H byla provedena postupně dvě šetření v r. 2013 a v r. 2014. Tato posouzení jsou doplněna rozsáhlým dokumentačním materiálem a návrhem dalšího řešení. Lze říci, že tato situace může být pro slévárny typická.

V závěru této statě jsou shrnuta opatření technického a motivačního charakteru v oblasti tryskání. Jedná se o počítadlo provozních hodin a zařízení na snímání zatížení metacích turbín

tryskacího zařízení. Velice zajímavé je ověřené opatření motivačního charakteru ve Slévárně G. To přineslo mimo jiné velice pozoruhodné úspory v oblasti abraziva (snad až o 4 kg/hod). Také se velice pozitivně hodnotí změna vnímání nákladové náročnosti tryskání řešitelským týmem. Poté se v závěrečné stati shrnují základní zásady racionálního průběhu tryskání.

Následně se zaměřujeme na oblast tepelného zpracování. U rozšířeného souboru ocelových odlitků se tyto náklady pohybují od 1,16 Kč/kg do 7,88 Kč/kg s průměrem 3,09 Kč/kg. Na celkových nákladech apretace se podílí od 34 % do 69 %, což je významné.

V práci se rozsáhle věnujeme otázkám hodnocení vybraných nákladů na žíhací pece. K tomu byla velice pracně vytvořena rozsáhlá databáze se 40 sledovanými ukazateli. Hodnocení nákladů u 18 žíhacích pecí se provádí ve dvou verzích. Posuzují se v první řadě náklady na plyn a údržbu. Ve druhé variantě se k těmto nákladům přidává také elektrická energie. Ukázalo se, že tyto náklady se pohybují od 0,60 Kč/kg do 2,44 Kč/kg s průměrnou hodnotou 1,26 Kč/kg. To považujeme opět za velké rozpětí. Obě varianty jsou významně závislé na nově vyvinutém ukazateli účinnosti cyklu. Bohužel jeho hodnota je velice nízká. Maximální účinnost cyklu je 24%. Nejvíce pecí se pohybuje v hodnotách do 10%. Tento ukazatel se jeví jako významný hodnotící ukazatel efektivity tepelného zpracování. V práci je dále provedeno šetření na aspektech, které mají vliv na jeho výši.

Následně je u nově zařazených sléváren posouzen specialistou technický stav žíhacích pecí. Opět podobně jako v PXIV se objevuje řada doporučení a návrhů.

V závěru této stati se objevují návrhy na pokračování řešení TeZ. Podrobně je posouzen návrh na optimalizaci diagramů tepelného zpracování.

Práce jako taková je zakončena podrobným návrhem na pokračování v následujícím PROJEKTU XVI pro řešení r. 2015.

Zhruba lze říci, práce v r. 2014 dosti podstatně pokročily ve všech řešených oblastech apretace. Nicméně nastínily se nové otázky a vytkly další směry řešení.

Celkově můžeme konstatovat, že cíle, které si řešitelský kolektiv vytkl, byly splněny.

## Literatura

- /1/ Kafka V., Herzán M., Jelínek P., Lána I., Lasák R., Novobilský M., Pazderková V., Poloková O., Staničková G., Vyletová B., Doupovec D.: Vypracování metodiky nákladového hodnocení výrobní fáze apretace odlitků, PROJEKT XII, závěrečná zpráva, leden 2012, Česká slévárenská společnost Brno, s. 1- 49, tab.17, obr. 5, přílohy 3.
- /2/ Kafka V., Brhel J., Herzán M., Jelínek P., Lána I., Lasák R., Míča R., Novobilský M., Staničková G., Strouhalová M., Vyletová B.: Vypracování metodiky nákladového hodnocení apretace odlitků (II. etapa), PROJEKT XIII, závěrečná zpráva, prosinec 2012, Česká slévárenská společnost Brno, s. 1- 60, tab.13, obr. 16, přílohy 5.
- /3/ Kafka V., Brázda Z., Brhel J., Fík M., Herzán M., Jelínek P., Lána I., Marko E., Míča R., Novobilský M., Obrtlík J., Vyletová B., Mrázek M.: Vypracování metodiky nákladového hodnocení apretace odlitků (III. etapa), PROJEKT XIV, závěrečná zpráva, prosinec 2013, Česká slévárenská společnost Brno, s. 1- 79, tab.8, obr. 40, přílohy 5.
- /4/ Jelínek P.: Dálkové sledování tryskacího procesu – cesta ke snížení tryskacích nákladů, předneseno na 51. Slévárenských dnech, Brno 2014.

## Seznam zkratk

JSA	jednotná spotřeba abraziva
LKG	litina s kuličkovým grafitem
LLG	litina s lupínkovým grafitem
MJ	metací jednotky
MN	materiálové náklady
NDT	nedestruktivní zkoušky
Nth	náklady na tryskací hodinu
NVN	neúplné vlastní náklady
P	Příloha
PS	pracovní směs
PSA	průměrná spotřeba abraziva
PXII	PROJEKT XII
PXIII	PROJEKT XIII
PXIV	PROJEKT XIV
PXV	PROJEKT XV
$R_{krit}$	koeficient korelace kritický
$R_{skut}$	koeficient korelace skutečný
ŘS	řídící systém
TeZ	tepelné zpracování
TZ	tryskací zařízení
ZN	zpracovací náklady

## Seznam tabulek

TAB. 5.1: LITINOVÉ ODLITKY	4
TAB. 5.2: OCELOVÉ ODLITKY ZAŘAZENÉ DO SLEDOVÁNÍ	4
TAB. 6.1: VYBRANÉ CHARAKTERISTIKY ODLITKŮ	9
TAB. 6.4: KOEFICIENTY KORELACE ZÁVISLOSTÍ NÁKLADŮ NA CHARAKTERISTIKÁCH ODLITKŮ	10
TAB. 7.3: KONSTRUKCE UKAZATELE JEDNOTNÉ SPOTŘEBY ABRAZIVA VZTAŽENÉHO NA 1 KW TURBÍN	16
TAB. 7.4: SÍTOVÝ ROZBOR PRACOVNÍ SMĚSI	21

## Seznam obrázků

OBR. 5.1: HISTOGRAM ČETNOSTI HMOTNOSTNÍHO ROZLOŽENÍ LITINOVÝCH ODLITKŮ	5	
OBR. 5.2: HISTOGRAM ČETNOSTI HMOTNOSTNÍHO ZAŘAZENÍ ODLITKŮ DLE MÁLKA	6	
OBR. 5.3: HISTOGRAM ČETNOSTI LITINOVÝCH ODLITKŮ ČLENĚNÝCH PODLE TVARU DLE MÁLKA	6	
OBR. 5.4: HISTOGRAM ČETNOSTI HMOTNOSTNÍHO ROZLOŽENÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ	7	
OBR. 5.5: HISTOGRAM ČETNOSTI HMOTNOSTNÍHO ZAŘAZENÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ DLE MÁLKA	7	
OBR. 5.6: HISTOGRAM ČETNOSTI TVAROVÉHO ZAŘAZENÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ DLE MÁLKA	8	
OBR. 7.1: HISTOGRAM ČETNOSTI NVN NA APRETACI	12	
OBR. 7.2: HISTOGRAM ČETNOSTI NVN TRYSKÁNÍ LITINOVÝCH ODLITKŮ	13	
OBR. 7.3: HISTOGRAM ČETNOSTI NÁKLADŮ NA APRETACI U OCELOVÝCH ODLITKŮ	14	
OBR. 7.4: HISTOGRAM ČETNOSTI NÁKLADŮ NA TRYSKÁNÍ OCELOVÝCH ODLITKŮ	15	
OBR. 7.5: HISTOGRAM ČETNOSTI JEDNOTKOVÉ SPOTŘEBY ABRAZIVA U TRYSKACÍCH ZAŘÍZENÍ	18	
OBR. 7.6: ZÁVISLOST JSA NA PODÍLU ABRAZIVA V NÁKLADECH NA TRYSKACÍ HODINU	18	
OBR. 7.7: ZÁVISLOST NA PRŮMĚRU ABRAZIVA	19	
OBR. 7.8: ZÁVISLOST JSA NA VÝKONU TURBÍN	19	
OBR. 7.9: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VĚTRNÉHO ODLUČOVAČE A MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU	23	
OBR. 7.10 A,B: CHYBĚJÍCÍ VYLOŽENÍ TRYSKACÍ KOMORY	25	
OBR. 7.11 NAKLONĚNÝ KOREČKOVÝ DOPRAVNÍK	OBR. 7.12: ÚNIK ABRAZIVA DO ZÁKLADOVÉ DÍRY	25
OBR. 7.13: CHYBĚJÍCÍ ČÁST ROTAČNÍHO SÍTA	OBR. 7.14: ABSENCE REGULAČNÍ KLAPKY	25
OBR. 7.15 A,B: DETAILS TZ CARLO BANFI		26
OBR. 7.16: NOVĚ INSTALOVANÁ DRÁŽKA PRO	OBR. 7.17: KLDNICE JEŘÁBOVÉ KOČKY JEZDÍCÍ	26
OBR. 7.18: ODLUČOVAČ CARLO BANFI		26
OBR. 7.19: ZNÁZORNĚNÍ ŽIVOTNOSTI ABRAZIVA		27
OBR. 7.20: ZVLÁŠTNÍ NASTAVENÍ USMĚRŇOVAČE U SPODNÍ KOMORY		27
OBR. 7.21: OVLÁDACÍ PÁKY DÁVKOVACÍCH JEDNOTEK	OBR. 7.22: SPOLEČNÝ AMPÉRMETR	28
OBR. 7.23: KONFIGURACE TURBÍN – DVĚ BOČNÍ, JEDNA HORNÍ		30

OBR. 7.24: DETAIL PRASKLÉ LOPATKY	30
OBR. 7.25: NOVÉ TĚLESO KOREČKU	31
OBR. 7.26: VÝMĚNA DÍLŮ TURBÍN S DETAILEM OVLÁDÁNÍ	31
OBR. 7.27: OVLÁDÁNÍ DÁVKOVACÍCH JEDNOTEK	31
OBR. 7.28: HLAVNÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ NÁKLADOVOST TRYSKÁNÍ	37
OBR. 8.1: HISTOGRAM ČETNOSTI NÁKLADŮ NA TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ	39
OBR. 8.2: HISTOGRAM ČETNOSTI NÁKLADŮ NA TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ - $N_{(U,P)}$	42
OBR. 8.3: HISTOGRAM ČETNOSTI ÚČINNOSTI CYKLU	43
OBR. 8.4: ZÁVISLOST NÁKLADŮ NA PLYN A ÚDRŽBU NA ÚČINNOSTI CYKLU	43
OBR. 8.5: HISTOGRAM ČETNOST NÁKLADŮ NA TEZ ZAHRNUJÍCÍ EL. ENERGII, PLYN A ÚDRŽBU	44
OBR. 8.6: ZÁVISLOST NÁKLADU TEZ (PLYN, EL.ENERGIE A ÚDRŽBY) NA ÚČINNOSTI CYKLU	44
OBR. 8.7: ZÁVISLOST ÚČINNOSTI CYKLU NA PRŮMĚRNÉ HMOTNOSTI ODLITKŮ V CYKLU	45
OBR. 8.8: ZÁVISLOST ÚČINNOSTI CYKLU NA VYUŽITÍ PECE	45
OBR. 8.9: KONSTRUKCE VYZDÍVKY VOZU	47
OBR. 8.10: PEC Č. 3	48
OBR. 8.11: PEC Č. 4	48
OBR. 8.12: PEC Č. 1	49
OBR. 8.13: POSUZOVANÁ PEC	50
OBR. 8.14: ZJEDNODUŠENÝ DIAGRAM TEZ	52
OBR. 8.15: DIAGRAM TEPLTNÍHO NÁHŘEVU	53
OBR. 8.16: SCHEMATICKÝ TEPLTNÍ PRŮBĚH	54
OBR. 8.17: SANKEYŮV DIAGRAM TEPELNÉ SPOTŘEBY U PECE NA TEZ	54
OBR. 8.18: DIAGRAM TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ AL SLITIN	56
OBR. 8.19: PRACOVÍŠTĚ TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ AL SLITIN	57

## **SEZNAM PŘÍLOH**

### **PŘÍLOHA 1 - viz CD ROM**

- 0.29 Nosič lopatek-LLG
- 0.30 Trojník-ocel
- O.31 Převodovka LLG
- O.32 Těleso, ocel
- O.33 Ozubené kuželové kolo

### **PŘÍLOHA 2 - viz CD ROM**

#### **INFORMACE O ŘEŠITELSKÝCH ORGANIZACÍCH V PROJEKTU XV**

- Popis pracovních úkonů pro odlitky
- Zevrubný popis použité metodiky stanovení nákladů

### **PŘÍLOHA 3 - viz CD ROM**

- Tab. 6.2 Charakteristiky litinových odlitků
- Tab. 6.3. Charakteristiky ocelových odlitků
- Tab. 7.1 NVN litinových odlitků
- Tab. 7.2 NVN ocelových odlitku
- Tab. 8.1 Výchozí podklady k hodnocení pecí na tepelné zpracování

### **PŘÍLOHA 4 - viz CD ROM**

- Tab. 5.1. Litinové odlitky
- Tab. 5.2 Ocelové odlitky zařazené do sledování
- Tab. 6.4 Koeficienty korelace
- Tab. 7.3 Konstrukce ukazatele jednotné spotřeby abraziva vztaženého na 1 kW turbín

Název: VÝVOJ NÁKLADOVÉHO HODNOCENÍ APRETACE ODLITKŮ (IV. etapa) - Seminář  
Autor: kolektiv autorů  
Vydavatel: Česká slévárenská společnost – člen ČSVTS Praha  
Adresa: Divadelní 6  
P.O. BOX 134  
657 34 Brno  
Vydání: 1.  
Rok vydání: 2015  
Počet výtisků: 30  
Vytiskla: Česká slévárenská společnost (vlastním nákladem)  
Vazba: brožovaná  
Poznámka: Neprošlo jazykovou úpravou

**ISBN 978-80-02-02590-0**