



# Návrh úprav unašeče ke zlepšení podmínek broušení skleněných korálů ve společnosti PRECIOSA, a.s.

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Roman Holubka**  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Jan Jersák, CSc.



# **Proposed modifications of the carrier to improve the conditions of grinding glass beads in the company PRECIOSA, a.s.**

## **Bachelor thesis**

*Study programme:* B2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 2301R000 – Mechanical Engineering  
*Author:* **Roman Holubka**  
*Supervisor:* doc. Ing. Jan Jersák, CSc.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Holubka**  
Osobní číslo: **S14000226**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Návrh úprav unašeče ke zlepšení podmínek broušení  
skleněných korálů ve společnosti PRECIOSA, a.s.**  
Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Shrnutí poznatků o broušení skleněných korálů - teorie broušení.
2. Analýza stávajícího stavu broušení skleněných korálů - nedostatky.
3. Návrh úprav unašeče ke zlepšení podmínek broušení skleněných korálů.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení navrhovaných úprav unašeče a porovnání s charakteristikami stávajícího unašeče.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:


1. GÖTZ, J., aj. *Broušení a leštění skla*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 367 s. ISBN -.
2. MASLOV, J. N. *Teorie broušení kovů*. Doplnil F. Neckář., 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. 248 s. ISBN -.
3. CABEJŠEK, M. *Zušlechťování skla*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství L+P, 2004. 152 s. ISBN 80-239-4265-4.
4. Preciosa, a.s. - firemní literatura.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Jersák, CSc.**  
Katedra obrábění a montáže  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Holubka**  
Preciosa, a.s.

Datum zadání bakalářské práce: **10. listopadu 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **10. února 2017**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 10. listopadu 2015



## **Návrh úprav unašeče ke zlepšení podmínek broušení skleněných korálů ve společnosti PRECIOSA, a.s.**

### *ANOTACE:*

Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací unašečů skleněných korálů při procesu broušení z pohledů náročnosti výroby, nákladů, přesnosti, odolnosti proti mechanickému opotřebení a fyzické námahy.

Cílem experimentální části je nalezení optimální varianty materiálu a povrchové úpravy unašeče skleněných korálů při procesu broušení.

Výsledkem je optimalizovaný unašeč skleněných korálů pro rovinné broušení.

### **Proposed modifications of the carrier to improve the conditions of glass beads grinding in the company PRECIOSA, a.s.**

### *ANNOTATION:*

This thesis deals with the optimization of the glass beads carriers during the grinding process in the perspectives of production intensity, costs, accuracy, resistance to mechanical wear and physical exertion.

The goal of the experimental part is finding the optimal variant of both materials and finishes of carrier glass beads during the grinding process.

The result is optimized carrier glass beads for surface grinding.

Klíčová slova: BROUŠENÍ, KORÁL, UNAŠEČ, KOROZE

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno:

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	61
Počet příloh:	1
Počet tabulek:	21
Počet obrázků:	22
Počet diagramů:	0



Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1282**

Jméno a příjmení: **Roman Holubka**

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
Konzultant: Ing. Jan Holubka, Preciosa a.s.

Počet stran: 61  
Počet příloh: 1  
Počet tabulek: 21  
Počet obrázků: 22  
Počet diagramů: 0



## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:



Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc, konzultantovi Ing. Janu Holubkovi za odbornou pomoc, vedení, cenné rady a připomínky.

Mé poděkování patří hlavně své rodině za psychickou podporu, kterou mi poskytovala po celou dobu studia.

Datum:

Jméno:



## OBSAH

Seznam zkratk a symbolů	7
<b>1. Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2. Teorie broušení</b>	<b>10</b>
2.1. Shrnutí poznatku o broušení skleněných korálů	10
2.2. Tvorba třísky	11
2.3. Broušící nástroj	13
<b>3. Analýza stávajícího stavu broušení skleněných korálů – nedostatky</b>	<b>14</b>
3.1. Analýza procesu broušení – vstupní podmínky	14
3.2. Kontrolovaná hlediska výroby unašeče	15
3.3. Analýza z hlediska koroze	17
3.4. Analýza povrchových úprav	20
<b>4. Návrh opatření pro zlepšení podmínek broušení skleněných korálů</b>	<b>21</b>
4.1. Návrhy unašečů z pohledu materiálu	21
4.2. Návrhy unašečů z pohledu povrchových úprav	22
<b>5. Realizace experimentů a vyhodnocení navrhovaných úprav unašeče</b>	<b>23</b>
5.1. Unašeč neodlehčený z oceli 11 373 – bez PÚ	23
5.2. Unašeč neodlehčený z oceli 11 373 + akryl. barva	24
5.3. Unašeč neodlehčený z oceli 11 373 + galvanický zinek	26
5.4. Unašeč odlehčený z oceli 11 373, PÚ + nitrid titanu	27
5.5. Unašeč odlehčený z oceli 11 373, PÚ + nikl – fosfor	29
5.6. Unašeč odlehčený z oceli 19 312, PÚ + nitrid titanu	30
5.7. Unašeč odlehčený z oceli 19 312, PÚ + nikl – fosfor	32
5.8. Unašeč neodlehčený z plastu od f. AGRO RUBÍN	33
5.9. Unašeč neodlehčený z plastu od f. TITAN – MULTIPLAST	35
5.10. Unašeč neodlehčený z duralu, PÚ + tvrdý elox	36
5.11. Unašeč neodlehčený z duralu, PÚ + nikl – fosfor	38
5.12. Unašeč neodlehčený z oceli na odlitky 42 2942	39
5.13. Unašeč odlehčený z oceli na odlitky + nastříknutý plast	41



5.14. Unašeč odlehčený z oceli na odlitky 42 2942	
+ odlitý plast	42
5.15. Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast	44
5.16. Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast	
+ galvanické zinkování podkladu	45
5.17. Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast	
+ galvanické zinkování podkladu + akryl. barva	47
<b>6. Závěr</b>	<b>49</b>
<b>7. Seznam literatury</b>	<b>55</b>



## SEZNAM SYMBOLŮ

F1	[N]	tlačná síla
F2	[N]	třecí síla
P	[MPa]	podtlak
T	[°C]	teplota
m	[mg]	miligram (hmotnost)
V	[l]	litr (objem)
PÚ	[-]	povrchová úprava
L <sub>z</sub>	[mm]	střední vzdálenost zrn brusiva
z	[-]	počet zrn na obvodě čelního řezu kotouče
nk	[-]	otáčky kotouče
l <sub>c</sub>	[mm]	délka záběrové křivky jednoho zrna
f <sub>z</sub>	[mm]	posuv na jedno zrno brusiva
v <sub>ob</sub>	[m/s]	obvodová rychlost obrobku
v <sub>k</sub>	[m/s]	obvodová rychlost kotouče
a <sub>z</sub>	[N]	zatížení brusného zrna
KH	[-]	poměr tvrdosti nástroje a brousícího materiálu
Hbr	[HRB]	tvrdost brusiva
Hob	[-]	tvrdost obráběného materiálu
dB	[-]	decibel

## SEZNAM ZKRATEK

F	[-]	fluor
Cl	[-]	chlor
N	[-]	dusík
NO <sub>3</sub>	[-]	dusičnan
NO <sub>2</sub>	[-]	dusitan
SO <sub>4</sub>	[-]	síran
Ca <sub>2</sub>	[-]	vápenatý iont
Mg <sub>2</sub>	[-]	hořečnatý iont
pH	[-]	vodíkový exponent
Pb	[-]	olovo
Ba	[-]	baryum
Zn	[-]	zinek
Cd	[-]	kadmium
Hg	[-]	rtuť

## 1 ÚVOD

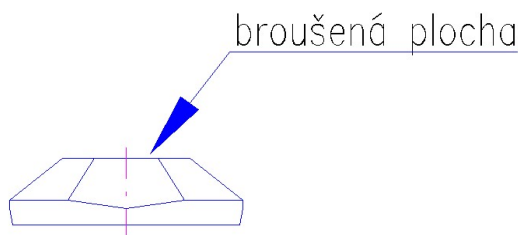
V dnešní době je ve všech výrobních společnostech požadavkem maximální produkce při minimálních nákladech při dodržení požadované jakosti a přesnosti výrobků, za účelem lepšího hospodářského výsledku firmy. To je hlavním důvodem, proč se společnosti snaží důsledně analyzovat použití jednotlivých technologií pro konkrétní výrobu. Výjimkou není ani Preciosa a.s.

Preciosa a.s. je český podnik s dlouholetou tradicí a světovou prestiží. Preciosa a.s. je přední světový dodavatel strojně broušených komponent z českého křišťálu té nejvyšší kvality. Vyrábí zejména polotovary pro bižuterní, šperkařský a módní průmysl. Mezi nejžádanější sortiment patří křišťálové šatony, šatonové růže a skleněné perle. V nabídce jsou ale i populární tvarové kameny, našívací kameny s plochým spodkem, imitace perel i široký výběr textilních a bižuterních komponent (borty, rondelky, kameny v kotlíku atd.). Speciálním sortimentem jsou ručně tvarované kameny, tzv. mugle, a také lustrové ověsy všech tvarů a velikostí [4].

Jedním ze základních principů opracování skleněných polotovarů je broušení (obr. 1) na univerzálních unašečích pomocí speciálních diamantových nástrojů. Jedná se o specifický typ rovinného broušení ve velice náročných korozních podmínkách.

Tato bakalářská práce řeší úpravy unašeče a tím zlepšení podmínek broušení skleněných korálů ve společnosti PRECIOSA, a.s. Unašeč je speciální brousicí přípravek používaný pro upnutí korálů při procesu rovinného broušení na diamantových brousících nástrojích.

Obr. 1 detail broušeného korálu





Cílem této bakalářské práce je nalezení optimálního tvaru a materiálu unašeče z hlediska:

- a) náročnosti výroby,
- b) přesnosti výroby,
- c) celkových nákladů spojených s výrobou unašeče,
- d) korozní odolnosti,
- e) odolnosti proti mechanickému opotřebení po dobu min 300 strojních hodin

Řešená bakalářská práce se dotýká problematiky firemního know – how firmy Preciosa a.s. S ohledem na tuto skutečnost nejsou v bakalářské práci uvedeny detailní a přesné informace některých skutečností.



## 2 TEORIE BROUŠENÍ

### 2.1 Shrnutí poznatků o broušení skleněných korálů

Broušení je velmi starý způsob obrábění materiálu. Již v dávné minulosti používal člověk přírodní brusiva k tomu, aby naostřil své pracovní nástroje. Uplynulo mnoho století, než člověk vytvořil brus s ručním pohybem a potom pravzor současné brusky [2].

Intenzivní rozvoj broušení nastal teprve v druhé polovině 19. Století, když strojírenství stanulo před úkolem hospodárně a rychle vyrábět přesné součásti ve velkém množství.

Vývoj broušení se značně urychlil vynálezem umělého brousícího kotouče roku 1859 a sestrojením prvních univerzálních brusek roku 1860. Neustále zdokonalování brusek a zlepšování vlastností brousících kotoučů umožnilo, že se broušení stalo jedním z velmi produktivních způsobů přesného obrábění různých materiálů [5].

Objevení nalezišť přírodních diamantů, vytvoření těžebního průmyslu diamantu v Jakutsku, zpracování výrobní technologie syntetických diamantů a její zavedení umožnilo průmyslové obrábění pomocí diamantů [2].

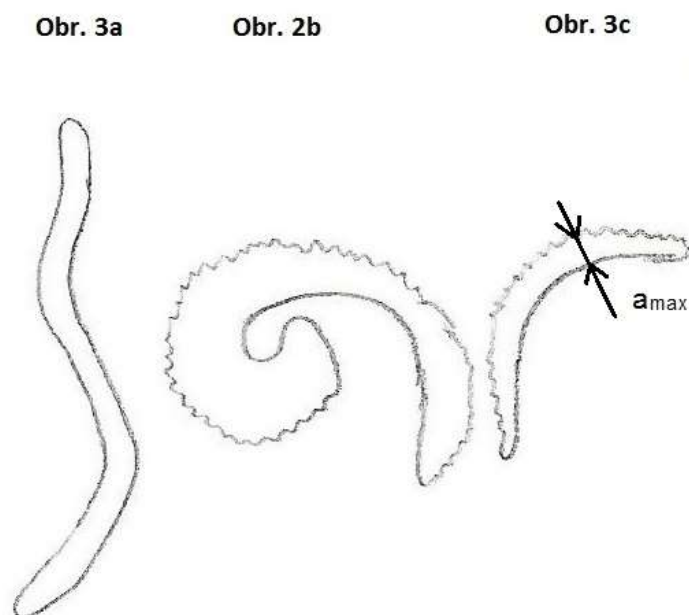
Broušení a jeho aplikace se snadno přizpůsobují mechanizací a automatizací, při výrobě různých součástí v hromadné výrobě se určují optimální rezné podmínky a současně neustále stoupají požadavky na obráběcí stroje, nářadí a přípravky. Složitost procesu broušení a velké množství proměnných parametrů rezného nástroje – brousícího kotouče, nebo jeho modifikací a geometrie zrna, rozložení zrn na pracovní ploše, vlastnosti pojiva, tvrdost apod. – působí při teoretickém a experimentálním studiu tohoto procesu značné obtíže. Produktivní broušení předpokládá režim práce s vysokými rychlostmi a posuvy, automatizaci cyklu obráběcího stroje, použití moderních přípravků, racionalizaci práce a splnění dalších podmínek nezbytných pro zabezpečení růstu výroby při dosažení vysoké kvality s nízkými vlastními náklady [1].

## 2.2 Tvorba třísky

Pod pojmem tloušťka třísky se rozumí tloušťka materiálu odebíraného jedním brusným zrnem. Je to vzdálenost mezi plochami řezu vytvářenými dvěma následujícími záběry břitů sousedních zrn. Měříme ji ve směru kolmém k ploše řezu. Veličina  $a_z$  charakterizuje zatížení brusného zrna a ovlivňuje proces broušení.

Na tloušťce třísky odebírané jedním zrnem brusiva závisí: opotřebení zrn, trvanlivost kotouče, řezná síla připadající na jedno zrn, drsnost broušené plochy, okamžitá teplota v místě působení zrna apod. Zvětší-li se  $a_z$  pronikají zrna do obráběného materiálu hlouběji a zrn i pojivo se intenzivněji opotřebovávají. Tloušťka třísky ubírané jedním zrnem má značný vliv na proces broušení, se změnou  $a_z$  se mění i pracovní režim kotouče a podmínky broušení. Nepravidelné rozložení zrn brusiva na pracovní ploše kotouče způsobuje různou konfiguraci a rozměry třísek vrstev odebíraných jednotlivými zrny. Pro určitý brousící kotouč závisí tvar a rozměr třísek na řezných podmínkách, např. na poměru obvodový rychlostí obrobku  $v_{ob}$  a obvodový rychlosti kotouče  $v_k$ . ( $v_{ob}/v_k$ ) [2].

Obr. 2 Typy třísek [2]





Při broušení jsou nejčastější tři tvary třísek: páskovité, zavinuté a segmentovité (obr. 2). Nejčastější je páskovitá tříška, jejíž tloušťka se postupně zvětšuje (obr. 2a). Méně často se setkáváme se zavinutou třískou (obr. 2b). Za určitých řezných podmínek může vzniknout tříška segmentovitá, která je nejtlustší ve své střední části, tj. na úseku  $a_{\max}$  (obr. 2c). Ubírané třísky budou mít zavinutý tvar pouze tehdy, když bude platit následující nerovnost [2]. Posuv  $f_z$  na jedno zrno brusiva musí být menší než dvojnásobná délka záběrové křivky jednoho zrna  $l_c$ . Posuv  $f_z$  na jedno zrno brusiva se musí rovnat podílu obvodové rychlosti a šedesáti násobku součinu otáček kotouče a počtu zrn na obvodě čelního řezu kotouče

$$f_z < 2 * l_c \quad (1)$$

$$f_z = \frac{v_{OB}}{60 * n_k * Z} = \frac{v_{OB}}{60 * n_k * \frac{\pi * D}{l_z}} = \frac{v_{OB}}{60 * v_k} * l_z$$

Dosadíme do (1) a dostaneme

$$\frac{v_{OB}}{60 * v_k} * l_z < 2 * l_c$$

$$v_{OB} < \frac{2 * l_c}{l_z} * 60 * v_k \quad (2).$$

#### LEGENDA:

- $L_z$  střední vzdálenost zrn brusiva
- $Z$  počet zrn na obvodě čelního řezu kotouče
- $n_k$  otáčky kotouče
- $l_c$  délka záběrové křivky jednoho zrna
- $f_z$  posuv na jedno zrno brusiva
- $v_{ob}$  obvodová rychlost obrobku
- $v_k$  obvodová rychlost kotouče





### 2.3 Broušící nástroj

Je to řezný nástroj, který se skládá ze zrn brusiva stmelených v celek pojivem. Může mít tvar kotouče, broušícího tělíška, segmentu, pásu s pružným podkladem atd. Broušící nástroj charakterizují: geometrický tvar a velikost, druh brusiva, pojivo, zrnitost, tvrdost, struktura a koncentrace brusiva.

Pro efektivní obrábění je nutné, aby při teplotě, která vzniká v místě broušení a dosahuje hodnot 400 - 600 °C i víc, byla dodržena nerovnost [6]:

$$k_H = \frac{H_{br}}{H_{ob}} \geq 1,5 \text{ až } 2,0 \quad (3).$$

#### LEGENDA:

$k_H$  poměr tvrdosti nástroje a broušícího materiálu

$H_{br}$  tvrdost brusiva

$H_{ob}$  tvrdost obráběného materiálu

Tvrdost materiálu klesá se zvýšenou teplotou zahřívá-li se např. elektrokorund od 20 °C do 1000 °C, snižuje se jeho mikrotvrdost od 19 800 do 5 880 MPa.

Brusivo musí být při vysoké teplotě broušení chemicky inertní vůči obráběnému materiálu. Například při broušení oceli, přestupuje uhlík do povrchu (nauhličuje ho) broušené oceli. Zvyšuje obsah uhlíku v povrchové vrstvě, což je v mnoha případech nežádoucí [6].

### 3 Analýza stávajícího stavu broušení skleněných korálů - nedostatky.

Hlavními nedostatky při současném systému broušení skleněných korálů jsou:

- a) nízká odolnost unašeče proti korozi,
- b) odolnost proti mechanickému opotřebení unašeče,
- c) nízká odolnost proti kavitaci (přísávání brusného zrna),
- d) náklady na výrobu unašeče,
- e) náročnost a přesnost výroby unašeče,
- f) fyzická námaha obsluhy při práci s unašečem.

#### 3.1 Analýza procesu broušení – vstupní podmínky

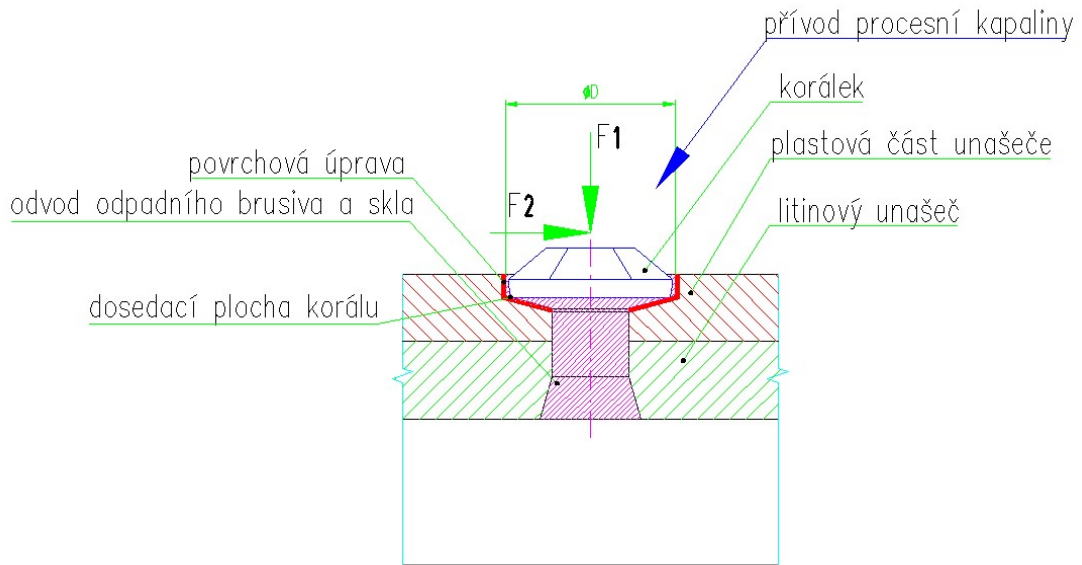
Broušení skleněných korálů ve firmě Preciosa a.s. probíhá na rovinných broušicích strojích vlastní výroby, které podléhají know – how firmy Preciosa a.s., pro svoji unikátnost a možnost hromadného zpracování skleněných korálů.

Stroje využívají principu bočního broušení čelem kotouče. Vlastní broušení skleněných korálů probíhá v broušicích přípravcích – unašečích (obr. 3), pomocí diamantových nástrojů s kovovou vazbou při pokojové teplotě a standardním tlaku. Při procesu broušení se používá k chlazení procesní kapalina (tab. 1).

Tab. 1: Vstupní podmínky procesu broušení

Mechanické namáhání	F1 - Tlačná síla	2000	N
	F2 - Třecí síla	1000	N
	Podtlak	0,5	MPa
Parametry procesní kapaliny	Teplota	60	°C
	Konduktance	1300	$\mu Sim$
	pH	7,7	
Obsah kovů v procesní kapalině	Pb, Ba, Zn, Cd, Hg	0,55	mg/l
	Ca <sub>2</sub> + Mg <sub>2</sub>	150	mg/l
	SO <sub>4</sub>	220	mg/l
	F - Cl	60	mg/l
	N - NO <sub>3</sub>	4	mg/l
	N - NO <sub>2</sub>	14	mg/l

Obr. 3: detail kalíšku s umístěním korále



### 3.2 Kontrolovaná hlediska výroby unašeče

Níže uvedená kritéria hodnocení unašeče zahrnují všechny oblasti optimalizace unašečů skleněných korálů při procesu broušení z pohledů náročnosti výroby, nákladů, přesnosti, odolnosti proti mechanickému opotřebení a fyzické námahy (tab. 2).

Tab. 2: Celkové vyhodnocení unašeče

Bodová hodnota z kritérií a-h	Slovní hodnocení unašeče
25-30 b.	Vyhovuje
18-25 b.	Vyhovuje s výhradou
0-18 b.	Nevyhovuje

#### a) odolnost proti korozi unašeče

a.	zkorodovaná plocha z méně jak 1%	vynikající	4 b.
b.	zkorodovaná plocha z méně než 5%	dobré	3 b.
c.	zkorodovaná plocha z více jak 10%	průměrné	2 b.
d.	zkorodovaná plocha z více jak 30%	špatné	1 b.
e.	zkorodovaná plocha z více jak 50%	nevyhovující	0 b.



**b) náročnost výroby unašeče podle počtu výrobních operací**

a.	předpokládá více než 2 operace	vynikající	4 b.
b.	předpokládá více než 3 operace	dobré	3 b.
c.	předpokládá více než 4 operace	průměrné	2 b.
d.	předpokládá více než 5 operací	špatné	1 b.
e.	předpokládá více než 6 operací	nevyhovující	0 b.

**c) délka výrobního procesu**

a.	trvá méně než 5 strojních hodin	vynikající	4 b.
b.	trvá méně než 8 strojních hodin	dobré	3 b.
c.	trvá více než 10 strojních hodin	průměrné	2 b.
d.	trvá více než 20 strojních hodin	špatné	1 b.
e.	trvá více než 30 strojních hodin	nevyhovující	0 b.

**d) náklady na výrobu jednoho unašeče**

a.	nákladová cena je méně než 2500 Kč	vynikající	4 b.
b.	nákladová cena je méně než 4000 Kč	dobré	3 b.
c.	nákladová cena je vyšší než 6000 Kč	průměrné	2 b.
d.	nákladová cena je vyšší než 8000 Kč	špatné	1 b.
e.	nákladová cena je vyšší než 10000 Kč	nevyhovující	0 b.

**e) náklady na materiál jednoho unašeče**

a.	nákladová cena je méně než 700 Kč	vynikající	4 b.
b.	nákladová cena je méně než 1000 Kč	dobré	3 b.
c.	nákladová cena je vyšší než 1000 Kč	průměrné	2 b.
d.	nákladová cena je vyšší než 2000 Kč	špatné	1 b.
e.	nákladová cena je vyšší než 3000 Kč	nevyhovující	0 b.

**f) náklady na povrchovou úpravu jednoho unašeče**

a.	nákladová cena je méně než 70 Kč	vynikající	4 b.
b.	nákladová cena je méně než 100 Kč	dobré	3 b.
c.	nákladová cena je vyšší než 100 Kč	průměrné	2 b.
d.	nákladová cena je vyšší než 200 Kč	špatné	1 b.
e.	nákladová cena je vyšší než 300 Kč	nevyhovující	0 b.

**g) přesnost výroby jednoho unašeče – odchylka  $\varnothing$  kalíšku**

a.	odchylka je od 0,03 mm do 0,05 mm	vynikající	4 b.
b.	odchylka je od 0,05 mm do 0,07 mm	dobré	3 b.
c.	odchylka je od 0,07 mm do 0,10 mm	průměrné	2 b.
d.	odchylka je od 0,10 mm do 0,15 mm	špatné	1 b.
e.	odchylka je od 0,15 mm do 0,2 mm	nevyhovující	0 b.



**h) odolnost proti mechanickému opotřebení - % nevyhovujících ka-  
líšků po 100 hodinách provozu**

- |    |                                   |              |      |
|----|-----------------------------------|--------------|------|
| a. | unašeč má poškození méně než 10 % | vynikající   | 4 b. |
| b. | unašeč má poškození méně než 20 % | dobré        | 3 b. |
| c. | unašeč má poškození více než 30 % | průměrné     | 2 b. |
| d. | unašeč má poškození více než 40 % | špatné       | 1 b. |
| e. | unašeč má poškození více než 50 % | nevyhovující | 0 b. |

**i) fyzická námaha mužské obsluhy během 7,5 hodinové směny dle  
zákoníku práce může být maximálně 10000kg**

- |    |                                    |              |      |
|----|------------------------------------|--------------|------|
| a. | obsluha nazvedá méně než 8000 kg   | vynikající   | 4 b. |
| b. | obsluha nazvedá méně než 10000 kg  | dobré        | 3 b. |
| c. | obsluha nazvedá více než 10000 kg  | průměrné     | 2 b. |
| d. | obsluha nazvedá více než 12000 kg  | špatné       | 1 b. |
| e. | obsluha nazvedá více než 15000 kg. | nevyhovující | 0 b. |

**j) životnost unašeče**

- |    |                                  |              |      |
|----|----------------------------------|--------------|------|
| a. | je větší než 600 strojních hodin | vynikající   | 4 b. |
| b. | je 450 až 600 strojních hodin    | dobré        | 3 b. |
| c. | je 300 až 450 strojních hodin    | průměrné     | 2 b. |
| d. | je 150 až 300 strojních hodin    | špatné       | 1 b. |
| e. | je menší než 150 strojních hodin | nevyhovující | 0 b. |

Poznámka: Jakmile obsahuje hodnocení unašeče stupeň nevyhovující – 0 b. v jednom z hodnotících kritérií je tento typ unašeče vyhlášen za celkově nevyhovující.

### 3.3 Analýza z hlediska koroze

Když hovoříme o korozi, máme na mysli především znehodnocení materiálu. Toto znehodnocení je způsobeno chemickým nebo fyzikálně-chemickým působením okolního prostředí. A nejde jen o korozi kovů, které si pod tímto pojmem nejčastěji představujeme, ale jde také o korozi, to jest podléhání vlivu okolního prostředí, v případě přírodních materiálů – hornin, stavebních materiálů, plastů, jako jsou izolace, textilií a jiných. Nejvýznamnější korozi však přesto zůstává koroze kovů. Kovy, jako materiály nejčastěji využívané pro svou pevnost a pružnost v nejrůznějších odvětvích lidské činnosti, jsou vystavovány při svém použití mnohdy velmi agresivnímu působení nejrůznějších kyselin, zásad, solí, organických chemikálií, plynů, vodních par či dokonce tavenin.



Všechny tyto vlivy působí na kovy velmi nepříznivě. Násobeno je to mnohdy mechanickým namáháním, jako je tření nebo vibrace. Vzájemná kombinace působí pak na kovové materiály natolik usilovně, že ztráty vyvolané korozí působí obrovské hospodářské ztráty a protikorozní ochrana vyžaduje nemalé částky ze státních prostředků [8].

### Korozní odolnost materiálu

Korozní odolnost je schopnost odolávat korozi daném v prostředí. Obvykle se posuzuje podle změny hmotnosti kovového materiálu vztažené na jednotku plochy za určitý čas.

### Činitelé korozního procesu

Na průběhu koroze má vliv řada faktorů, které označujeme jako činitele korozního procesu:

#### Činitelé materiálu

jsou jeho chemické složení, struktura, nestejnorodost (nehomogenita) složení a struktury, přítomná vnitřní pnutí, stupeň a druh znečištění, a také jakost a čistota povrchu.

#### Činitelé předmětu

jsou jeho materiálová skladba (předmět je sestaven z více materiálů), jeho utváření (jednoduchý, hladký tvar nebo tvarově členitý tvar s obtížně přístupnými místy s možným ukládáním nečistot a vlhkosti).

#### Činitelé prostředí

jsou nehomogenita, teplota a teplotní změny, charakter proudění prostředí, na korodující povrch spolupůsobí přítomná tuhá fáze, její fyzikální a chemický charakter, a také přítomné látky korozi podporující (stimulátory) nebo potlačující (inhibitory) [8].

## Druhy koroze

### 1) Dle typu napadení

- a. Rovnoměrná koroze
- b. Nerovnoměrná a skvrnitá koroze
- c. Galvanická koroze
- d. Štěrbínová koroze
- e. Nitková koroze
- f. Bodová a důlková koroze
- g. Mezikystalová koroze
- h. Nožová koroze
- i. Podpovrchové napadení
- j. Selektivní napadení
- k. Extrakční napadení
- l. Exfoliační koroze ní napadení

### 2) Dle charakteru korozního děje

- a. Koroze v elektricky nevodivých prostředích
- b. Koroze v elektricky vodivých prostředích

### 3) Dle korozního( reakčního) prostředí

- a. Koroze atmosférická
- b. Koroze ve vodách
- c. Koroze v plynech
- d. Koroze v půdách

### 4) Dle rozhodujícího činitele majícího vliv na korozní napadení či děj

- a. Koroze za napětí
- b. Vibrační koroze
- c. Kavítace
- d. Koroze bludnými proudy
- e. Koroze bludnými proudy
- f. Vodíková koroze [8].



### 3.4 Analýza povrchových úprav

Kovové povlaky – optimální je neporézní, dostatečně tlustý povlak.

- a) Mechanický způsob – spočívá v nanesení ochranného povlaku tlakem. Spojení s podkladovým materiálem je převážně mechanické, ale dodatečným tepelným zpracováním lze dosáhnout i difuzního spojení. (plátování, žárové stříkání).
- b) Fyzikální způsoby – jsou založeny na fyzikálních procesech a dějích – tuhnutí, kondenzace, difuze, napařování a napařování.
- c) Chemické a elektrochemické způsoby – jsou založeny na chemických reakcích základního a povlakového kovu. Povlak může být vylučován elektrochemickou redukcí kationtů nanášeného kovu z elektrolytu na povrch základního materiálu (galvanické pokovování), anebo účinkem chemického redukčního činidla (chemické pokovování) [7].



#### 4 Návrh opatření pro zlepšení podmínek broušení skleněných korálů.

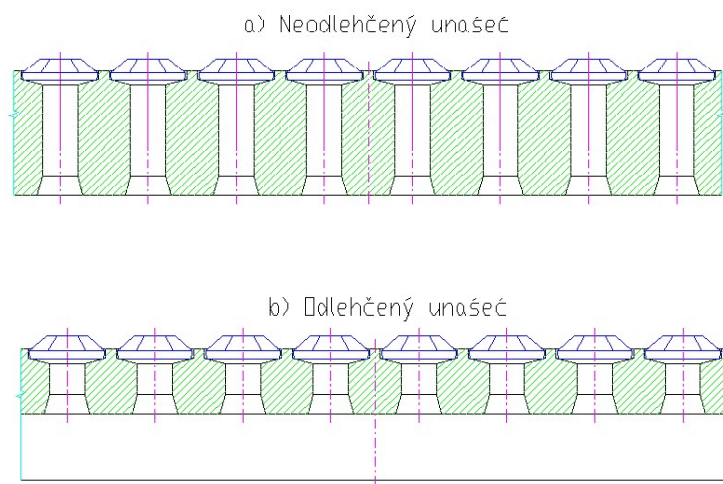
Zvolená opatření zahrnují všechny oblasti optimalizace unašečů, z pohledu volby materiálu, povrchových úprav a ekonomiky výroby unašečů, z pohledů náročnosti výroby, nákladů, přesnosti, odolnosti proti mechanickému opotřebení a fyzické námahy.

##### 4.1 Návrhy unašečů z pohledu materiálu

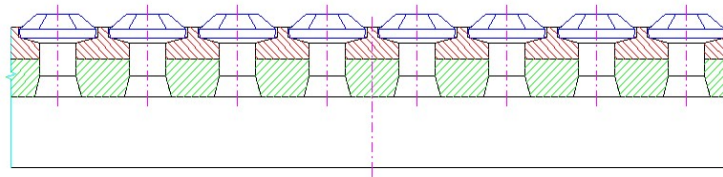
Pro broušení korálů bylo odzkoušeno velké množství různých materiálů a tvarů unašečů. Z původního ocelového neodlehčeného unašeče s velkou hmotností a nízkou mechanickou a korozní odolností až po cílový odlehčený unašeč s odlévanou plastovou činnou plochou vykazující dobré mechanické a korozní odolnosti.

- a) Ocelový unašeč neodlehčený (obr. 4a)
- b) Ocelový unašeč odlehčený (obr. 4b)
- c) Plastový unašeč neodlehčený (obr. 4a)
- d) Duralový unašeč neodlehčený (obr. 4a)
- e) Unašeč z oceli na odlitky 42 2942 neodlehčený (obr.4a)
- f) Unašeč z oceli na odlitky 42 2942 odlehčený (obr. 4b)
- g) Kombinovaný odlehčený unašeč z litiny 42 2304 + nalitý plast (obr. 4c)

Obr. 4: Typy unašečů



c) Kombinovaný unašeč

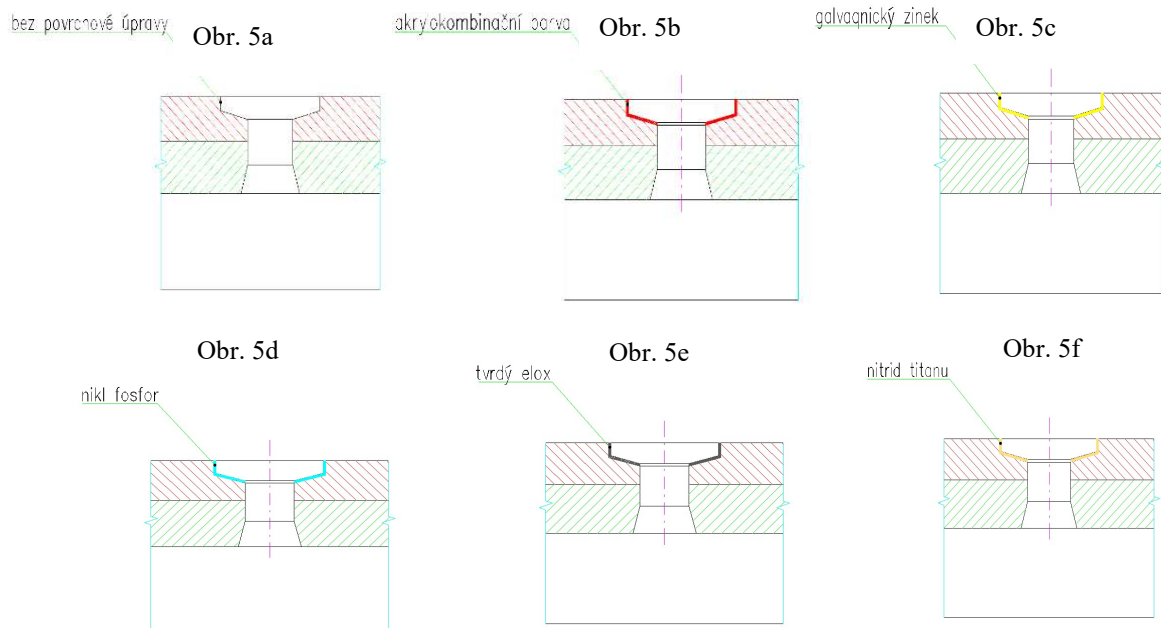


#### 4.2 Návrhy unašečů z pohledu povrchových úprav

Typy povrchových úprav byly voleny z hlediska nákladové ceny, dostupnosti a zkušeností z obdobných procesů broušení.

- a) Bez povrchové úpravy (obr. 5a)
- b) Akrylokombinační barva (obr. 5b)
- c) Galvanický zinek (obr. 5c)
- d) Nitrid titanu (obr. 5d)
- e) Nikl – fosfor (obr. 5e)
- f) Tvrdý elox (obr. 5f)

Obr. 5 Návrhy unašečů z pohledu povrchových úprav

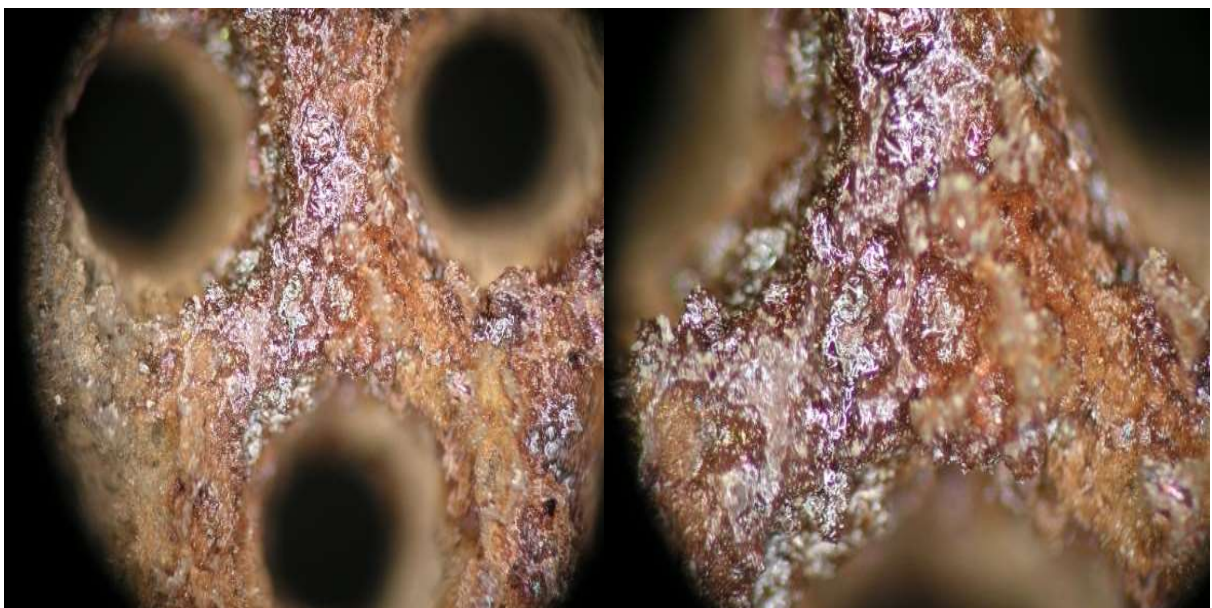


## 5 Realizace experimentů a vyhodnocení navrhovaných úprav unašeče

### 5.1 Unašeč neodlehčený z oceli 11 373; bez povrchové úpravy

Pro ocelový unašeč neodlehčený z oceli 11 373 byla předpokládána nižší korozní odolnost, z důvodu absence povrchové úpravy. Náročnost výroby byla předpokládána nízká, protože byly použity konvenční způsoby obrábění – soustružení a vrtání, z toho byly předpokládány vyšší náklady na výrobu, bylo potřeba vyvrtat cca 3000 přesných kalíšků. Oproti těmto vyšším výrobním nákladům stojí náklady na materiál, které byly předpokládány velmi nízké – jednalo se o jeden z nejlevnějších materiálů. Přínosem pro úsporu nákladů bylo nepoužití povrchové úpravy. Další pozitivum u tohoto typu unašeče byla přesnost výroby, která byla předpokládána relativně vysoká, jednalo se o vrtání na přesných vrtacích CNC strojích (obr. 6). Záporem tohoto provedení unašeče byla nízká odolnost proti mechanickému opotřebení, protože se jednalo o ničem nechráněnou nízko uhlíkovou ocel, a velmi vysoká fyzická námaha obsluhy, neboť unašeč váží 2 kg a mužská obsluha s ním vykoná zhruba 7500 pohybů, což odpovídalo nazvedaným 15 000 kg za 7,5 hodinovou směnu. Tato hodnota nesplňuje zákonem předepsanou hodnotu, která činí 10 000 kg (tab. 3).

Obr. 6: Detail unašeče neodlehčeného z oceli 11 373, bez PÚ



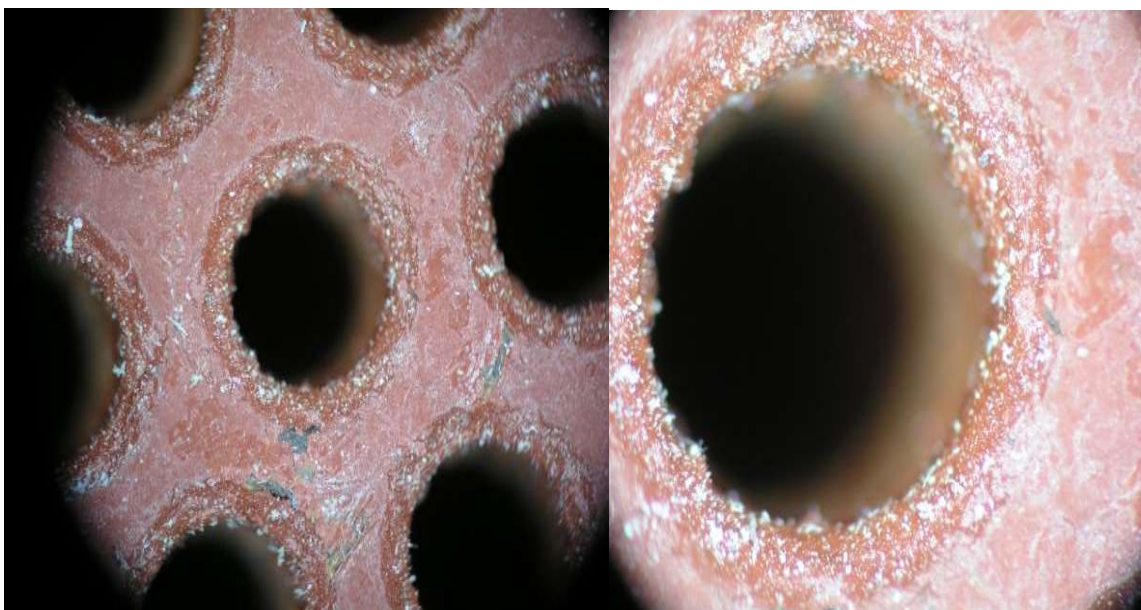
Tab. 3: Unašeč neodlehčený z oceli 11 373, bez PÚ  
 (soustružení + vrtání)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	0 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	1 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	1 b.
Životnost unašeče	0 b.
Fyzická námaha obsluhy	0 b.
Celkové hodnocení	14 b.
Hodnocení – Unašeč byl nevyhovující především pro svoji vysokou hmotnost – přesahující dovolené hodnoty fyzické zátěže člověka a pro svoji nízkou korozní odolnost a nízkou mechanickou odolnost proti opotřebení a kavitaci – narušení přesného tvaru kalíšku	

## 5.2 Unašeč neodlehčený z oceli 11 373; nastříkaný akrylokombinační barvou (soustružení + vrtání + nanesení povrchové úpravy)

První krok optimalizace unašeče byl zaměřen na zvýšení korozní odolnosti oceli 11 373 pomocí nejlevnější povrchové úpravy – nástřikem akrylokombinační barvou (obr. 7). Unašeč po nastříkání barvou zlepšil svoji korozní odolnost, nátěr díky velkému mechanickému namáhání a kavitaci vydržel pouze krátkou dobu – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl stále nevyhovující pro svoji vysokou hmotnost (tab. 4).

Obr. 7 : Detail unašeče neodlehčeného z oceli 11 373, nastříkaný akrylokombinační barvou



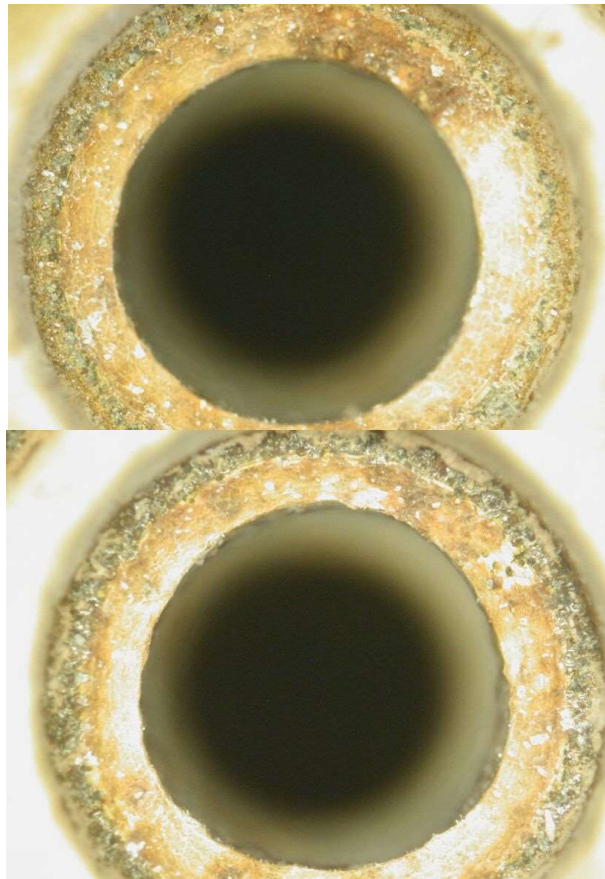
Tab. 4: Unašeč neodlehčený z oceli 11 373, nastříkaný akrylokombinační barvou (soustružení + vrtání + nanesení PÚ)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	2 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	3 b.
Přesnost výroby	2 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	1 b.
Životnost unašeče	0 b.
Fyzická námaha obsluhy	0 b.
Celkové hodnocení	15 b.
<p>Hodnocení – Unašeč po nastříkání barvou zlepšil svoji korozní odolnost, nátěr díky velkému mechanickému namáhání a kavitaci vydržel pouze krátkou dobu – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl stále nevyhovující pro svoji vysokou hmotnost.</p>	

### 5.3 Unašeč neodlehčený z oceli 11 373; galvanicky zinkovaný (soustružení + vrtání + nanesení povrchové úpravy)

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnější povrchové úpravy na zvýšení korozní odolnosti oceli 11 373. Bylo zvoleno galvanické zinkování, které je poměrně levné a výrobně nenáročné (obr. 8). Unašeč po galvanickém zinkování zlepšil svoji korozní odolnost, bohužel i tento povlak díky velkému mechanickému namáhání a kavitaci vydržel krátkou dobu 140 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku (tab. 5).

Obr. 8 : Unašeč neodlehčený z oceli 11 373, galvanicky zinkovaný (soustružení + vrtání + nanesení PÚ)





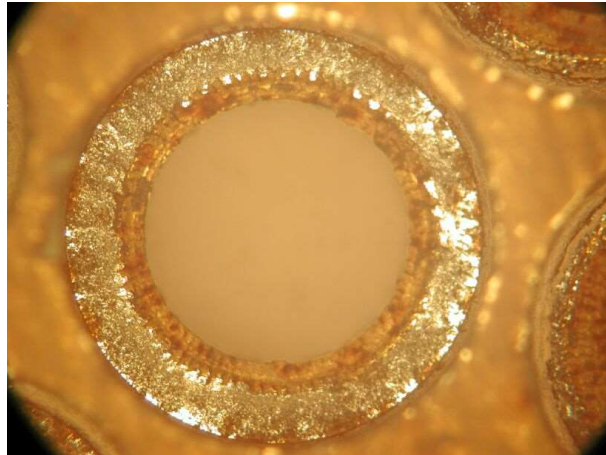
Tab. 5: Unašeč neodlehčený z oceli 11 373, galvanicky zinkovaný (soustružení + vrtání + nanesení PÚ)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	3 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	2 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	1 b.
Životnost unašeče	0 b.
Fyzická námaha obsluhy	0 b.
Celkové hodnocení	16 b.
Hodnocení – Unašeč po galvanickém zinkování zlepšil svoji korozní odolnost, povlak díky velkému mechanickému namáhání a kavitaci vydržel pouze krátkou dobu 145 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl stále nevyhovující pro svoji vysokou hmotnost	

#### 5.4 Unašeč odlehčený z oceli 11 373; povrchová úprava: nitrid titanu (soustružení + vrtání + nanesení povrchové úpravy)

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnější povrchové úpravy na zvýšení korozní odolnosti oceli 11 373. Byla zvolena metoda povlakování velice odolným materiálem – nitridem titanu, který je výrazně dražší než zinek, ale bylo předpokládáno výrazné zvýšení korozní odolnosti a odolnosti proti mechanickému opotřebení (obr. 9). Toto se částečně potvrdilo, životnost unašeče se zvýšila na dvojnásobek, na dobu 170 strojních hodin – poté opět nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. I tato životnost byla z ekonomického pohledu nedostatečná (tab. 6).

Obr. 9 : Unašeč odlehčený z oceli 11 373, PÚ; nitrid titanu (soustružení + vrtání + frézování + nanesení PÚ)



Tab. 6: Unašeč odlehčený z oceli 11 373, PÚ; nitrid titanu (soustružení + vrtání+frézování + nanesení PÚ)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	3 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	1 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	2 b.
Životnost unašeče	1 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	<b>19 b.</b>

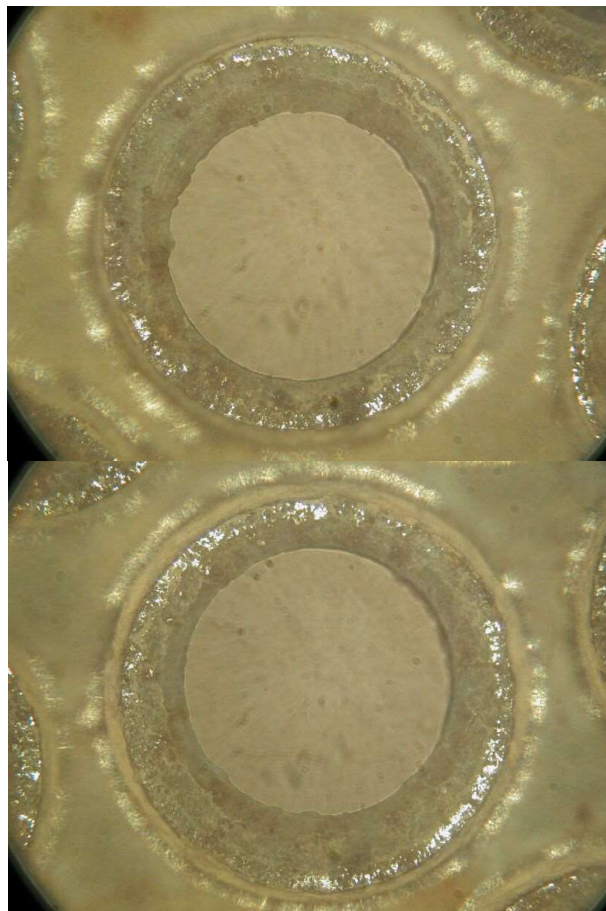
Hodnocení – Unašeč po nanesení povlaku nitridu titánu zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, pouze na dobu 170 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží.



### **5.5 Unašeč odlehčený z oceli 11 373, povrchová úprava; nikl – fosfor (soustružení + vrtání + frézování + nanesení povrchové úpravy)**

Další krok optimalizace unašeče byl zaměřen na snížení hmotnosti od frézování nepotřebných částí a byla vyzkoušena další povrchová úprava, zvolena byla kombinace nikl – fosfor. Tato povrchová úprava vydržela zhruba 170 strojních hodin (obr. 10). Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží, neboť takto upravený unašeč vážil 1 kg a mužská obsluha s ním vykonala zhruba 7500 pohybů, což odpovídalo nazvedaným 7 500kg za 7,5 hodinovou směnu. Tato hodnota již splňovala zákonem předepsanou hodnotu, která činí 10 000 kg (tab. 7).

Obr. 10: Unašeč odlehčený z oceli 11 373, PÚ; nikl – fosfor  
(soustružení + vrtání+frézování + nanesení PÚ)



Tab. 7: Unašeč odlehčený z oceli 11 373, PÚ; nikl – fosfor  
 (soustružení + vrtání+frézování + nanesení PÚ)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	3 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	1 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	2 b.
Životnost unašeče	1 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	<b>19 b.</b>
<p>Hodnocení – Unašeč po nanesení povlaku nikl - fosfor zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, pouze na dobu 170 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží.</p>	

### **5.6 Unašeč odlehčený z oceli 19 312, povrchová úprava; nitrid titanu (soustružení + vrtání + frézování + nanesení povrchové úpravy)**

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnějšího materiálu unašeče na zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení. Zvolena byla nástrojová ocel 19 312. Tento materiál nijak zásadně nezvýšil odolnost proti mechanickému opotřebení a přesný kalíšek se znehodnotil po 170 strojních hodinách. Proti koroznímu působení byla ponechána povrchová úprava nitrid titanu (obr. 11). I pro tento typ unašeče se volila odlehčená verze (tab. 8).

Obr. 11: Unašeč odlehčený z oceli 19 312, PÚ; nitrid titanu (soustružení + vrtání+frézování + nanesení PÚ)



Tab. 8: Unašeč odlehčený z oceli 19 312, PÚ; nitrid titanu (soustružení + vrtání+frézování + nanesení PÚ)

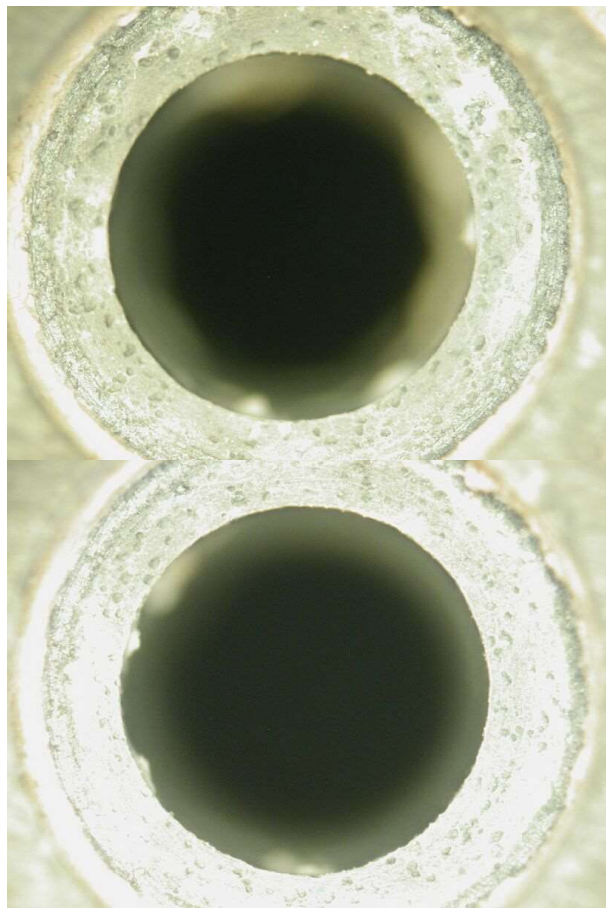
Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	3 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	1 b.
Přesnost výroby	4 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	2 b.
Životnost unašeče	1 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	20 b.

Hodnocení – Unašeč po nanesení povlaku nitridu titánu zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, pouze na dobu 170 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží.

### **5.7 Unašeč odlehčený z oceli 19 312, povrchová úprava; nikl – fosfor (soustružení + vrtání + frézování + nanesení povrchové úpravy)**

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnějšího materiálu unašeče na zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení. Byla zvolena nástrojová ocel 19 312. Tento materiál nijak zásadně nezvýšil odolnost proti mechanickému opotřebení a přesný kalíšek se znehodnotil po 170 strojních hodinách (obr. 12). Proti koroznímu působení se ponechala povrchová úprava nikl – fosfor. I pro tento typ unašeče se zvolila odlehčená verze (tab. 9).

Obr. 12: Unašeč odlehčený z oceli 19 312, PÚ; nikl – fosfor  
(soustružení + vrtání + frézování + nanesení PÚ)



Tab. 9: Unašeč odlehčený z oceli 19 312, PÚ nikl – fosfor  
 (soustružení + vrtání + frézování + nanesení PÚ)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	3 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	1 b.
Přesnost výroby	4 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	2 b.
Životnost unašeče	1 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	20 b.
<p>Hodnocení – Unašeč po nanesení povlaku nikl - fosfor zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, pouze na dobu 170 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží.</p>	

### **5.8 Unašeč neodlehčený z plastu od f. Agro Rubín, a.s.** **(soustružení + vrtání + frézování)**

Další krok optimalizace unašeče byl zaměřen na snížení hmotnosti a tím snížení fyzické námahy obsluhy. Druhým faktorem volby plastového unašeče bylo zvýšení korozní odolnosti. Zvolen byl plast z firmy Agro Rubín, a.s. (obr. 13). Plastový unašeč byl vynikající z hlediska fyzických zátěží a korozní odolnosti i mechanického opotřebení a kavitace. Pro svoji malou váhu bohužel neodolával vibracím a to následně vedlo k drcení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 DB. Velké problémy nastávaly při třískovém obrábění, nedařilo se dosáhnout požadované přesností kalíšků (tab. 10). Dalším problémem se ukázalo opotřebení dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků).

Obr. 13: Detail unašeče neodlehčeného z plastu od f. Agro Rubín, a.s.



Tab. 10: Unašeč neodlehčený z plastu od Agro Rubín, a.s.  
(soustružení + vrtání+frézování)

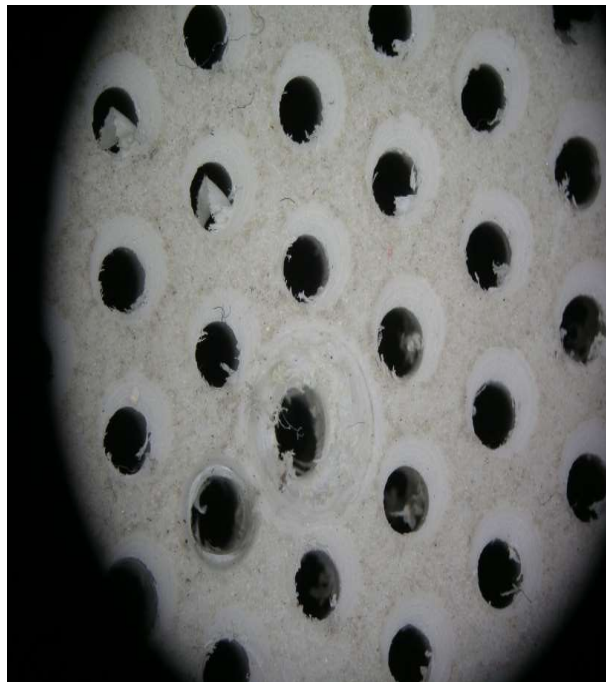
Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	1 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	1 b.
Životnost unašeče	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	3 b.
Celkové hodnocení	23 b.

Hodnocení – vynikající z hlediska fyzických zátěží a korozní odolnosti i mechanickému opotřebení a kavitaci. Nevyhovující – pro svoji malou váhu neodolával vibracím a to následně vedlo k drčení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 dB. Velké problémy při třískovém obrábění – nedařilo se dosáhnout požadované přesností kalíšků.

### 5.9 Unašeč neodlehčený z plastu od f. TITAN – MULTIPLAST s.r.o. (soustružení + vrtání + frézování)

Pro eliminaci problému, které nastávaly při třískovém obrábění, čímž se nedařilo dosáhnout požadované přesnosti kalíšků plastového unašeče od firmy Agro Rubín, a.s. byl zvolen plast z firmy TITAN – MULTIPLAST s.r.o. (obr. 14). Nebylo žádoucí opouštět velké výhody plastu z hlediska fyzických zátěží, korozní odolnosti, mechanického opotřebení a kavitace. Bohužel i s tímto plastem byly velké problémy při třískovém obrábění, nedařilo se dosáhnout požadované přesnosti kalíšků (tab. 11). Dalším problémem se ukázalo opotřebení dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků).

Obr. 14: Detail unašeče neodlehčeného z plastu od f. TITAN – MULTIPLAST s.r.o.



Tab. 11: Unašeč neodlehčený z plastu od f. TITAN – MULTIPLAST  
 s.r.o.  
 (soustružení + vrtání + frézování)

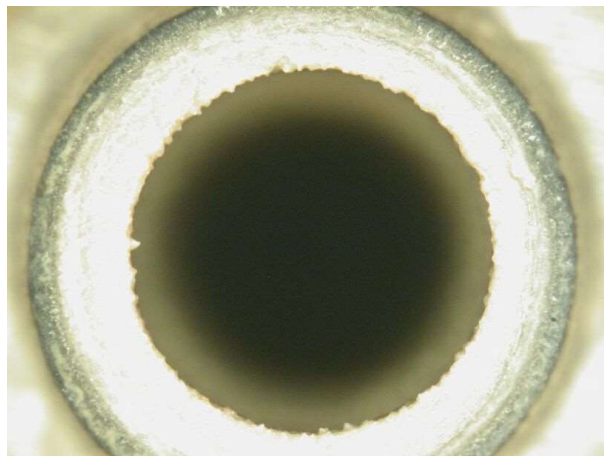
Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	1 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	1 b.
Životnost unašeče	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	3 b.
Celkové hodnocení	23 b.
Hodnocení – vynikající z hlediska fyzických zátěží a korozní odolnosti i mechanickému opotřebení a kavitaci. Nevyhovující – pro svoji malou váhu neodolával vibracím a to následně vedlo k drcení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 DB. Velké problémy při třískovém obrábění – nedařilo se dosáhnout požadované přesností kalíšků.	

### **5.10 Unašeč neodlehčený z duralu; povrchová úprava: tvrdý elox (soustružení + vrtání + frézování + nanesení povrchové úpravy)**

Pro odstranění kompromisního řešení dříve navrhovaných ocelových a plastových unašečů, ovšem při zachování jejich výhod a nevýhod, byla navržena další varianta unašeče z duralu s povrchovou úpravou eloxováním. Unašeč po nanesení povlaku tvrdého eloxu zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, na dobu 300 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku (obr. 15). Unašeč byl vyhovující z hlediska fyzických zátěží, dal se velice dobře třískově obrábět. Byl nevyhovující pro svoji malou váhu, pro kterou neodolával vibracím a to následně vedlo k drcení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 dB (tab. 12).



Obr. 15: Detail unašeče neodlehčeného z duralu, PÚ; tvrdý elox  
 (soustružení + vrtání + frézování + nanesení PÚ)



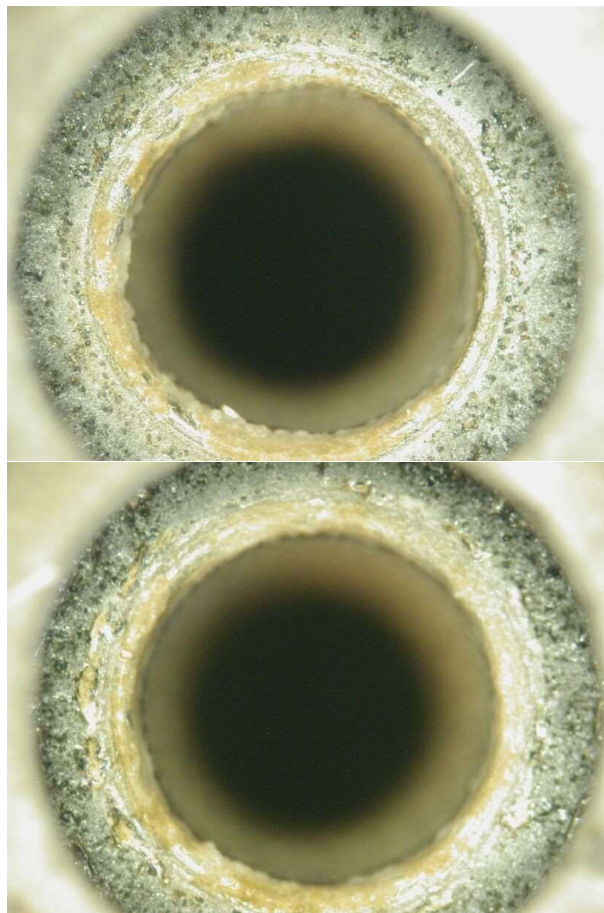
Tab. 12: Unašeč neodlehčený z duralu, PÚ; tvrdý elox  
 (soustružení + vrtání + frézování + nanesení PÚ)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	0 b.
Délka výroby	0 b.
Náklady na výrobu	1 b.
Náklady na materiál unašeče	1 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	3 b.
Životnost unašeče	1 b.
Fyzická námaha obsluhy	0 b.
Celkové hodnocení	<b>17 b.</b>
Hodnocení – Unašeč po nanesení povlaku tvrdého eloxu zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, na dobu 300 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl vyhovující z hlediska fyzických zátěží, dal se velice dobře třískově obrábět. Nevyhovující – pro svoji malou váhu neodolával vibracím a to následně vedlo k drcení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 dB.	

### 5.11 Unašeč neodlehčený z duralu, povrchová úprava; nikl – fosfor (soustružení + vrtání + frézování + nanesení povrchové úpravy)

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnější povrchové úpravy na zvýšení korozní odolnosti. Zvolena byla kombinace nikl – fosfor. Unašeč po nanesení povlaku tvrdého nikl-fosfor zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, na dobu 300 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl vyhovující z hlediska fyzických zátěží, dal se velice dobře třískově obrábět (obr. 16). Byl nevyhovující pro svoji malou váhu neodolával vibracím a to následně vedlo k drcení koralí a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 dB (tab. 13).

Obr. 16: Detail unašeče neodlehčeného z duralu, PÚ; nikl – fosfor  
(soustružení + vrtání + frézování + nanesení PÚ)



Tab. 13: Unašeč neodlehčený z duralu, PÚ; nikl – fosfor  
 (soustružení + vrtání+frézování + nanesení PÚ)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	0 b.
Délka výroby	0 b.
Náklady na výrobu	1 b.
Náklady na materiál unašeče	1 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	3 b.
Životnost unašeče	1 b.
Fyzická námaha obsluhy	0 b.
Celkové hodnocení	17 b.
Hodnocení – Unašeč po nanesení povlaku nikl - fosfor zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, na dobu 300 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl vyhovující z hlediska fyzických zátěží, dal se velice dobře třískově obrábět. Nevyhovující – pro svoji malou váhu neodolával vibracím a to následně vedlo k drcení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 DB.	

### 5.12 Unašeč neodlehčený z oceli na odlitky 42 2942 (soustružení + vrtání + frézování)

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnějšiho materiálu na zvýšení korozní odolnosti, byla zvolena ocel na odlitky 42 2942. Unašeč byl vyhovující pro svojí výbornou korozní odolnost, ale nevyhovující především pro svojí vysokou hmotnost – přesahující dovolené hodnoty fyzické zátěže člověka, neboť unašeč vážil 2,2 kg a mužská obsluha vykonala zhruba 7500 pohybů, což odpovídalo nazvedaným 16 500 kg za 7,5 hodinovou směnu. Tato hodnota nesplňovala zákonem předepsanou hodnotu, která činí 10 000 kg. Dalším nevyhovujícím faktorem byla nízká mechanická odolnost proti opotřebení a kavitaci – narušení přesného tvaru kalíšku (obr. 17). Velké problémy byly s odlitím dostatečně homogenního polotovaru unašeče. Vměstky a poruchy znehodnocovaly opracování konečných unašečů a především přesných kalíšků (tab. 14).

Obr. 17: Detail unašeče neodlehčeného z oceli na odlitky 42 2942 2942 (soustružení + vrtání + frézování)



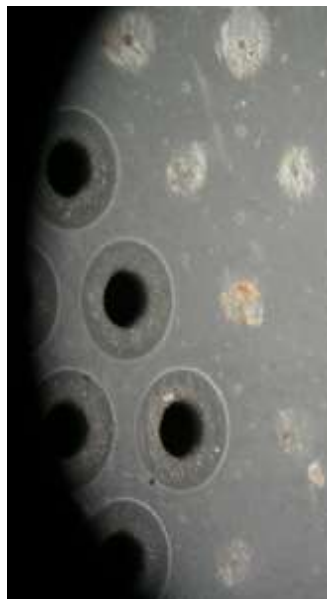
Tab. 14: Unašeč neodlehčený z oceli na odlitky 42 2942 (soustružení + vrtání + frézování)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	0 b.
Délka výroby	0 b.
Náklady na výrobu	1 b.
Náklady na materiál unašeče	1 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	3 b.
Životnost unašeče	4 b.
Fyzická námaha obsluhy	0 b.
Celkové hodnocení	<b>20 b.</b>
Hodnocení - Unašeč byl vyhovující pro svoji výbornou korozní odolnost. Unašeč byl nevyhovující především pro svoji vysokou hmotnost – přesahující dovolené hodnoty fyzické zátěže člověka a nízkou mechanickou odolnost proti opotřebení a kavitaci – narušení přesného tvaru kalíšku. Velké byly problémy s odlitím dostatečně homogenního polotovaru unašeče. Vměstky a poruchy nám znehodnocovaly opracování konečných unašečů.	

### 5.13 Unašeč odlehčený z oceli na odlitky 42 2942 + nastříknutý plast (soustružení + vrtání + frézování + nanesení plastu)

Tento krok optimalizace unašeče byl soustředěn na zachování všech výhod podkladní části unašeče, navrhovaného v kapitole 5.12, z oceli na odlitky 42 2942. Nevyhovující faktor, což byla nízká mechanická odolnost proti opotřebení a kavitaci – narušení přesného tvaru kalíšku byl eliminován nástřikem plastové části unašeče. Unašeč byl z hlediska korozní odolnosti vynikající, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci (obr. 18). Nevýhoda tohoto principu nanesení plastu byla velká zpětná smrštivost plastové části unašeče (až 10%). Z těchto důvodů docházelo k odtržení plastu od podkladního nosiče z oceli na odlitky 42 2942. Další problémy vznikaly s přesností roztečí kalíšků (též díky smrštivosti plastu) (tab. 15). Dalším problémem se ukázalo opotřebení dose-  
dací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků).

Obr. 18: Detail unašeče odlehčeného z oceli na odlitky 42 2942 + nastříknutý plast (soustružení + vrtání + frézování + nanešení plastu)



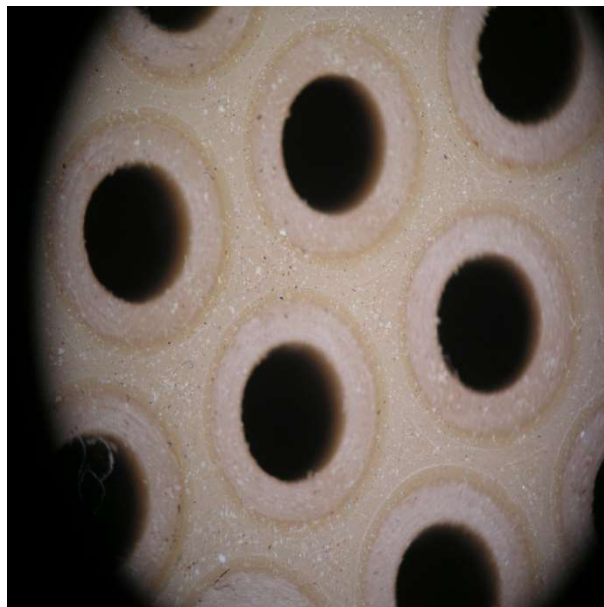
Tab. 15: Unašeč odlehčený z oceli na odlitky 42 2942 + nastříknutý plast (soustružení + vrtání + frézování + nanešení plastu)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	1 b.
Náklady na materiál unašeče	1 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	3 b.
Životnost unašeče	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	<b>23 b.</b>
Hodnocení – Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží. Z hlediska korozní odolnosti byl vynikající, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci. Nevýhoda tohoto principu nanesení plastu je velká zpětná smrštivost (až 10%). Z těchto důvodů docházelo k odtržení plastu od podkladního nosiče z oceli na odlitky 42 2942. Další problémy vznikaly s přesností roztečí kalíšků (též díky smrštivosti).	

#### **5.14 Unašeč odlehčený z oceli na odlitky 42 2942 + odlitý plast (soustružení + vrtání + frézování + nanesení povrchové úpravy)**

Tento krok optimalizace unašeče byl zaměřen na princip nanášení plastové části unašeče. Podkladový unašeč byl zachován ve verzi z oceli na odlitky 42 2942. Unašeč byl z hlediska korozní odolnosti vynikající, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci (obr. 19). Díky odlévání kalíšků je zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost. Nevýhoda tohoto principu je cena podkladového nosiče z oceli na odlitky 42 2942 (tab. 16). Dalším problémem se ukázalo opotřebení dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků).

Obr. 19: Detail unašeče odlehčeného z oceli na odlitky 42 2942 + odlitý plast (soustružení + vrtání + frézování + nanešení plastu)



Tab. 16: Unašeč odlehčený z oceli na odlitky 42 2942 + odlitý plast (soustružení + vrtání + frézování + nanesení PÚ)

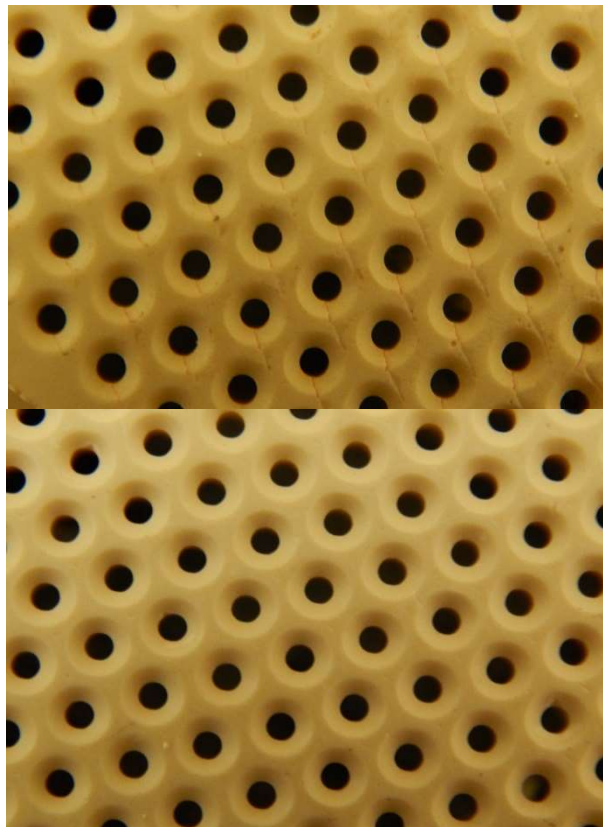
Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	2 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	3 b.
Životnost unašeče	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	24 b.

Hodnocení – Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží Z hlediska korozní odolnosti byl vynikající, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci. Díky odlévání kalíšků je zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost. Nevýhoda tohoto principu je cena podkladového nosiče z oceli na odlitky 42 2942.

### 5.15 Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast (soustružení + vrtání + frézování)

Po nalezení optimální skladby unašeče, kde spodní pevná část byla ocelová, což zaručovalo mechanickou pevnost unašeče a druhá vrchní část byl odlévaný plast, který zaručoval korozní odolnost a umožňoval přesnost kalíšků. Další krok byl zaměřen na snížení nákladů na výrobu unašeče. Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží. Z hlediska korozní odolnosti byl vynikající ve vrchní části a dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci (obr. 20). Díky odlévání kalíšků byla zaručena i dostatečná přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost. Nevýhoda tohoto principu byla nižší korozní odolnost podkladového litinového unašeče (tab. 17). Dalším problémem se ukázalo opotřebení dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků).

Obr. 20: Detail unašeče odlehčeného z litiny 42 2304 + odlitý plast  
(soustružení + vrtání + frézování)





Tab. 17: Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast  
 (soustružení + vrtání + frézování)

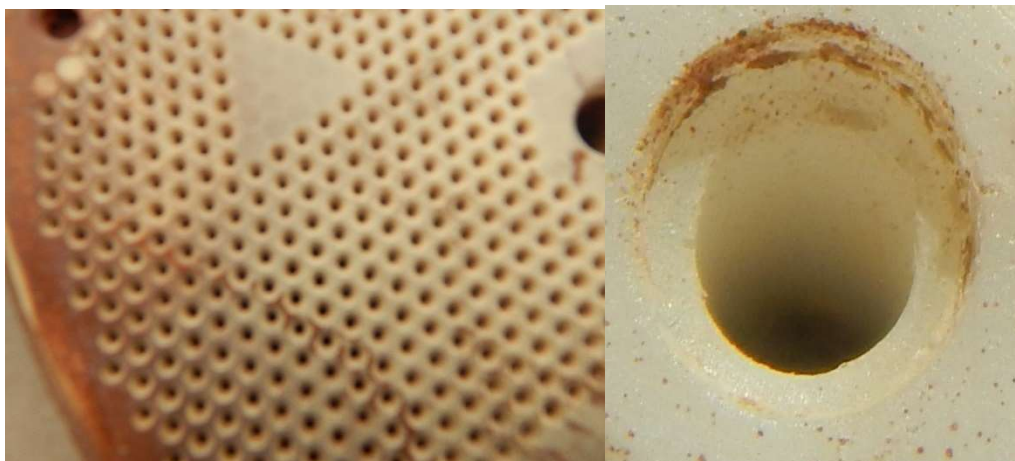
Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	2 b.
Náročnost výroby	1 b.
Délka výroby	1 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	4 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	3 b.
Životnost unašeče	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	24 b.

Hodnocení – Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží. Z hlediska korozní odolnosti byl vynikající, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci. Díky odlévání kalíšků je zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost. Nevýhoda tohoto principu je nižší korozní odolnost podkladového litinového nosiče.

### 5.16 Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast + galvanické zinkování podkladu (soustružení + vrtání + frézování)

Na odstranění poslední nevýhody předchozího unašeče bylo pro odstranění korozní náchylnosti litiny použito galvanické zinkování. Tato povrchová úprava byla na spodní část unašeče dostatečná, protože zde nebylo takové mechanické a korozní namáhání. Unašeč z hlediska korozní odolnosti byl vynikající na dotykové straně a dostačující na straně podkladového nosiče, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci (obr. 21). Díky odlévání kalíšků byla zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost (tab. 18). Posledním problémem tak zůstávalo opotřebení dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků).

Obr. 21: Detail unašeče odlehčeného z litiny 42 2304 + odlitý plast + galvanické zinkování podkladu (soustružení + vrtání + frézování)



Tab. 18: Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast + galvanické zinkování podkladu (soustružení + vrtání + frézování)

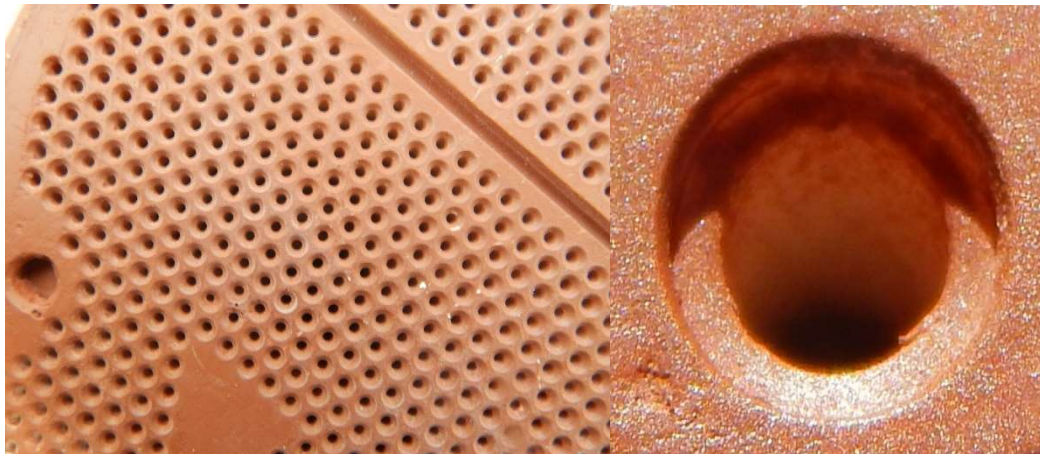
Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	2 b.
Délka výroby	2 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	2 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	3 b.
Životnost unašeče	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	26 b.
<p>Hodnocení – Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží. Z hlediska korozní odolnosti byl vynikající na dotykové straně a dostačující na straně podkladového nosiče, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci. Díky odlévání kalíšků je zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost.</p>	



**5.17      Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast + galvanické zinkování podkladu + akrylokombinační barva (soustružení + vrtání + frézování)**

Při experimentálním hledání materiálu a povrchové úpravy vyplynula potřeba řešení problému opotřebení dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšku) ve vrchní plastové části unašeče. Toto riziko bylo jednoduše eliminováno nástřikem akrylokombinační barvy. Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží (obr. 22). Z hlediska korozní odolnosti byl vynikající na dotykové straně a dostačující na straně podkladového nosiče, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci. Díky odlévání kalíšků byla zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost. Díky PÚ byla potlačena i náchylnost unašeče proti vtlačení kamenů do přesného kalíšku (tab. 19).

Obr. 22: Detail unašeče odlehčeného z litiny 42 2304 + odlitý plast + galvanické zinkování podkladu + akrylokombinační barva (soustružení + vrtání + frézování)





Tab. 19: Unašeč odlehčený z litiny 42 2304 + odlitý plast + galvanické zinkování podkladu + akrylokombínační barva (soustružení + vrtání + frézování)

Kriterium	Vyhodnocení
Odolnost proti korozi	4 b.
Náročnost výroby	2 b.
Délka výroby	2 b.
Náklady na výrobu	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.
Náklady na PÚ	2 b.
Přesnost výroby	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	4 b.
Životnost unšeče	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	2 b.
Celkové hodnocení	27 b.
Hodnocení – Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží. Z hlediska korozní odolnosti byl vynikající na dotykové straně a dostačující na straně podkladového nosiče, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci. Díky odlévání kalíšků je zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost. Díky PÚ byla potlačena i náchylnost unašeče proti vtlačení kamenů do přesného kalíšku.	

## 6 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala optimalizováním unašečů, neboli broušicích přípravků, upínajících skleněné korále při vlastním procesu rovinného broušení čelem kotouče ve firmě Preciosa a.s., v Turnově. Při procesu broušení byly využity stroje vyvinuté firmou Preciosa a.s., které podléhají know – how firmy, pro svoji unikátnost a možnost hromadného opracování skleněných korálů.

Při broušení se používali diamantové nástroje s kovovou vazbou pro svoje výborné brusné vlastnosti, což eliminovalo třecí síly způsobující problémy při broušení. Broušení probíhalo při pokojové teplotě a standardním atmosférickém tlaku. Pro lepší chlazení a odvod třísky se používala speciální procesní kapalina. Vlastní proces broušení probíhal ve velice náročných korozních podmínkách. Projevovali se zde především dva typy koroze: atmosférická koroze vzniklá vodním prostředím a kavitační koroze. Kavitační poškození se projevovalo vznikem četných důlků nacházejících se v kalíšcích unašeče velmi blízko sebe, vznikala houbovitá struktura. Kombinace atmosférické koroze a kavitace bylo velice silné korozní namáhání. Rozrušení materiálu, které bylo nejdříve povrchové, velice rychle pronikalo do hloubky a napadená součást – unašeč byl vyřazen z provozu během 150 strojních hodin. Tato hranice byla nižší než námi požadovaných 300 strojních hodin.

Bakalářská práce byla zaměřena na optimalizaci unašečů z několika hledisek.

První hledisko byla odolnost unašeče proti korozi. Toto kritérium bylo řešeno volbou materiálu unašeče a volbou povrchové úpravy kalíšku – dotykové části unašeče a skleněných korálů. Druhým hlediskem byla odolnost proti mechanickému opotřebení unašeče. Toto kritérium bylo zlepšeno především volbou kvalitnějších materiálů unašeče, složeného ze dvou funkčních částí a tím možností repase unašečů. Byla zachována podkladová část unašeče a nahrazena funkční část unašeče s přesnými kalíšky.



Dalším hlediskem byla ekonomika výroby celého unašeče spojená především s dodržením vysoké přesnosti kalíšků. Toto hledisko bylo zajištěno použitím konvenčních způsobů obrábění a opakovatelností použití podkladové části unašeče.

Posledním, ale neméně významným hlediskem byla fyzická námaha obsluh, při opakované manipulaci s unašečem. Tato nevýhoda unašeče byla řešena změnou tvaru – odlehčením unašeče a volbou vhodného materiálu.

Původní typ unašeče byl neodlehčený unašeč z oceli 11 373 bez povrchové úpravy, zpracovaný standardním konvenčním obráběním. U tohoto ocelového unašeče neodlehčeného z oceli 11 373 byla nižší korozní odolnost, z důvodu absence povrchové úpravy. Náročnost výroby byla nízká, protože byly použity konvenční způsoby obrábění – soustružení a vrtání. Proti relativně nízkým nákladům na materiál 11 373, jednalo se o jeden z nejlevnějších materiálů, stály náklady na vyvrtání přesných kalíšků na vrtacích CNC strojích, které ale zajišťovaly vysokou přesnost výroby kalíšků. Záporům tohoto provedení unašeče byla nízká odolnost proti mechanickému opotřebení, protože se jednalo o ničem nechráněnou nízko uhlíkovou ocel, a velmi vysoká fyzická námaha obsluhy, neboť unašeč vážil 2,07 kg a mužská obsluha s ním vykonala zhruba 7500 pohybů, což odpovídalo zátěži 15 525 kg za 7,5 hodinovou směnu. Tato hodnota nesplňovala zákonem předepsanou hodnotu, která činí maximálně 10 000 kg za směnu.

Optimalizace probíhala formou pokusu. První krok optimalizace unašeče byl zaměřen na zvýšení korozní odolnosti oceli 11 373 pomocí nejlevnější povrchové úpravy – nástřikem akrylokombinační barvou. Unašeč po nástřikání barvou zlepšil svoji korozní odolnost, bohužel nátěr díky velkému mechanickému namáhání a kavitaci vydržel pouze 140 strojních hodin poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku.

V dalších krocích optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnější povrchové úpravy na zvýšení korozní odolnosti oceli 11 373. Bylo zvoleno galvanické zinkování, které bylo poměrně levné a výrobně nenáročné (obr. 8). Unašeč po galvanickém zinkování zlepšil svoji korozní odolnost, bohužel i tento povlak díky velkému mechanickému namáhání



a kavitaci vydržel krátkou dobu 140 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku.

Pro další povrchovou úpravu byla zvolena metoda povlakování velice odolným materiálem – nitridem titanu (obr. 9), který byl výrazně dražší než zinek, ale pro tento materiál bylo předpokládáno výrazné zvýšení korozní odolnosti a odolnosti proti mechanickému opotřebení. Toto se částečně potvrdilo, životnost unašeče se zvýšila zhruba na 170 strojních hodin, poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. I tato životnost byla z ekonomického pohledu nedostatečná. I nadále byl unašeč stále nevyhovující pro svoji vysokou hmotnost, proto byl další krok optimalizace unašeče zaměřen na snížení hmotnosti odfrézováním nepotřebných částí a byla vyzkoušena další povrchová úprava, zvolena byla kombinace nikl – fosfor (obr. 10). Tato povrchová úprava vydržela zhruba 170 strojních hodin. Unašeč byl po odlehčení již vyhovující z hlediska fyzických zátěží, neboť takto upravený unašeč váží 1,068 kg a mužská obsluha s ním vykonala zhruba 7500 pohybů, což odpovídalo nazvedaným 8 010 kg za 7,5 hodinovou směnu, což byla již vyhovující hodnota.

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnějšího materiálu unašeče na zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení. Zvolena byla nástrojová ocel 19 312. Tento materiál oproti očekávání nijak zásadně nezvýšil odolnost proti mechanickému opotřebení a přesný kalíšek byl znehodnocen zhruba po 170 strojních hodinách. Proti koroznímu působení byla ponechána povrchová úprava nitrid titanu.

Dalším razantním krokem byla náhrada ocelového unašeče plastovým unašečem. Zvolen byl plast z firmy AGRO RUBÍN, a.s. Plastový unašeč byl vynikající z hlediska fyzických zátěží a korozní odolnosti i mechanického opotřebení a kavitace. Pro svoji malou hmotnost bohužel neodolával vibracím při broušení a to následně vedlo k drcení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 dB. Velké problémy nastávaly při třískovém obrábění plastu, nedařilo se dosáhnout požadované přesnosti kalíšků. Náhradním řešením byla volba plastu z firmy TITAN – MULTIPLAST s.r.o. protože nebylo žádoucí opouštět velké výhody plastu z hlediska fyzických zátěží, korozní odolnosti, mechanického opotřebení



a kavitace. Bohužel i s tímto plastem byly velké problémy při třískovém obrábění, nedařilo se dosáhnout požadované přesností kalíšků.

Pro odstranění nevýhod dříve navrhovaných neodlehčených ocelových a plastových unašečů, ovšem při zachování jejich výhod byla navržena další varianta unašeče z duralu s povrchovou úpravou eloxováním. Unašeč po nanesení povlaku tvrdého eloxu zlepšil svoji korozní odolnost i odolnost proti mechanickému opotřebení a kavitaci, na dobu cca 300 strojních hodin – poté nastalo narušení přesného tvaru kalíšku. Unašeč byl vyhovující z hlediska fyzických zátěží, dal se velice dobře třískově obrábět, bohužel byl nevyhovující pro svoji malou hmotnost, pro kterou neodolával vibracím a to následně vedlo k drcení korálů a velkému hluku překračujícímu povolenou hranici 85 dB (tab. 12).

V dalším kroku optimalizace unašeče se pokračovalo v hledání odolnějšího materiálu na zvýšení korozní odolnosti a odstranění problému s vibracemi. Byla zvolena ocel na odlitky 42 2942 a bylo se vráceno k neodlehčené variantě unašeče. Unašeč byl vyhovující pro svojí výbornou korozní odolnost, ale nevyhovující především pro svojí vysokou hmotnost – přesahující dovolené hodnoty fyzické zátěže člověka, neboť unašeč vážil 2,22 kg. Dalším nevyhovujícím faktorem byla nízká mechanická odolnost proti opotřebení a kavitaci – narušení přesného tvaru kalíšku (obr. 17). Velké problémy byly s odlitím dostatečně homogenního polotovaru unašeče. Vměstky a poruchy znehodnocovaly opracování konečných unašečů a především přesných kalíšků.

Optimalizace unašeče byla soustředěna na zachování všech výhod podkladního unašeče z oceli na odlitky 42 2942. Nevyhovující hmotnost byla opět řešena odlehčením unašeče na hmotnost 1,230 kg a nevyhovující mechanická odolnost proti opotřebení a kavitaci, narušení přesného tvaru kalíšku, byla eliminována nástřikem plastové části unašeče. Unašeč byl z hlediska korozní odolnosti vynikající, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci (obr. 18). Nevýhoda tohoto principu nanesení plastu byla velká zpětná smrštivost plastu (až 10%). Z těchto důvodů docházelo k odtržení plastu od podkladní části unašeče. Další problémy vznikaly s přesností roztečí kalíšků (též díky smrštivosti). Další drobnou nevýhodou plastové části bylo opotřebení dosedací plochy.



Varianta kombinace ocelového a plastového unašeče pokračovala v hledání principu nanášení plastové části unašeče.

Byl zvolen princip odlévaného plastu. Podkladový unašeč byl zachován ve verzi z oceli na odlitky 42 2942. Unašeč byl z hlediska korozní odolnosti vynikající, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci (obr. 19). Díky odlévání kalíšků byla zaručena i jejich přesnost. Nevýhoda tohoto principu byla cena podkladového unašeče z oceli na odlitky 42 2942. Tato nevýhoda byla řešena kompromisem. Pro podkladovou část unašeče byla zvolena levnější litina 42 2304. Nevýhoda tohoto principu byla nižší korozní odolnost podkladového litinového nosiče. Tato nevýhoda byla eliminována použitím galvanického zinkování. Tato povrchová úprava byla na spodní část unašeče dostatečná, protože zde nebylo takové mechanické a korozní namáhání. Unašeč z hlediska korozní odolnosti byl vynikající na dotykové straně a dostačující na straně podkladového nosiče, dobře odolával i mechanickému opotřebení a kavitaci. Díky odlévání kalíšků na připravené formě byla zaručena i jejich přesnost a hlavně menší ekonomická náročnost, která vycházela z odstranění přesného vrtání unašečů na CNC strojích.

Při experimentálním hledání materiálu a povrchové úpravy vyplynula potřeba řešení problému opotřebení dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků) ve vrchní plastové části unašeče. Toto riziko bylo jednoduše eliminováno nástřikem akrylokombinační barvy. Díky této povrchové úpravě byla potlačena náchylnost unašeče proti vtlačení kamenů do přesného kalíšku (obr. 22).

Pro broušení korálů bylo odzkoušeno velké množství různých materiálů a tvarů unašečů. (tab. 20).

Tato bakalářská práce mapuje situaci ze stavu původního, kdy byl ocelový neodlehčený unašeč s velkou hmotností a nízkou mechanickou a korozní odolností až po finální odlehčený unašeč s odlévanou plastovou činnou plochou vykazující dobré mechanické a korozní odolnosti.

Tab. 20: Realizované úpravy unašeče

Popis unašeče	Materiál unašeče		Provedení unašeče	Povrchová úprava unašeče
	Podkladová část	Funkční část	odlehčený/ neodlehčený	
5.1	11 373	11 373	neodlehčený	bez povrchové úpravy
5.2	11 373	11 373	neodlehčený	akrylokombinační barva
5.3	11 373	11 373	neodlehčený	galvanické zinkování
5.4	11 373	11 373	neodlehčený	nitrid titanu
5.5	11 373	11 373	odlehčený	nikl - fosfor
5.6	11 373	11 373	odlehčený	nitrid titanu
5.7	19 312	19 312	odlehčený	nikl fosfor
5.8	Agro Rubín	Agro Rubín	neodlehčený	bez povrchové úpravy
5.9	Titan multiplast	Titan multiplast	neodlehčený	bez povrchové úpravy
5.10	dural	dural	neodlehčený	tvrdý elox
5.11	dural	dural	neodlehčený	nikl - fosfor
5.12	42 2942	42 2942	neodlehčený	bez povrchové úpravy
5.13	42 2942	nastříknutý plast	odlehčený	bez povrchové úpravy
5.14	42 2942	odlitý plast	odlehčený	bez povrchové úpravy
5.15	42 2304	odlitý plast	odlehčený	bez povrchové úpravy
5.16	42 2304	odlitý plast	odlehčený	galvanické zinkování
5.17	43 2304	odlitý plast	odlehčený	galvanické zinkování / akrylokombinační barva

Tab. 21: Souhrné hodnocení původního a finálního unašeče

Kriterium	Hodnocení původního unašeče	Hodnocení finálního unašeče
Odolnost proti korozi	0 b.	4 b.
Náročnost výroby	1 b.	2 b.
Délka výroby	1 b.	2 b.
Náklady na výrobu	2 b.	2 b.
Náklady na materiál unašeče	3 b.	3 b.
Náklady na PÚ	4 b.	2 b.
Přesnost výroby	1 b.	3 b.
Odolnost proti mechanickému opotřebení	1 b.	4 b.
Životnost unašeče	0 b.	3 b.
Fyzická námaha obsluhy	0 b.	2 b.
Celkové hodnocení	14 b.	27 b.

Po vyhodnocení všech kritérií, jak ekonomických, ergonomických, výrobních, tak i korozních a pevnostních se nejlépe osvědčila varianta kombinovaného unašeče. Jako materiál podkladového unašeče byla použita litina 42 2304.2. Z důvodů fyzické zátěže byla spodní strana unašeče odlehčena. Jako ochrana proti korozi byl méně namáhaný odlitek z litiny galvanicky pokoven zinkem a vrchní více namáhaná část unašeče byla z polyuretanové hmoty, která po vytvrzení vykazovala velice dobré mechanické vlastnosti. Velice dobře odolávala mechanickému i abrazivnímu opotřebení, tepelnému namáhání a velice dobře odolávala korozi. Díky nanesení akrylokombinační barvy byla potlačena i náchylnost opotřebení



dosedací plochy (vtlačení kamenů do přesných kalíšků). Tento typ unášče je v současné době ve firmě Preciosa a.s., aktuálně využíván jako nejlepší řešení.



## 7 Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu) :

1. GÖTZ, J., aj. *Broušení a leštění skla*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 367 s. ISBN -.
2. MASLOV, J. N. *Teorie broušení kovů*. Doplnil F. Neckář., 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. 246 s. ISBN -.
3. CABEJŠEK, M. *Zušlechťování skla*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství L+P, 2004. 152 s. ISBN 80-239-4265-4.
4. Preciosa, a.s. - firemní literatura.
5. PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ R. *Teorie obrábění*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 198 s. ISBN -.
6. ŘÍČKA, J. *Vlastnosti brusného nástroje a jejich hodnocení*. 1. vyd. Praha: Strojírenství, 1960. 357 s. ISBN -.
7. KREIBICH, V. *Teorie a technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Praha, ČVUT 1996. 89 s. ISBN 80-01-01472-X.
8. Kreibich V. a Hoch K. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 1. vyd Skripta FS ČVUT Praha, 1984, 270 s. ISBN -.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant/ti bakalářské práce: Ing. Jan Holubka, PRECIOSA, a.s.

L.S.

doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

V Liberci, dne 30. 10. 2015

---

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



# SEZNAM PŘÍLOH

## **Příloha 1**

Název: Druhy koroze

## Druhy koroze [8]

- 1) Dle typu napadení
- 2) Dle charakteru korozního děje
- 3) Dle korozního( reakčního) prostředí
- 4) Dle rozhodujícího činitele majícího vliv na korozní napadení či děj

1.a) Rovnoměrná koroze – je typická pro atmosférickou korozi nechráněných uhlíkových ocelí, způsobuje rovnoměrné úbytky materiálu po celé exponované ploše.

1.b) Nerovnoměrná a skvrnitá koroze – napadá určitá místa materiálu. Vyskytuje se v případech, kdy se z různých důvodů lokálně mění složení materiálu (např. vměstky)

1.c) Galvanická koroze objevuje v případě korozních článků vznikajících na styku dvou různě elektrochemicky ušlechtilých kovů bez ochranných povlaků(spojení musí být elektricky vodivé [8]).

1.d) Štěrbinová koroze – k tomuto druhu korozního napadení dochází v jemných kapilárních štěrbinách nebo v jiných místech se špatnou výměnou korozního prostředí( např.těsněním, ucpávkami, ...)

1.e) Nitková koroze – je zvláštní formou štěrbinové koroze, která se objevuje při expozici ve vlhké atmosféře. Nitkové korozní napadení se objevuje především pod organickými povlaky.(laky, nátěry a konzervační prostředky), ale také pod cínovými, stříbrnými, zlatými a fosfátovými povlaky.

1.f) Bodová a důlková koroze – vyskytuje se nejčastěji u materiálů, na jejichž povrchu vzniká pasivní vrstva (to je tenká a kompaktní vrstva oxidů), Jsou to především korozivzdorné oceli a hliník a jeho slitiny. Po rušení této vrstvy vznikají aktivní korozní centra.



1.g) Mezikrystalová koroze – je způsobena větší rychlostí koroze na hranách zrn, než koroze vlastního zrna. Napadení podléhá jen úzká oblast při hranicích krystalických zrn, která má v důsledku strukturálních změn sníženou odolnost proti korozi. Mezikrystalové napadení proniká do značných hloubek, někdy i celým průřezem.

1.h) Nožová koroze – U titanem nebo Niobem stabilizovaných chromniklových ocelí, kde je za normálních okolností náchylnost k precipitaci karbidů chrómu potlačena, může za určitých podmínek vzniknout mezikrystalová koroze v úzké přehřáté zóně (na šířku několika zrn) základního materiálu přiléhající ke svarovému kovu. Protože tento druh napadení připomíná zářez nožem, je označovaná jako nožová koroze

1.i) Podpovrchové napadení – je charakterizováno malým narušením povrchu, zatímco pod povrchem vznikají prostorné korozní dutiny.

1.j) Selektivní napadení – se vyskytuje u slitin s dvou a více fázovými strukturami. Korozní napadení se v některém prostředí omezuje pouze na jedinou fázi. Ve většině případů se korodující fáze liší chemickým složením od nekorodujících fází.

1.k) Extrakční napadení – je způsobena koroze jediné chemické složky slitiny. Napadení může být po celém povrchu rovnoměrné a rovnoměrně pronikat do hloubky, ale též může být místní a vytvářet důlky. V místě napadení je slitina ochuzována o korodující složku, což má za následek rozrušení povrchu i strukturální změny a tím zhoršení mechanických vlastností.

1.l) Exfoliační napadení – Krystalická zrna jsou velmi plochá (ve tvaru destiček) a na jejich hranicích nebo i uvnitř zrn se vyskytují protáhlé precipitáty vedoucí ke vzniku ochuzení o měď. K exfoliaci obvykle dochází v místech, kde jsou plechy spojeny ocelovými upínkami pokrytými kadmiovým povlakem [8].



2.a) Koroze v elektricky nevodivých prostředích – probíhá v plynech, které mají oxidační či redukční povahu nebo v řadě bezvodých organických kapalin. Pro korozi v oxidujících plynech je charakteristický vznik vrstev korozních produktů na povrchu materiálu. Průběh korozních reakcí je závislý na vlastnostech oxidické korozní vrstvy a jejích fázových rozhraních kov – vrstva oxidů – plyn.

2.b) Koroze v elektricky vodivých prostředích – je umožněna existencí iontů, které vzniknou disociací korozního prostředí. Při vlastní korozi probíhá řada oxidačních a redukčních dějů. Každá korozní reakce může být rozdělena na dílčí reakce – anodickou a katodickou. Při anodické reakci dochází k oxidaci kovu a tedy k vlastní korozi materiálu. Při katodické reakci jsou v roztoku redukovány některé složky korozního prostředí [8].

3.a) Koroze atmosférická – je nejrozšířenější formou koroze, neboť agresivně atmosféry je vystavena největší část materiálů (zhruba 60% všech korozních ztrát je zapříčiněno atmosférickou korozí). Základním faktorem určujícím rychlost tohoto převážně elektrochemického děje je stupeň ovlhčení kovového povrchu.

3.b) Koroze ve vodách – je nejčastější z případů koroze v kapalinách. Ve vodě jsou rozpuštěny různé chemické látky, kyselého i zásaditého charakteru, které přímo ovlivňují intenzitu koroze. (plyny O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, mechanické nečistoty, kaly, soli různých látek Ca, Mg, ...).

3.c) Koroze v plynech – se projevuje působením plynného korozního prostředí na kovový materiál za vzniku chemických sloučenin. Základní a určující korozní složkou je v plynném prostředí je kyslík

3.d) Koroze v půdách – patří mezi zvláštní případy koroze v roztocích elektrolytů, neboť půda je tvořena jak fází tuhou, tak plynnou i kapalnou [8].





#### 4.a) Koroze za napětí – I). korozní praskání

##### – II). korozní únava

4.a.I) Korozní praskání – je jev, při kterém dochází k porušení ( vzniku trhlin nebo i k přetržení) součástí za mechanických napětí výrazně nižších než je mez pevnosti nebo i mez kluzu. Podle způsobu šíření trhlin rozeznáváme korozní praskání interkrystalické, transkrystalické a smíšené.

4.a.II) Korozní únava – je korozní napadení, které podobně jako korozní praskání vzniká současným korozním a mechanickým namáháním materiálu. Mechanické namáhání při korozní únavě je vyvoláno účinkem střídavého zatěžování součásti nebo střídáním teplot.

4.b) Vibrační koroze – vzniká obvykle na styčných plochách kovových materiálů, které konají vzájemný (tečný) kmitavý pohyb o malé amplitudě při určitém specifickém tlaku. Jde vlastně o opotřebení ploch, které však v důsledku oxidačních pochodů (vznikají korozní produkty) je mnohem výraznější než při rovnocenném tření bez současného působení korozního prostředí.

4.c) Kavítace – příčinou kavítace je tvorba a zanikání bublin plynů a par obsažených v proudící kapalině. Tím v kapalině vznikají rázy. Dojde – li k zániku bubliny těsně u stěny, naráží na ní kapalina vysokou rychlostí a mechanicky ji narušuje. Kavitační poškození se projevuje vznikem četných důlků nacházejících se velmi blízko u sebe.(houbovitá struktura). Rozrušování materiálů kavítací, které je nejdříve povrchové a postupně proniká do hloubky, je tak rychlé, že napadenou součást může vyřadit z provozu během několika týdnů. Vyskytuje se např. u lopatek vodních turbín, čerpadel a lodních šroubů.



4.d) Koroze bludnými proudy – úzce souvisí s korozí v půdách a probíhá za specifických podmínek průchodu elektrických proudů z vnějších zdrojů částí kovových zařízení uložených v půdě. Zdrojem proudu je nejčastěji elektrická trakce.

4.e) Vodíková koroze – se může objevit jako důsledek působení jednak plynného prostředí, jednak elektrolytů za běžných teplot. Při korozi v elektrolytech na katodických místech vzniká vodík ve stavu zrodu, který může difundovat do krystalové mřížky kovu (je velmi malý, na rozdíl od molekulárního vodíku, který je velký a difunduje do kovu velmi obtížně), kde způsobuje tzv. vodíkové zkřehnutí [8].