



# NOVÉ DEZÉNOVACÍ POSTUPY PŘI MECHANICKÉM MATOVÁNÍ PLOCHÉHO SKLA

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení  
*Autor práce:* **Bc. Marina Chichilimova**  
*Vedoucí práce:* Ing. Marcel Horák, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechanical Engineering ■

# NEW DESIGN METHODS FOR MECHANICAL MATTING OF FLAT GLASS

## Diploma thesis

*Study programme:* N2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 2302T010 – Machine and Equipment Systems  
*Author:* **Bc. Marina Chichilimova**  
*Supervisor:* Ing. Marcel Horák, Ph.D.



Tento list nahradte  
originálem zadání.

## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma 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.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

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

Datum:

Podpis:

## Poděkování

Děkuji panu **Ing. Marcelu Horákovi, Ph.D.**, členu Katedry sklářských strojů a robotiky Technické univerzity v Liberci, za odborné vedení, cenné připomínky a trpělivost v průběhu řešení tohoto projektu.

Dále bych ráda poděkovala panu **Ing. Michalovi Starému, Ph.D.** a **Ing. Vlastimilu Hotařovi, Ph.D.** za odbornou pomoc a ochotu související s řešením tohoto projektu.

Také bych ráda poděkovala své rodině za podporu během studia.

Marina Chichilimova

**Téma:** Nové dezénovací postupy při mechanickém matování plochého skla

**Anotace:** Cílem diplomové práce je provést zevrubnou patentovou rešerši mechanických principů matování skla a zaměřit se na teoretický popis chování jednotlivého vlákna rotačního válcového kartáče. Na stávajícím systému realizovat sérii experimentů s cílem optimalizovat procesní parametry mechanického způsobu matování se zaměřením na vytváření jednoduchých vzorů a plošných dezénů. Na základě analýzy dosažených výsledků koncipovat ve variantách návrh konstrukčního řešení zařízení pro realizaci dezénů na povrchu plochého skla pomocí technologické hlavice průmyslového robotu, která pracuje na principu mechanického matování kartáči s brusnými zrny syntetického diamantu. Jsou zpracovány konstrukční návrhy šablon a systému aktivního navádění štětín, včetně koncepce jejich instalace do systému technologické hlavice. Součástí práce je vytvoření funkčního vzorku zvolené varianty konstrukčního řešení navádění vláken kartáče a následná realizace plošného vzoru na plochem skle v laboratorních podmínkách s vyhodnocením dosažených výsledků. Závěr práce je orientován na technickoekonomické zhodnocení přínosů a potenciálu mechanického způsobu matování při reálném nasazení v praxi.

**Klíčová slova:** mechanické matování skla, průmyslový robot, technologická hlavice, kartáčování, kompozitní vlákna, syntetický diamant.

**Thesis:** New Design Methods for Mechanical Matting of Flat Glass.

**Annotation:** The aim of the diploma thesis is to conduct a patent research of the mechanical methods for flat glass matting and to present theoretical description of a rotating brush fiber action. Process parameters optimization of the existing mechanical matting system is provided on the experimental basis in order to improve creation of simple images on the sheet glass. Using the outcomes of the carried analysis several design concepts are offered for the images creation on the flat glass. The glass matting process is realized with the employment of a technological end effector of an industrial robot, the abrasive effect obtained by synthetic diamond grains mixed into the brush. Furthermore possible designs of patterns and designs of fiber guiding systems are included in the thesis among the design proposals of their embedding into the technological end effector system. As well there is an experimental functional model of the chosen design of the fiber guiding system tested in a laboratory. During the test images on the flat glass were created and analyzed then. The thesis includes technical and economical evaluation of the mechanical glass matting and the description of its potential in case of implementation in production process.

**Key words:** Glass matting, industrial robot, technological end effector, rotary brush, composite filament, synthetic diamond.

## Obsah

Úvod.....	9
1 Rozbor procesu mechanického matování.....	10
1.1 Popis objektu matování: ploché sklo .....	10
1.2 Způsoby matování plochého skla .....	11
1.3 Rešerše matovacích postupů se zaměřením na mechanické principy matování plochého skla .....	11
2 Koncepční návrh systému pro realizaci plošných dezénů.....	20
2.1 Teorie kartáčování .....	20
2.2 Technické charakteristiky kartáčů .....	21
2.3 Stávající řešení technologické hlavice.....	24
2.4 Teoretické aspekty aplikace rotačních válcových kartáčů.....	26
2.5 Optimalizace základních procesních parametrů .....	30
2.5.1 Struktura matovaného povrchu .....	31
2.5.2 Geometrie matovaného okraje .....	36
3 Konstrukční řešení .....	44
3.1 Konstrukční řešení technologické hlavice.....	44
3.2 Schéma výkresové dokumentace.....	45
3.3 Konstrukce systémů aktivního navádění vláken matovacího zařízení .....	47
3.3.1 Disk.....	47
3.3.2 Válečky .....	47
3.3.3 Planžeta.....	48
3.4 Výběr vhodné varianty pro otestování .....	49
3.5 Výsledky experimentu .....	49
4 Technicko-ekonomické hodnocení .....	52
4.1 Technické zhodnocení .....	52
4.2 Ekonomické zhodnocení .....	53
Závěr.....	54
Literatura .....	55
Seznam obrázků .....	60
Seznam tabulek.....	61

## Seznam značek a symbolů

Značka	Jednotka	Popis
a	[mm]	vzdálenost předního kraje matu od nulové polohy
$A_1$	[J]	práce jednoho vlákna
b	[mm]	vzdálenost zadního kraje matu od nulové polohy
c	[mm]	vzdálenost středu matu od nulové polohy
$C_{01}$	[MPa]	materiálová konstanta
$C_{10}$	[MPa]	materiálová konstanta
d	[mm]	vzdálenost osy kartáče od nulové polohy
$d_K$	[mm]	průměr kartáče
$d_F$	[mm]	průměr vlákna
E	[Pa]	modul pružnosti vlákna
$F_{KR}$	[N]	Eulerova kritická síla
$F_{KR1}$	[N]	Eulerova kritická síla jednoho vlákna
$F_Z$	[N]	kontaktní síla vláken v záběru
$F_{Z1}$	[N]	kontaktní síla jednoho vlákna
H	[-]	poměr matovací práce vůči kinetické energii vlákna
$J_y$	[kg.m <sup>2</sup> ]	moment setrvačnosti průřezu vlákna
l	[mm]	činná délka vlákna
m/L	[g/m]	udávaná délková hmotnost vlákna
$m_{v1}$	[kg]	hmotnost jednoho vlákna
$M_w$	[Nm]	aktuální krouticí moment
n	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky kartáče
$n_Z$	[-]	počet vláken v záběru
$O_1$	[N]	odstředivá síla na jedno vlákno
$O_{ZAB}$	[N]	odstředivá síla vláken v záběru
$P_1$	[W]	výkon přenášený jedním vláknem
$P_w$	[W]	aktuální příkon
R	[mm]	poloměr kartáče
$R_a$	[μm]	drsnost povrchu
$r_n$	[mm]	poloměr těla kartáče
$R_T$	[mm]	efektivní poloměr
s	[mm]	dráha vlákna
$S_F$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez vlákna



$t_k$	[s]	doba kontaktu
$v$	[m/s]	obvodová rychlost
$W_k$	[J]	kinetická energie vláken
$W_{k1}$	[J]	kinetická energie jednoho vlákna
$\alpha$	[K <sup>-1</sup> ]	součinitel teplotní roztažnosti
$\Delta_o$	[mm]	nesouosost kartáče a oblasti kartáčování
$\Delta_z$	[mm]	hloubka zaboření vlákna
$\lambda$	[W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná vodivost
$\mu$	[-]	koeficient tření pro polyamid
$\xi$	[-]	korekční koeficient plochy
$\pi$	[-]	poměr obvodu kruhu k jeho průměru
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	měrná hmotnost vlákna
$\varphi_k$	[°]	úhel kontaktu
$\omega$	[rad/s]	úhlová rychlost
$Al_2O_3$		oxid hlinitý
HF		kyselina fluorovodíková
SiC		karbid křemíku

## Úvod

Cílem diplomové práce je navrhnout optimální procesní podmínky pro stabilizaci jakosti povrchu při mechanickém matování plochého skla. Dalším úkolem je konstrukce zařízení pro vytváření designově zajímavých a funkčních vzorů na povrchu skla s vysokou estetickou hodnotou.

První kapitola bude věnována patentové rešerši matovacích postupů se zaměřením na stávající metody mechanického opracování povrchu skla.

Kapitola druhá předkládá rozbor technických charakteristik kartáče včetně těch, které budou výchozími parametry pro experimenty zaměřené na testování optimálních provozních podmínek matovacího procesu s ohledem na dosažení stabilní jakosti povrchu skla. V kapitole bude rovněž předložena teoretická představa o mechanickém chování vláken kartáče na rovinném povrchu skla. Dále budou na základě stávajícího řešení matovací hlavice instalované na průmyslový robot navrženy koncepční varianty řešení systému pro realizaci plošných dezénů s ostrými hranami.

Kapitola třetí bude věnována konstrukčnímu řešení vybraných variant a bude doplněna o rozhodovací analýzu, pomocí které bude zvolena nejvhodnější varianta. Na závěr kapitoly budou prezentovány výsledky experimentálně testované varianty a budou stanoveny technické podmínky pro efektivní využití.

Závěrečná kapitola přinese technické, ekonomické a následně ekologické zhodnocení návrhu řešení systému pro realizaci plošných dezénů s akcentem na porovnání s klasickými postupy matování.

# 1 Rozbor procesu mechanického matování

## 1.1 Popis objektu matování: ploché sklo

Pro usnadnění další práce, budou stanovené zaklání pojmy, související s problematikou zušlechťování plochého skla. Sklo: podle Moreyho - sklo je anorganický produkt tavení, který byl ochlazen do pevného stavu bez krystalizace; podle Fanderlika - skla jsou látky v amorfním stavu (tj. Nemající znaky krystalové mřížky), které jeví při přechodu z pevné konzistence ve viskózně plastickou a opačně, transformační přeměny Existuje několik typů skel. Sklo, kterému se věnuje tento projekt, podle chemického složení patří k anorganickým oxido-křemičitým sklům. Podle způsobů výroby se jedná o tavené ploché (tabulové) sklo (Technologie FLOAT). Vzhledem k tomu, že se uvažuje možnost instalace technologie kartáčování přímo na výrobní lince, jsou dále uvedeny základní technologické charakteristiky: teplota skloviny na výstupu z lázně 600 °C; rovnovážná tloušťka pásu skla cca 6 mm; šířka pásu 3210 mm; výkon linky cca 700 t/24 hod. Sklo je standardně dodáváno v tloušťkách od 2 do 10 mm [43].

Pro úplnost jsou v tab. 1 shrnuty vybrané vlastnosti plaveného plochého skla, které je nejvhodnějším polotovarem pro mechanické matování.

**Tab. 1** Vybrané vlastnosti plaveného plochého skla

Parametr	Jednotka	Hodnota
Měrná hmotnost $\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2 491,4
Pevnost v tlaku	MPa	1000
Tvrdost podle Mohsa	třída	6
Modul pružnosti v ohybu (pro tloušťku skla 5 mm)	MPa	61 500 až 68 700
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	50
Součinitel teplotní roztažnosti, střední hodnota	$\text{K}^{-1}$	$87 \cdot 10^{-7}$ až $90 \cdot 10^{-7}$
Měrná tepelná vodivost $\lambda$	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0,93
Prostup světla (pro tloušťku skla 5 mm)	%	89
Odolnost proti kyselinám	třída	I. (kromě HF)
Odolnost proti louhům	třída	I.
Odolnost proti vodě	třída	IV.

## 1.2 Způsoby matování plochého skla

Postupy opracování skla s cílem vytváření matového vzhledu bývají většinou chemické a mechanické, přičemž chemické matování probíhá pomocí nanášení směsi kyseliny fluorovodíkové, sloučenin fluoru nebo kyselin pro vytváření jemného povrchu.

K mechanickým metodám patří:

1. pískování, kdy se na povrch skla rychlým proudem vzduchu aplikuje abrazivní materiál, buď  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oxid hlinitý, SiC karbid křemíku nebo křemenný písek,
2. aplikace směsi tepelně nebo opticky tvrditelné pryskyřice nebo například uretanové pryskyřice,
3. potahování a pečení potahového materiálu obsahujícího hlavně alkoxyasilan,
4. použití pojiva z oxidu kovů nebo křemenu, které se spojují sklem za teplot těsně pod bodem měknutí skla,
5. pro rytí menších povrchů za účelem vytváření složitějších obrazů sepoužívá stylus z materiálů pevnějších než je sklo, například z diamantu,
6. leptání, které zůstává nejpopulárnější metodou pro větší plochy.

Nicméně obrovské používání kyseliny fluorovodíkové (HF) zatěžuje prostředí, navíc představuje riziko pro zdraví pracovníků, kteří potřebují prostředky individuální ochrany zdraví při práci. Nevýhodou mechanické metody je výskyt hrubých nerovností, které zhoršují vizuální a dotykový dojem. Třetí metoda nemůže vytvořit dostatečně pevný povrch. U čtvrté metody tkví nevýhoda v tom, že míchání skleněného prášku a rozpouštědla trvá déle, než vyžaduje současné konkurenční prostředí. Navíc druhá, třetí a čtvrtá metoda mají opět zatěžující vliv na životní prostředí [33].

Je zřejmé, že každá z uvedených metod má jak své výhody, tak i nevýhody. Vzhledem k cílům diplomové práce se však provedená patentová rešerše soustřeďuje pouze na problematiku mechanických principů uplatňovaných během matování povrchu skla.

## 1.3 Rešerše matovacích postupů se zaměřením na mechanické principy matování plochého skla

První stůl na mechanické opracování povrchu plochého skla byl vyvinut v roce 1824 [25]. Od té doby se objevila řada patentů s cílem další automatizace tohoto procesu. Historicky vzato patenty na obrábění plochého skla spadaly pod skupinu strojů na obrušování. V roce 1897 Phillip Semmer nabídnul stroj na matování a leštění plochého skla, který vypadal jako horizontální válec, dovnitř kterého bylo umístěno sklo, voda a vhodné brusivo. Mezi deskami skla byly brusné disky a rotací tohoto cylindru

docházelo k matování či leštění povrchu, což se v současné době nazývá lapování („**Improvements in and relating to Machines for Grinding and Polishing the Surfaces of Plate Glass, Marble, Stone Slabs, and the like**“, číslo patentu GBT189706873) [17]. V roce 1898 Fisher Frederick Ferdinand ve svém patentu se věnuje rotujícímu stolu pro matování nebo leštění skla („**Improvements in Machines for Grinding and Polishing Glass or other Material**“, číslo GBT189826648) [20]. Sklo mělo být položeno na tento stůl a třecí zařízení se pohybovalo podélně ke stolu. Patentem Williama Smitha z roku 1903 („**Improvements in Grinding Plate Glass and in Apparatus therefor**“, číslo GBD190322790) bylo zařízení na stejném principu rotujícího stolu, ale s dodáním pomocného stolu pro zvětšení variabilnosti velikosti výrobku [19]. Belgičan Georges Lardinois patentoval v roce 1907 stroj, kde bylo sklo opět upevněné na rotujícím stole a pro jeho opracování se používala rotující hlavice, na které bylo upevněno několik třecích desek [25].

Snaha o urychlení procesu obrábění skla směřovala vynálezce k vývoji strojů na současné opracování obou stran skla. V roce 1899 Mason Rash Welty a George Sparks Rumbaugh patentovali stroj, který umožňoval obroušení, matování nebo leštění obou stran plochého skla současně a slibovali, že při tomto opracování nebude docházet k šedým zónám na povrchu („**Mashine for grinding and polishing plate glass**“, číslo GBD189923503). V tomto stroji bylo sklo ve svislé poloze, stroj měl používat vyměnitelné disky v závislosti na tom, zda bylo v plánu matovat nebo leštit. Pro matování byly využívány disky s metalickým povrchem, jako abrazivo se používal písek s vodou [31]. Další patent („**Improvements in Machines for Grinding, Smoothing and Polishing glass**“, číslo GBD190119608) výrazně koreluje s předchozím v tom, že sklo bylo uspořádáno ve svislé poloze a bylo opracovávané z obou stran současně. Největší rozdíl je v dodání rámu na upevnění skla a v tom, že místo jednoho brusného disku z každé strany, bylo na každé straně více brusných zařízení [22]. Autoři tohoto vynálezu Maher Michael Merchey a Barner Robert popisují i jiné zařízení na matování plochého skla na základě svého předešlého vynálezu, které navíc mělo složitější pohyb a desky, ve kterých byly konické otvory pro upevnění brusiva („**Improvements in Machines for Grinding, Smoothing and Polishing glass**“, číslo GBD190119609) [21]. Na oboustranné matování skla je zaměřen i patent Imraye Olivera od roku 1905 („**Improvements in Apparatus for Grinding and Polishing Glass**“, číslo GBT190512110), avšak stroj byl schopen obrábět sklo i ve vodorovné poloze [18]. Od roku 1927 se objevují patenty na obrábění povrchu skla i na dopravníku. Stroj Platta Archieho obsahoval plst'ové válečky, kterými se sklo leštilo nebo matovalo. Válečky byly

uspořádané napříč k pohybu skla a mezi nimi byly umístěny nádoby, které se periodicky otevíraly a z otvorů bylo přiváděno brusivo. „Prostředky k broušení plochého skla“ („**Sheet-glass-abrading means**“, číslo US19260149018) [38]. Patent společnosti Tilghman Limited „Zlepšení stroje na pískování“ („**Improvements in or relating to blast etching machines**“, číslo GB19650008616) řešil matování skla pomocí pískování. Předmětem patentu byly prostředky:

- pro zajištění proudu vzduchu pod tlakem,
- pro řízené zavádění abrazivních částic do proudu vzduchu,
- pro směřování proudu obsahujícího abraziva proti obrobku po celé šířce obrobku,
- pro pohyb vzhledem k obrobku vyčnívajících prostředků,
- pro oddělení použitého brusiva od vzduchu a jeho recyklaci pro další použití [24].

V současnosti se pískovací stroje, kde je brusivo směřováno proudem vzduchu, často používají i pro domácí dílny. Příkladem je video z Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=60XzNpVA2cg&index=3&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdlYg4vf> [36].

Další patent společnosti Pilkington Limited „**Způsob výroby a zpracování skla, sklo leštěné tímto způsobem, a výrobní linka na výrobu plaveného skla**“ („Process for producing and treating glass, glass polished in this process and production line for producing float glass“, číslo CZ 9904450) řeší proces spíše obrácený procesu matování, je zmíněn z hlediska uspořádání kartáčů na výrobní lince, které by bylo vhodné uvažovat i pro účely matování. Tento způsob se vyznačuje použitím nejméně jedné otáčející se lešticí hlavy, která má osu otáčení rovnoběžnou s rovinou pásu a zároveň s příčnou osou pásu. Každá hlava je uspořádaná napříč šířky pásu přes jeden nebo oba okraje pásu a vratně se pohybuje podél příčné osy pásu, důsledkem čehož je opracování skla po celé šířce [35].

Patent italského vynálezce **Toncelliho Luca** „**Stroj na vyhlazování nebo leštění desek z kamenného materiálu, jako je přírodní a aglomerovaný kámen, keramika a sklo**“ („Machine for Smoothing or Polishing Slabs of Stone Material, Ceramic and Glass“, číslo WO2011064706) se zabývá procesem obrábění povrchů. Obecným úkolem tohoto vynálezu bylo poskytnout desky, které jsou vždy stejnoměrně vyleštěny bez šedých zón. Tento stroj obsahuje pracovní stůl pro uložení obráběných desek, přičemž nad stolem je uspořádaná alespoň jedna obráběcí stanice. Tato stanice se skládá:

- z minimálně jedné dvojice protilehlých mostových nosných konstrukcí uspořádaných příčně nad stolem,

- z prostředků pro vzájemný pohyb v podélném směru mezi stanicí a deskou na stole,
- alespoň jeden nosník, jehož dva konce jsou uloženy na mostových konstrukcích,
- alespoň jedno otočné vřeteno s posuvnou svislou osou namontované na alespoň jednom nosníku,
- na spodním konci vřetene je uspořádaná nejméně jedna podpěra pro nesení nástroje, otočná kolem osy otáčení vřetene,
- tato podpěra nese alespoň jeden abrazivní nástroj,
- přičemž alespoň jeden nosník je příčně pohyblivý na mostových konstrukcích pro střídavý pohyb dozadu a dopředu v příčném směru,
- alespoň jedna konstrukce pro nesení vřeten, otočná kolem svislé osy otáčení, je namontovaná na nosníku,
- alespoň jedno svisle posuvné vřeteno je namontováno na systému pro nesení vřeten v excentrické poloze vzhledem k ose otáčení systému pro nesení vřeten,
- podpěra pro nesení nástroje vykonává pohyb složený z otáčivého pohybu kolem osy otáčení vřetene, otáčivého pohybu kolem osy otáčení systému pro nesení vřeten a translačního pohybu v důsledku pohybu nosníku.

Prostředky pro vzájemný pohyb obsahují pás. Podpěry jsou uzpůsobené pro nesení abrazivního nástroje ve formě plochého kotouče nebo ve tvaru válečku. Velikost zrna na abrazivních nástrojích se zmenšuje ve směru pohybu desky [32].

Jeden z patentů společnosti GED integrated solutions „Systém a metoda opracování skla“ („**Glass treatment system and method**“, číslo US20050111146) předkládá stroj na matování plochého skla. Tento stroj má matující nástroj (rotující kolo) a vyhodnocovací nástroj. Programem se udává cesta rotujícího abrazivního nástroje, jejíž rychlost se reguluje v závislosti na velikosti kola a jeho opotřebení pomocí vyhodnocení dráhy nástroje. Vyhodnocovací nástroj se skládá ze stolu, na kterém je upevněné sklo a nástroj polohovací jednotky pro kontrolovaný pohyb matovací hlavice a vyhodnocovacího kontroléru, který koordinuje jejich pohyb [11].

Na rozdíl od předchozích patentů, vynález Williama Olivera Bailyho („**Improvements in Mills for Grinding and Polishing Glass**“, číslo GBD190626287) se týká konstrukčního řešení, které obsahuje široký metalický kotouč, který má axiální výklenky naplněné měkčím materiálem jako jsou dřevo, olovo, plst'. Rotací tohoto kotouče dojde k působení brusiva, což jsou písek a korund [23]. Další popis obráběcího nástroje přichází od Carla Zeisse v roce 1907 v patentu „Zlepšení nástroje na hrubé

broušení skla“ („**Improved Tool for Rough Grinding or Abrading Glass**“, číslo GBD190714126). Rotující disk s otvory, do kterých se umístí diamanty o minimální velikosti 1/15 mm (67 µm). V patentu autor zmínil možnost použití tohoto nástroje i k broušení předmětů z jiných materiálů, ale také i nákladnost tohoto nástroje [16]. V současné době se disky s diamantovými zrny používají i v menších dílnách, což lze vidět na videu z Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=5qO6KKP6qDw&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=27> [13]. Patent Isidore Ramboux „Brousící disk pro brousící sklářské stroje“ („**Abrading disk for glass-grinding machine**“, číslo US19060319178) umožňuje zlepšení pískování skla pomocí otvorů v litých discích, které zajistí aplikaci písku nebo ocelových kuliček do místa působení rotujících disků [1]. Dalším patentem, který je zaměřen na nový druh matovacích hlavic, je patent Johna R. Beliefa „Samostatně se chladící a čistící matovací nástroj“ („**Self-cooling non-loading abrading tool**“, číslo US19860877137). Součástí nástroje je matrice, která se hmotnostně skládá minimálně ze 75 % z polymerní pryskyřice (polymonochlorotrifluoroethylenu nebo polytetrafluoroethylenu), abrazivních částic, ze kterých 4 % je křemičitý písek. Zbytek může obsahovat diamanty, karborund, granát, oxid hlinitý nebo pemzu. Nástroj obsahuje vyztužující činidlo za účelem zvýšení tuhosti, v tomto případě skelný prášek, jehož hmotnostní podíl v matrici je 15-25 % [37]. Použití analogických nástrojů je možné shlédnout ve videu: [https://www.youtube.com/watch?v=0XKI666b\\_rM&index=22&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf](https://www.youtube.com/watch?v=0XKI666b_rM&index=22&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf) [7].

Brian D. Goers patentoval brusný článek k matování skla „Abrazivní článek vhodné k obrábění skla a skleněných výrobků“ („**Abrasive article suitable for abrading glass and ceramic glass workpieces**“, číslo US20010941971). Předmětem patentu je 39 položek popisujících vlastnosti abrazivního článku, například to jsou: Abrazivní článek je složen z podložky, na kterou je upevněn 3D abrazivní povlak, který se skládá z precizně tvarovaných diamantových částic o rozměru 6-100 µm, které mohou být ve tvaru krychle, bločků, válců, prizma apod. Objemový podíl diamantových částic obsažených v abrazivním článku je na úrovni 6 – 65%. Plnivo se skládá z meta-silikátového vápníku, hlinitého oxidu, uhličitanu vápenatého a křemíku. Podložka vyrobená z polymerní folie, která má spojovací vrstvu z polyethylenové akrylové kyseliny. Uvedeným článkem se pak pohybuje za přítomnosti maziva (20% glycerolu, minerální olej, minerální lihy, apod.) tak, aby bylo dosaženo požadovaného matovaného efektu [2].



Další patent od společnosti 3M „Abrazivní deska a metoda opracování skleněných, keramických a kovových výrobků“ („**Abrasive pad and method for abrading glass, ceramic, and metal materials**“, číslo JP20120158007) nabízí matovací nástroj ve tvaru desky. Základem této desky je podkladová vrstva, na kterou se upevňuje abrazivní vrstva. Tato vrstva zahrnuje:

- množství základních částí uspořádaných vzájemně odděleně na podkladovou vrstvu,
- zubaté špičky sloupcového nebo komolého tvaru uspořádané navzájem odděleně na základních částech.

Povrch základní části je 30 mm<sup>2</sup> – 400 mm<sup>2</sup>. Podkladová vrstva, vyrobená z flexibilního materiálu, se aplikuje na povrch základní části. Poměr stran špiček může být 0.2:10. Matovací metoda spočívá v uskutečnění tření mezi diskem a upevněným sklem [3].

Patent, který se nazývá „**Způsob matování skla**“ („Glass Frosting Method“, číslo WO9514552) se zabývá metodou, při které je povrch skla zdrsňen tlakovým proudem abrazivních částic. Poté se skleněné částice odstraní z povrchu skla ponořením skla do vody a vystavením ultrazvukové tlakové vlně s dostatečnou silou, aby způsobila kavitaci v oblasti uvedeného povrchu. Autorem této metody je Horlaville Gerard [9].

Jeden z patentů japonských vynálezců Yuuziho Ita a Hiroshi Kawaie, který se nazývá „**Metoda výroby matovaného skleněného výrobku**“ („Method for Producing Frost Glass Product“, číslo US 2002-0164933 A1), nabízí toto řešení:

Při pískování se používá brusný prášek a druhým krokem opracování je leštění povrchu kartáčem, čímž se současně dosáhne vizuálního a dotykového dojmu stejného chemickému, navíc řeší bezpečnost práce a šetří životní prostředí.

Patent spočívá ve vytváření drsnosti povrchu skla v rozmezí 0,4 – 1,2 µm pomocí pískování s použitím brusiva o velikosti zrna menšího 200 M (60-100 µm). Následuje kartáčování a mytí pískovaného povrchu vodou o doporučené teplotě 50 °C, buď postupně nebo současně. Jako brusivo se používají zrna oxidu hlinitého nebo karbidu křemičitého o velikosti 400 M – 500 M (10 – 45 µm). Součástí patentu je kartáčování kartáčem s nylonovými vlákny, do kterých by byla vsazena zrna brusiva o velikosti 320 M – 500 M (10 – 60 µm).

Detailní popis vynálezu zahrnuje výběr optimální drsnosti od 0,4 µm na základě toho, že při menší drsnosti zbývá průhlednost skla taková, při které nelze hovořit o matném povrchu, ale při drsnosti větší 1,2 µm dotyk povrchu ztrácí svou „příjemnost“ a

také výrazně klesá možnost nanesení filmu. Poté autoři vynálezu řeší abrazivní materiál. Podle Yuuziho Ita a Hiroshi Kawaie lze pro tento účel používat jakýkoliv materiál, který je schopen matovat sklo. V prvním pokusu se jedná o pískování při tlaku vzduchu  $3,5 \text{ kg/cm}^2$  se 7 vzorky materiálů: oxid hlinitý 220 M (100  $\mu\text{m}$ ) a 400 M (40  $\mu\text{m}$ ), skleněný prášek 300 M (60  $\mu\text{m}$ ) a 400 M (40  $\mu\text{m}$ ), karbid křemíku 220 M (100  $\mu\text{m}$ ) a 400 M (40  $\mu\text{m}$ ) a kov 400 M (40  $\mu\text{m}$ ). Průměrný výsledek nejbližší chemickému prokázal oxid hlinitý o velikosti zrn 400 M (40  $\mu\text{m}$ ). Pak byly vzorky s nejlepším matem použity pro druhý krok opracování s cílem zbavit se bělavého vzhledu a zpříjemnit dotykové vlastnosti. Toho bylo nejlépe dosaženo nylonovým kartáčem s velikostí zrn 500M (35  $\mu\text{m}$ ). Při vodorovném kartáčování bylo dosaženo drsnosti  $R_a=0,74 \text{ }\mu\text{m}$  a při svislém  $R_a=0,71 \text{ }\mu\text{m}$ , přičemž kartáčování probíhalo za sucha a povrch byl umyt vodou až později. Další výsledky sice měly větší drsnost, ale stále vyhovovaly intervalu 0,4 – 1.2  $\mu\text{m}$ : opracování nylonovým kartáčem bez zrn – 0,78  $\mu\text{m}$ , opracování nylonovým kartáčem se zrny 320 M (0,85  $\mu\text{m}$ ). Vzorky čištěné ultrazvukem nebo umyté alkáliemi měly vhodnou drsnost, ale nezachovaly si příjemné dotykové vlastnosti. Bohužel v patentu není definována rychlost otáčení kartáče a délka působení kartáče na povrch, hustota a velikost vláken, ani hustota zrn, také není zvolené zanoření (hloubka řezu) vláken a množství vody [33].

Patentem, který na rozdíl od patentu Yuuziho Ita a Hiroshi Kawaie, patentujícího velikost zrn, řeší materiál zrn, je **patent Vlastimila Čapky „Způsob úpravy povrchu plochého skla a zařízení k provádění tohoto způsobu“** („Method of Modifying Flat Glass Surface and Apparatus for Carrying Out the Method“, číslo US2012108148). Tento patent popisuje úpravu povrchu plochého skla působením brusnými zrny syntetického diamantu zabudovaného ve hmotě plastových vláken rotujícího kartáče. Stejně jako v předchozím patentu se jedná o dvoustupňovou úpravu povrchu. Sklo se matuje kartáči s hrubšími zrny syntetického diamantu, poté dobrušuje kartáči s jemnějšími zrny. Kartáči lze upravovat i již pískované sklo. Zařízení na úpravu povrchu plochého skla je tvořeno nejméně jedním rotujícím kartáčem, který je pojezdově nebo pevně uložen nad upravovanou skleněnou tabulí. Kartáč je opatřen plastovými brusnými vlákny se zabudovanými brusnými zrny syntetického diamantu. Díky charakteru kontaktu brusného zrna, dráze brusného zrna na skle a tvrdosti brusiva je povrch skla spíše broušený, nikoliv vytloukaný a roztříštěný. Lasturové lomy jsou orientované rovnoběžně s povrchem, který je pevný jako samotné sklo a nedrolivý. Kartáčování lze uskutečnit na skle o tloušťce od 3mm. Pro vytvoření obrázku je doporučené použití plastových vykrývacích folií a menší obvodové rychlosti. Příklady

uvedené v patentu popisují pokus o matování skla kartáčem pohybujícím se po tečně k rovině skla (osa kartáče paralelní ploše skla) s obvodovou rychlostí 20 m/s. Velikost zrn je 80 M (180  $\mu\text{m}$ ) a jejich koncentrace ve hmotě vlákna 24 %, vlákno má průměr 0,2 mm. Sklo se chladí vodou. Výsledkem jsou lasturové lomy o délce 0,02 mm (20  $\mu\text{m}$ ) a hloubce 0,005 mm (5  $\mu\text{m}$ ). Druhým krokem je matování stejným způsobem, ale zrnitost diamantu je 300 M (47  $\mu\text{m}$ ). Druhý pokus se vyznačuje pískováním korundem o zrnitosti 90 M (160  $\mu\text{m}$ ) v prvním kroku a následným kartáčováním s užitím zrnitosti 1500 M a koncentrací zrn 12%. Na rozdíl od předchozího patentu autor řeší konstrukční část provedení. Jsou 2 způsoby: první zařízení se vyznačuje kombinací 2 druhů vláken v jednom kartáči, druhé zařízení dvěma po sobě jdoucími kartáči s různou zrnitostí. Sklo je upevněné pomocí vakuových přísavek nebo na posuvném pásu uloženém v kartáčovací stolici [44], [45].

Praktickou realizaci velice podobnou těmto patentům lze vidět na videu „Glas matting with Brushes. Mattieren von Glas mit Bürsten.“ z Youtube od společnosti Falkenrich GmbH, která je německým výrobcem kartáčů: <https://www.youtube.com/watch?v=jYkFst9Ncas&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=26> [6]. Doposud neuvedenou metodu matování pomocí kmitavého pohybu lze vidět na videu z Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=d7KgZbLoPhA&index=29&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf> [12]. Sklo musí být v tom stroji 4 hodiny, aby se dosáhlo matovaného povrchu. Samozřejmě jsou i další způsoby mechanického matování plochého skla za domácích podmínek, jako například ruční matování karbidem křemíku: [https://www.youtube.com/watch?v=lj5BA-WO\\_XE&index=12&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf](https://www.youtube.com/watch?v=lj5BA-WO_XE&index=12&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf) [4], nebo ruční matování diamantovým nástrojem: <https://www.youtube.com/watch?v=VQLJ69Lj2SE&index=13&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf> [15], tato výroba může být i velkosériová, pokud je potřeba vysoká přesnost obrázků a lidský faktor je nahrazen CNC: <https://www.youtube.com/watch?v=MLJcoPtGlbA&index=4&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf> [8]. Pokud se sklo matuje pískováním, chemickým leštěním nebo jiným způsobem, kde stroj na aplikaci abraziva nemá vysokou přesnost, je potřeba použít ochranu povrchu před obráběním. Příkladem je fólie na ochranu povrchu skla před pískováním: <https://www.youtube.com/watch?v=0XFhoAkqphM&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=1> [5].

Dál je v patentu №34985 „Způsob výroby rozmanitých matování na skleněné ploše“ z roku 1930 uvedeno, že na místech plochy, která byla stejnoměrně matovaná, například v pískovém dmychadle, a má obdržet odchylné matování za účelem vzorování, se nanese šablonou nebo bez šablony trvalá vrstva laku, jež činí matování na těchto místech průhlednějším než na místech lakem nepotažených a vyvolává takto vzorování skleněné plochy [46]. V současné době na tuto problematiku existuje řada dalších patentů, například od Nicholase J. Pollary, který ve svém patentu „Proces potisku skla“ („**Glass printing process**“, číslo US2003224108) řeší síťotisk s cílem vytváření průhledných oblastí na matovaném skle. Nárokem na patent je jednostranně matované sklo, na jehož povrchu se vytváří potiskem jakýkoliv předem zvolený či ve speciálním programu vytvořený obrázek, přičemž tloušťka takového potisku by měla být minimálně stejná jako hloubka matu a mít stejný lom světla jako obráběné sklo [10].

Příklad programu na vytváření obrázku na folie pro ochranu opracovaného skla: [https://www.youtube.com/watch?v=GooPI\\_KNd54&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdlYq4vf&index=9](https://www.youtube.com/watch?v=GooPI_KNd54&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdlYq4vf&index=9) [14].

V patentu belgických vynálezců Jacobse Nadiy a Symoense Bruna „Lokální matování skla“ („**Localised matting of glass**“, číslo EP20090163387) je označen způsob ochrany povrchu skla před pískováním nebo leptáním pomocí povlaku, který se nanese na povrch skla. Obrázek se vytváří prostřednictvím digitálního přístroje. Povlak obsahuje elektricky nabíjitelné složky (15-50 %) a ochranné prostředky (40-60 %) včetně parafinového vosku (5 %). Velikost částic povlaku je 5-15  $\mu\text{m}$  a tloušťka ochranného povlaku se pohybuje v intervalu 10-50  $\mu\text{m}$ . Ihned po aplikaci ochranného povlaku se sklo s tímto povlakem zahřeje na teplotu tání povlaku 60 až 120°C. Poté se výrobek opracuje pískováním nebo leštěním, po opracování se povlak odstraní teplou vodou [30].

## 2 Koncepční návrh systému pro realizaci plošných dezénů

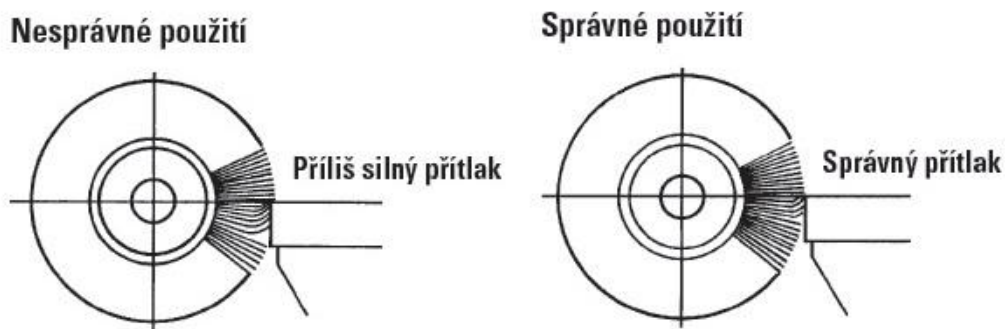
S užitím stávajícího řešení matovací hlavice instalované na průmyslový robot byla postupně navržena koncepční řešení systému pro realizaci plošných dezénů ve variantách.

### 2.1 Teorie kartáčování

Klasická technologie opracování povrchů pomocí kartáčových nástrojů je velmi rozšířenou a poměrně dlouhou dobu využívanou technologií.

Specifickou aplikací, která je nová svojí podstatou i použitým nástrojem, je vytváření matového povrchu na plochem skle. Tato nová technologie má potenciál nahradit v řadě aplikací klasické vytváření matového povrchu chemickou cestou s výraznou fluoridovou zátěží i mechanické matování pískováním. Zvládnutí této technologie a její efektivní provozní nasazení vyžaduje rozvíjet poznání v oblasti deformačních a tuhostních charakteristik jednotlivého vlákna a pracovního záběru kartáče na vlákenném povrchu.

Z obecného hlediska je důležitým kritériem pro práci s kartáči správný přítlak. Předpokládáný je lehký přítlak na kartáč, kde působí pouze špička kartáče na obrobek (viz obrázek 1). Zvýšený přítlak nezvyšuje efektivitu, ale snižuje životnost kartáče a požaduje vyšší brusný výkon.



**Obr. 1** Přítlak pro rotující kartáč

Dalším kritériem je minimální upínací průměr otvorů u radiálních kartáčů, který by podle DIN EN 1083 měl být minimálně 16 mm pro kartáč o průměru 200 mm [26], [28].

Optimalizovaných výsledků kartáčů při nedostatečném výkonu (nízké efektivitě brousícího procesu) lze dosáhnout zvýšením obvodové rychlosti prostřednictvím větších průměrů kartáčů nebo vyšších otáček (dodržet maximální otáčky), použitím kartáče s menším průměrem osazení, použitím kartáčů s větším průměrem vláken atd. V případě, že je účinek kartáče vysoký, lze naopak obvodovou rychlost snížit modifikací geometrie

kartáče nebo průměru vlákna. Pokud kartáč vytváří otřepy, je možné použít kartáče s menším průměrem osazení, prověřit pozici kartáče vzhledem k obrobku nebo použít širší kartáče či použít kartáč s větším průměrem drátu. V návodu ke kartáčům jsou vždy uvedeny maximální bezpečné otáčky pro bezpečný chod kartáčů. Důležité je v žádném případě nepřekračovat tyto hodnoty. Pro optimální výkon kartáčů jsou téměř vždy postačující menší otáčky. Pro kartáče o průměru 200 mm většinou stačí otáčky 3000-4000 za minutu, což odpovídá obvodové rychlosti v rozsahu 31,4 – 41,9 m/s [26], [28].

Optimální otáčky [34] lze stanovit podle vztahu

$$v = \frac{d * \pi * n}{1000 * 60}, \quad (1)$$

kde:

$v$  – obvodová rychlost v  $\text{m.s}^{-1}$ ,

$d$  – průměr kartáče v mm,

$n$  – otáčky kartáče za min.

## 2.2 Technické charakteristiky kartáčů

Existuje několik základních charakteristik kartáčů, což jsou:

- materiál vláken,
- způsob uspořádání vláken v kartáči,
- technologie osazování jednotlivých svazků vláken,
- geometrie kartáče,
- hustota kartáče.

Na základě provedené studie byl k výrobě matovacích kartáčů zvolen polyamid (PA6) o hustotě  $1,15 \text{ g/cm}^3$  a  $E=3200 \text{ MPa}$  s nasákavostí 3 – 6 % a schopností pracovat při teplotách  $-40^\circ\text{C}$  až  $+85^\circ\text{C}$ . Díky své tvrdosti, pevnosti, houževnatosti a nízkému koeficientu tření splňuje většinu požadavků kladených na rotační kartáče. Rovněž má příznivé elektroizolační vlastnosti a dobrou chemickou odolnost. Vzhledem k předpokládané úrovni zrnitosti (cca 80 M) syntetického diamantu byla jako výchozí hodnota zvolena 0,4 mm.

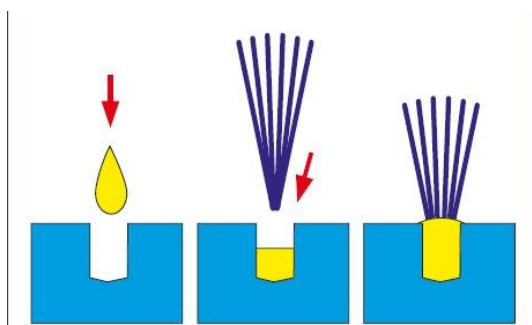
V současné době se jako nejvýhodnější jeví užití navrtaných kartáčů, které se vyrábí pomocí technologie osazování jednotlivých svazků vláken do předem vyvrtaných otvorů. Jejich největšími výhodami jsou:

- klasická, nejrozšířenější technologie výroby kartáčů,

- dostatečnou pevnost svazku vláken v kartáči,
- možnost dosažení stále relativně vysoké hustoty kartáče a zároveň velká variabilita rozmístění svazků vláken (do šroubovice, do zarovnaných řad, do přesazených řad, ...),
- pro vlastní výrobu kartáčů (k prodeji) je zde možnost výroby kartáčů ve formě modulů, tedy segmentů spojovaných cikcak systémem.

K základním nevýhodám patří nespojitě rozmístění vláken (ve svazcích) po povrchu kartáče.

Jelikož nejběžnější technologie zarážení, užívaná pro tento typ kartáčů, poškozuje drahý výrobní nástroj, jeví se jako optimální použít technologii lepení. Technologie lepených kartáčů známá jako technologie Blainstein: fixování vláken pomocí epoxidového lepidla. V první fázi je snopek vláken protažen kuželovou šablonou, ve které jsou konce vláken slepeny a slisovány dohromady. Ve druhé fázi jsou takto vzniklé svazky vlepeny speciálním epoxidovým lepidlem do připravených otvorů [29].

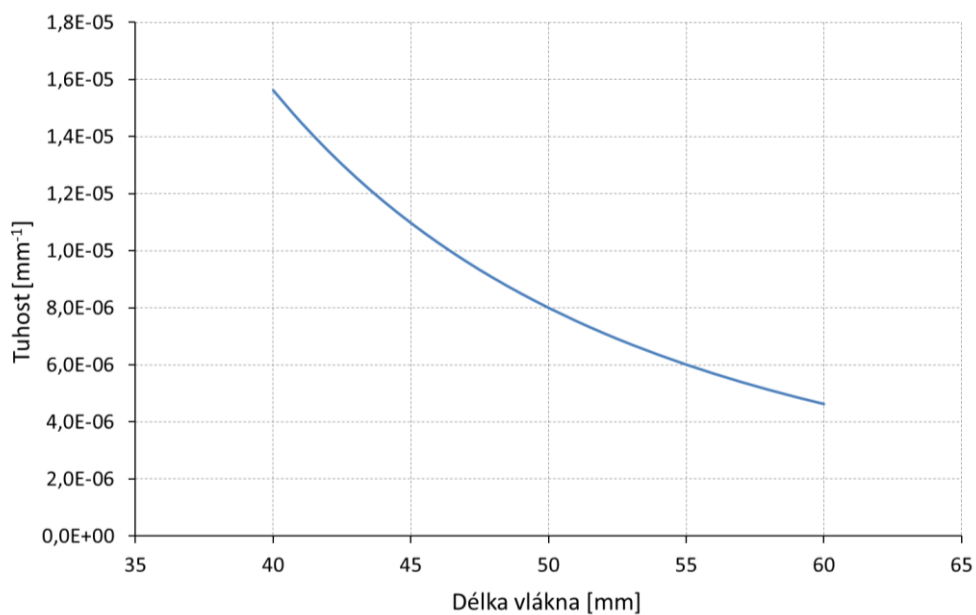


**Obr. 2** Lepení vláken

Pro odzkoušení technologie byly navrženy 4 kartáče válcového typu o vnějším průměru 200 mm:

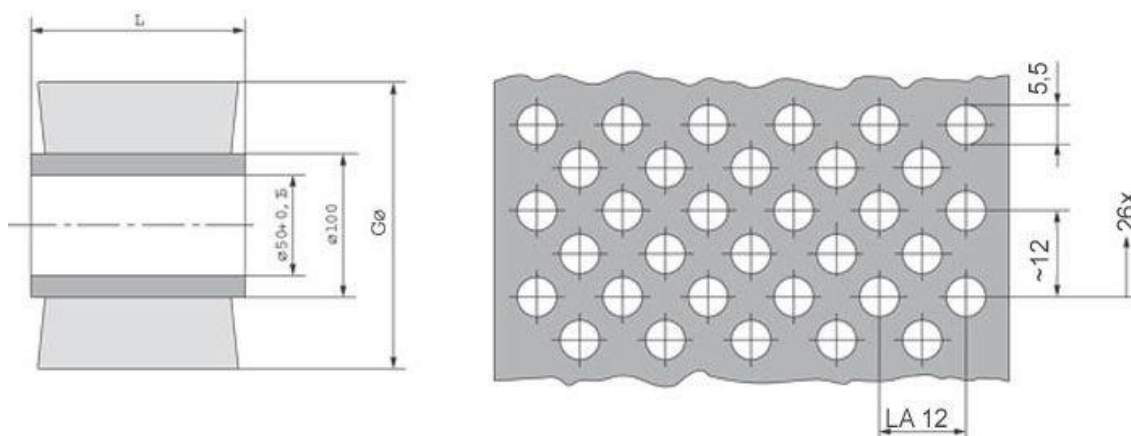
- dlouhý kartáč v délce cca 450 mm s délkou vláken 50 mm a zrnitostí 80 Mesh,
- krátký kartáč v délce 77,8 mm s délkou vláken 50 mm a zrnitostí 100 Mesh,
- krátký kartáč v délce 77,8 mm s délkou vláken 50 mm a zrnitostí 120 Mesh,
- krátký kartáč v délce 77,8 mm s délkou vláken 60 mm a zrnitostí 80 Mesh.

Samozřejmě, že vyšší délka vláken by byla žádoucí pro prodloužení životnosti kartáče, rovněž by bylo možné v případě komplikací s orováním další zastřížení. Bohužel prodlužování vlákna vede k razantnímu snížení tuhosti, jak je patrné z grafu na obr. 3.



**Obr. 3** Tuhost vlákna

Stávající kartáče vyrobené z jednoho kusu (pro finální výrobu je ale možné a vhodné užít segmenty). Rozložení svazků je provedeno v přesazených řadách s přesazením  $\frac{1}{2}$ .



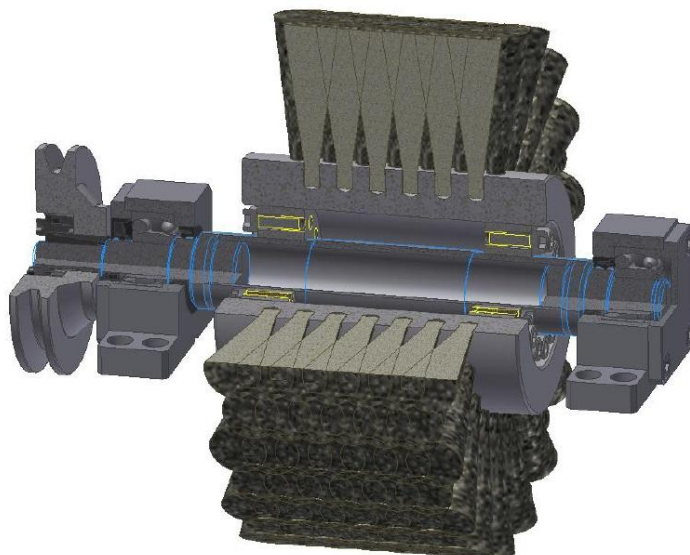
**Obr. 4** Rozložení svazků v přesazených řadách

Pro průměr jádra 100 mm dle kartáče s délkou vlákna 50 mm bylo z 3 možných stupňů zahuštění (maximálně hustý, hustý a řídký) aplikovaná hustá stupeň, což znamená, že průměr osazení stanoven na 5,5 mm, a rozteč na 12,5 mm. Počet vláken ve svazku pro tento kartáč je 80 vláken. Délka vlákna, bez orovnění: (volná délka + ukotvení): 50 + cca 8 = 58 mm. Při hmotnosti vlákna 0,2 g/m hmotnost svazku se odhaduje na 0,93 g/svazek. Počet svazků v řadě 6-7. Počet řad po obvodu kartáče je 36. Tím pádem celková počet svazků kartáče je 234 a celková hmotnost vláken je kolem 0,22 kg [42].

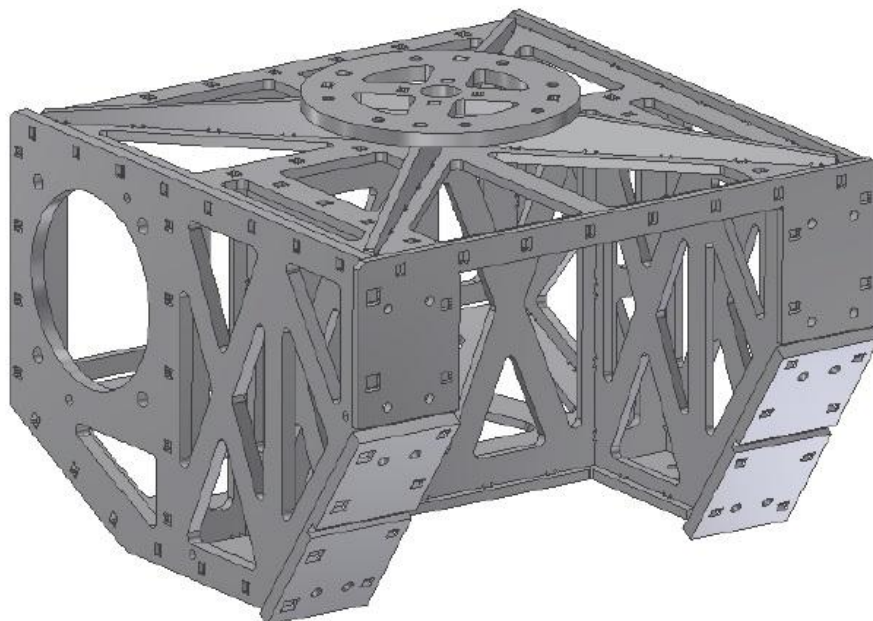


### 2.3 Stávající řešení technologické hlavice

Pro výzkum nové technologie mechanického matování skla byla navržena koncepce matovací technologické hlavice, jejíž konstrukční provedení je zřejmé z 3D modelu na obr. 5 a 6 [40], [41].



**Obr. 5** 3-D model nástroje



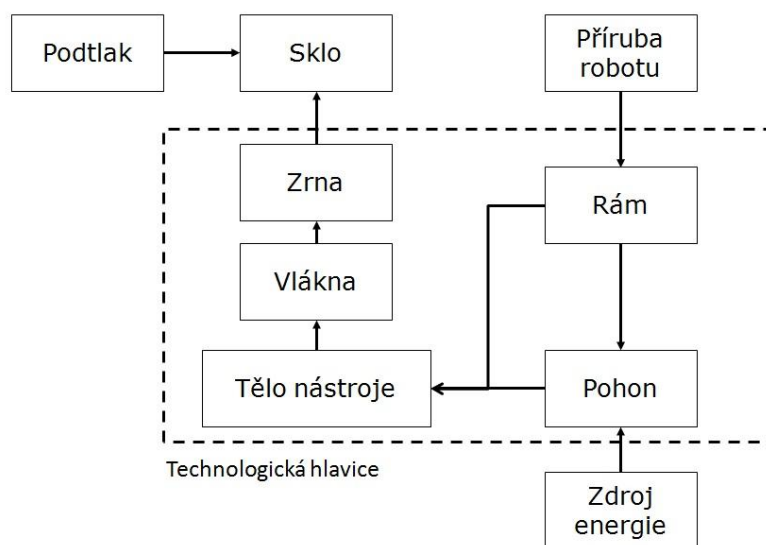
**Obr. 6** 3-D model rámu

Základ pracoviště tvoří průmyslový robot KUKA KR16, který je umístěn na podstavci. Matované sklo je upevněno pomocí podtlakové fixace na mokrém stole, navrženého za tímto účelem viz obr. 7 [27].



**Obr. 7** Experimentální pracoviště

Na obr. 8 je na základě metodiky TRIZ znázorněn funkční model principu řešení technologické hlavičky. Je definován technický systém (TS) zajišťující funkci vytváření plochých dezénů na povrchu plochého skla. TS se skládá z rámu, na kterém je upevněn pohon a nástroj, který je osazen vlákny matujícími povrch skla. Skleněný polotovár je upevněn na pracovním stole pomocí podtlaku, pohon rotačního kartáče je realizován s využitím elektrického servomotoru, který je ovládán digitálními výstupy z řídicího systému průmyslového robotu. Rám hlavičky je instalován na přírubu robotu. Důležitým subsystémem je chladicí okruh, který zajišťuje optimální chlazení povrchu skla v místě bezprostředního kontaktu s nástrojem. Seřizování množství chladicí kapaliny (vody) se děje pomocí škrticích ventilů.



**Obr. 8** Technický systém - princip matování povrchu plochého skla

## 2.4 Teoretické aspekty aplikace rotačních válcových kartáčů

Kapitola se věnuje teoretickému rozboru interakce vlákna a matovaného povrchu. Rozbor je proveden pro volnou délku vlákna 50 mm s akcentem na problematiku tuhosti kartáče. Výpočet je navíc realizován pro hloubku řezu 1,5 mm a předpokládá se, že ke kontaktu vlákna dochází na ideálně rovinném povrchu "obrobku". Obvodovou rychlost kartáče je možné definovat jako

$$v = \frac{d_K \cdot \pi \cdot n}{1000 \cdot 60} = 31,4 \text{ m/s.} \quad (2)$$

Kinetická energie vlákna délky  $l$  při rotaci úhlovou rychlostí  $\omega$  za předpokladu homogenního vlákna s průměrem  $d_F$ , majícího průřez  $S_F$

$$S_F = \frac{\pi}{4} d_F^2 \quad (3)$$

a měrnou hmotností  $\rho$  pro element vlákna bude dána vztahem

$$dW_K = \frac{1}{2} v^2 \cdot dm = \frac{1}{2} (r \cdot \omega)^2 \cdot S_F \cdot dr \cdot \rho, \quad (4)$$

následně po integraci pro vlákno pro zadané parametry  $d_F = 0,4 \text{ mm}$ ,  $\rho_{PA} = 1,15 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\omega = 314 \text{ rad/s}$ ,  $R = 0,1 \text{ m}$ ,  $r_n = 0,05 \text{ m}$  platí, že

$$W_{K_1} = \int_{(l)} dW_K = \frac{1}{2} \frac{\pi}{4} d_F^2 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot \int_{r_n}^R r^2 dr = \frac{\pi}{24} d_F^2 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (R^3 - r_n^3) = 2,07 \cdot 10^{-3} \text{ J.} \quad (5)$$

Z globálních charakteristik lze přibližně odhadnout intenzitu působení kartáče na matované sklo v přepočtu na 1 vlákno. Pro zaboření do hloubky  $\Delta_z = 1,5 \text{ mm}$  bude šíře záběru představovat cca  $20^\circ$ , což odpovídá

$$n_z = 13_{SV} \cdot 80 \text{ vláken/SV} = 1040 \cdot \xi = 884 \text{ vláknům v záběru.} \quad (6)$$

Pro zanoření  $\Delta_z = 1,5 \text{ mm}$  experimentálně stanovené  $M_W = 1,5 \text{ Nm}$ , a činný výkon

$$P_W = M_W \cdot \omega = 2,5 \cdot 314 = 471 \text{ W,} \quad (7)$$

$P_W = 471\text{W}$ , výkon přenášený jedním vláknem

$$P_1 = \frac{P_W}{n_z} = \frac{471}{884} = 0,5328 \text{ W/1 vlákno.} \quad (8)$$

Pro předpoklad  $F_Z = 56 \text{ N}$  přítlaku po dráze

$$s = 2R \cdot \sin \varphi_K \cdot \xi = 2 \cdot 0,1 \cdot \sin 9,936 \cdot 0,85 \doteq 30 \text{ mm} \quad (9)$$

je pak práce jednoho vlákna definována jako

$$A_1 = \mu \cdot \frac{F_Z}{n_z} \cdot s = 0,115 \cdot \frac{56}{884} \cdot 0,03 = 2,19 \cdot 10^{-4} \text{ J/vl} \quad (10)$$

a doba kontaktu

$$t_K = \frac{2\varphi_K \cdot \xi}{\omega} = \frac{2 \cdot 0,1413716 \cdot 0,85}{314,15926} = 9,4 \cdot 10^{-4} \text{ s.} \quad (11)$$

Poměr matovací (obráběcí) práce vůči kinetické energii vlákna (svazku kartáče)

$$H = \frac{A_1}{W_{K_1}} = \frac{2,19 \cdot 10^{-4}}{2,07 \cdot 10^{-3}} = 0,106 \text{ tj. cca } 10,6\%. \quad (12)$$

Rovněž může být zajímavé porovnat změnu otáček  $n_1 = 3000$  na  $n_2 = 2500 \text{ ot/min}$ , což odpovídá poměru  $H_1(n_1) = 0,106$ , resp.  $H_2(n_2) = 0,14$ .

Technologie má limitní charakter, tj. pokud není dosaženo limitního přebytku energie, není realizována matovací funkce. Následně je vhodné posoudit, zda při činnosti dojde k překročení Eulerovy kritické síly. Ze vztahu

$$F_{KR_1} = \frac{\pi^2 \cdot EJ_y}{l^2} \quad (13)$$

platného pro jednostranně vetknuté vlákno, pro  $E_{PA} = 3200 \text{ MPa}$ ,  $d_F = 0,4 \text{ mm}$ ,  $l = 50 \text{ mm}$  platí, že

$$F_{KR_1} = \frac{\pi^2 \cdot 3200 \cdot 1,256 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 50^2} = 3,96 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad (14)$$

pak pro  $n_Z = 884$  vláken v záběru bude výsledná hodnota

$$F_{KR} = n_Z \cdot F_{KR_1} = 884 \cdot 3,96 \cdot 10^{-3} \doteq 3,5 \text{ N} \quad (15)$$

což je síla cca 16x menší než skutečně experimentálně zjištěná hodnota. Je zřejmé, že výpočet nezahrnuje odstředivou sílu, která významným způsobem ovlivňuje výsledek. Odstředivá síla na jedno vlákno je

$$O_1 = m_{vl} \cdot R_T \cdot \omega^2, \quad (16)$$

kde udávaná délková hmotnost vlákna je  $\left(\frac{m}{L}\right) = 0,2 \text{ g/m}$ , pro  $l = 50 \text{ mm}$

$$m_{vl} = \left(\frac{m}{L}\right) \cdot l = 0,2 \cdot \frac{5}{100} = 0,01 \text{ g/vl}, \quad (17)$$

$$R_T = R - l/2 = 0,075 \text{ m}, \quad (18)$$

$$O_1 = m_{vl} \cdot R_T \cdot \omega^2 = 0,01 \cdot 10^{-3} \cdot 0,075 \cdot 314^2 = 0,074 \text{ N/vl}. \quad (19)$$

Pro odstředivou sílu vláken v záběru lze psát, že

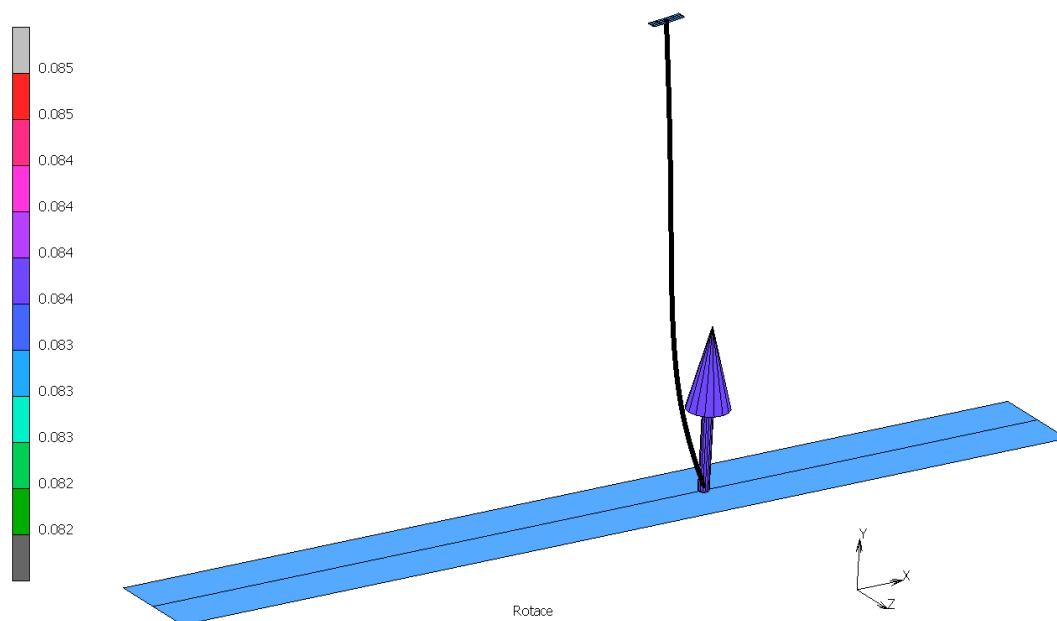
$$O_{ZAB} = O_1 \cdot n_Z = 0,074 \cdot 884 \doteq 65,4 \text{ N}. \quad (20)$$

Na každé deformované vlákno v záběru působí odstředivá síla, která působí do kontaktní plochy. Přibližně úhrnem  $n_Z = 884$  vláken působí odstředivou silou do záběru  $O_{ZAB} = 65,4 \text{ N}$ , pokud od této síly odečteme úhrnnou Eulerovu kritickou sílu na všechna vlákna v záběru  $F_{KR} = 3,5 \text{ N}$ , dostaneme kontaktní sílu

$$F_Z = O_{ZAB} - F_{KR} = 65,4 - 3,5 \doteq 61,9 \text{ N}, \quad (21)$$

což představuje překvapivě dobrou shodu s naměřenou hodnotou síly kolmou na osu kartáče  $F_Z = 56 \text{ N}$  [34].

Počítačová simulace deformace vlákna představuje analytické řešení interakce vlákna kartáče s povrchem matovaného skla. Reálné chování polyamidového vlákna bylo nahrazeno Mooney-Rivlinovým reologickým materiálovým modelem, který je charakterizován konstantami  $c_{10} = 426,6$  MPa a  $c_{01} = 106,6$  MPa, což odpovídá modulu pružnosti na úrovni 3200 MPa. Okrajové podmínky počítačového modelu byly nastaveny podle původně vypočtených parametrů, tj. pro úhlovou rychlost kartáče  $314 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ , průměr vlákna 0,4 mm a hloubku zanoření 1,5 mm je na obr. 9 znázorněna aktuální deformace vlákna a normálová kontaktní síla působící na hranici kontaktu, která je rovna cca 0,08 N.

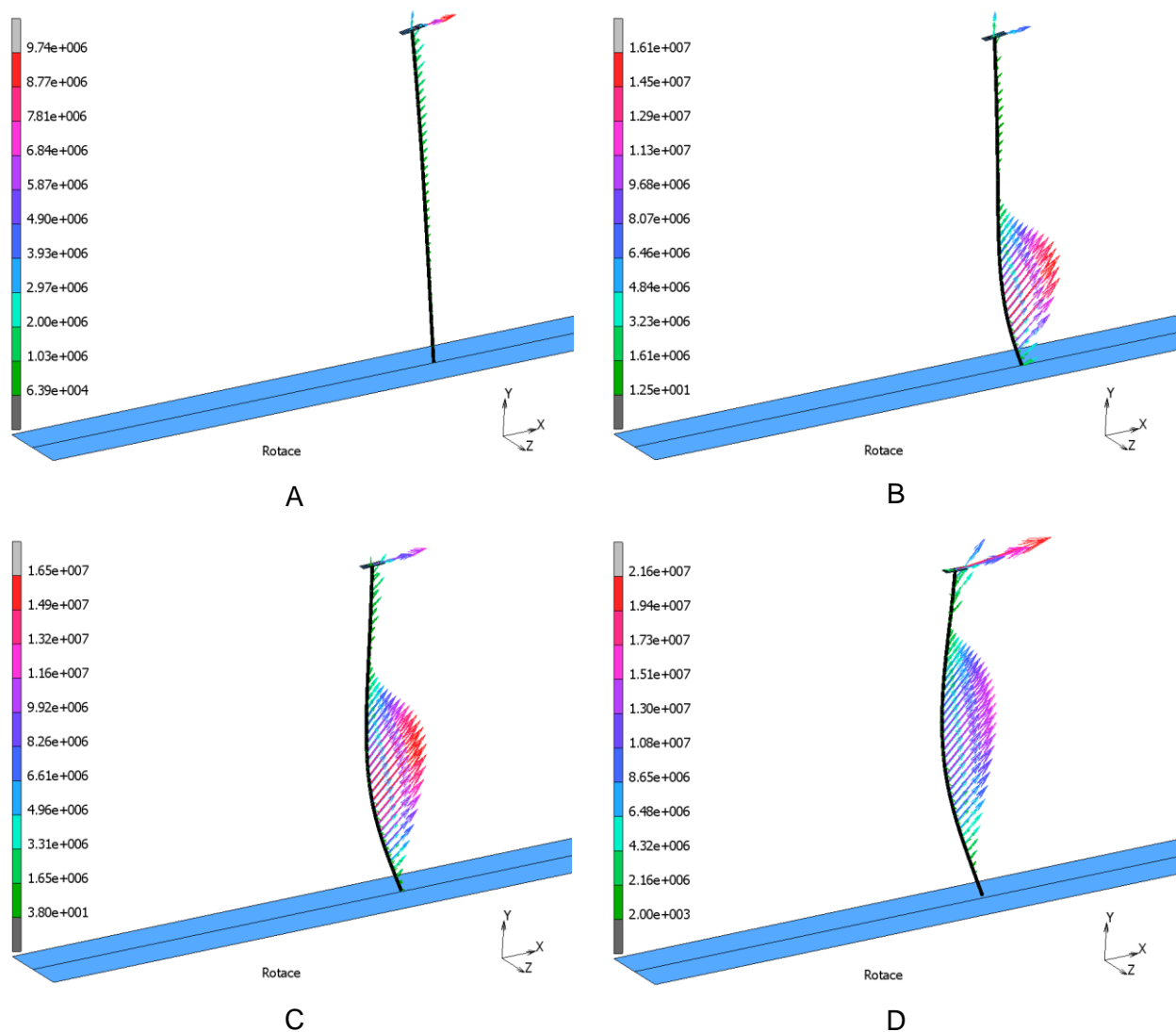


**Obr. 9** Kontaktní normálová síla ve fázi postupného kontaktu vlákna se sklem (fáze B), stupnice v [N]

Za předpokladu, že kontaktní sílu jednoho vlákna vyjádříme jako

$$F_{Z1} = O_1 - F_{KR1} = 0,074 - 0,00396 = 0,07 \text{ N}, \quad (22)$$

je zřejmé, že rozdíl mezi analyticky stanovenou hodnotou a výsledkem počítačové simulace je v řádech tisíců newtonů a bylo tak docíleno velmi dobré shody. Na obr. 10 jsou vidět deformace vlákna ve vztahu k aktuální poloze a průběhu napěťového pole.



**Obr. 10** Napětové pole a deformace vlákna rotačního kartáče (A – fáze prvotního kontaktu se sklem, B a C – postupný kontakt vlákna se sklem, D – výjezd vlákna z kontaktu), stupnice v [Pa]

## 2.5 Optimalizace základních procesních parametrů

Vzhledem k tomu, že vzhledové vlastnosti plošných dezénů jsou závislé na výsledné struktuře matovaného povrchu a geometrii (kvalitě) matovaného okraje, bude řešení problému rozděleno na dvě části: první část bude zaměřena na strukturu matovaného povrchu, která je závislá zejména na délce vláken a obvodové rychlosti kartáče, druhá část pak na geometrii matovaného okraje, protože vzhledem k požadavku na matování obrazců je nutno zajistit vytvoření ostrého rozhraní mezi přechodem z čiré plochy skla na matovanou a naopak.

### 2.5.1 Struktura matovaného povrchu

Za účelem zjištění optimální kombinace otáček, délky štětín a hloubky řezu (jejich zanoření do povrchu skla) byla pro dokonale matovaný povrch provedena řada experimentů s použitím zmíněného RTP. Během experimentu byly použity dva typy matovacích kartáčů o průměru 200 mm se zrnitostí 100 M o délce štětín 50 mm, a se zrnitostí 80 M s délkou štětín 60 mm. Rychlost pohybu hlavice vůči matovanému povrchu je 30% od maximální programované rychlosti 250 mm/s, což je 0,075 m/s. Povrch skla byl matován nejprve se zanořením kartáče o 1,5 a 2 mm s tím, že byly realizovány dva průchody, tj. dvěma přejezdy matovacího nástroje. Následně byl vytvořen matovaný povrch, který odpovídal hloubce řezu cca 2,5 mm proveden pouze jedním průjezdem nástroje. Výsledky experimentu jsou k dispozici na jednotlivých obrázcích uvedených v tab. 2.

Kvalita výsledného matu byla analyzována v laboratoři Robot Vision na Katedře sklářských strojů a robotiky kde bylo využito:

- průmyslové kamery Basler,
- objektivu Fujinon TV lens HF12.5SA-1.

Kamera byla umístěna ve vzdálenosti 325 mm nad povrchem skla, matované ploché sklo bylo osvětlováno červeným světlem pod úhlem 45°.


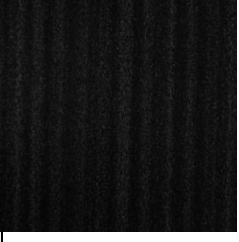
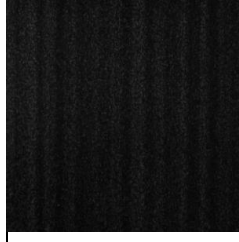



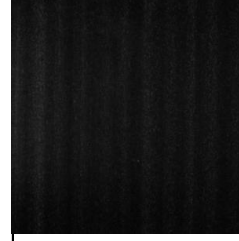



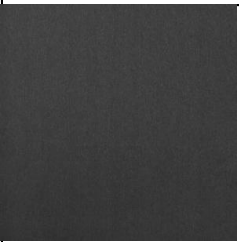
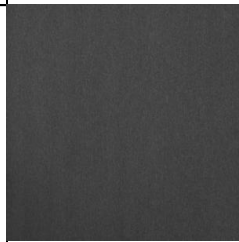
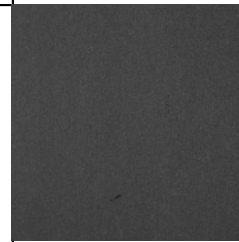
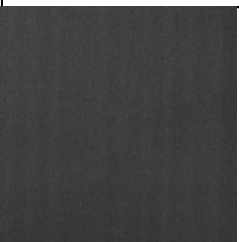

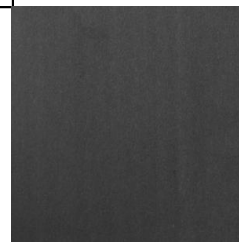

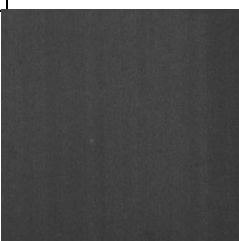
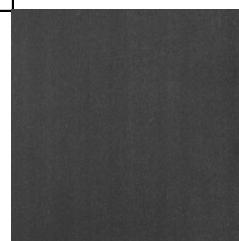



Z prvního kroku experimentu je zřejmé, že otáčky 2750-3000 za minutu jsou postačující pro vytváření hedvábného matovaného povrchu. Zanoření 1,5 - 2 mm je nejlepší variantou, která zajišťuje dostatečnou homogenitu (rovnoměrnost) matovaného povrchu a životnost kartáče.

Hloubka řezu 2,5 mm nepřinesla výraznou změnu optické jakosti povrchu oproti nižším hloubkám řezu, ale byla zdrojem nežádoucího vylamování jednotlivých vláken o délce cca 38 mm (původní volná délka 50 mm) matovacího kartáče.





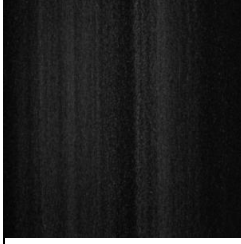

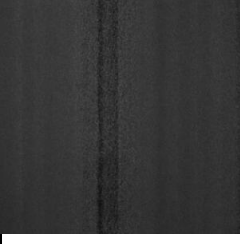
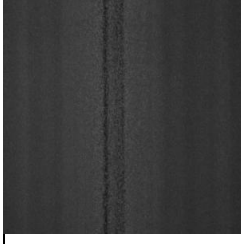
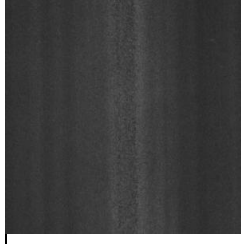

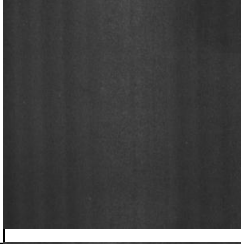
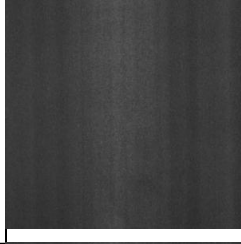
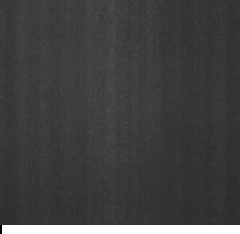


S ohledem na zvýšení životnosti kartáče se i přes problém snížení tuhosti vláken jeví jako perspektivní zvýšit volnou délku vláken vzhledem k tomu, že pro optimální funkci nástroje je nutné jeho periodické orovnávaní. Proto je dalším krokem experimentu zjištění optimálních otáček a hloubky zanoření do povrchu skla matovaného kartáčem o délce vláken 60 mm. Výsledky jsou zpracované za stejných podmínek jako v prvním kroku a jsou uvedené v tab. 3.



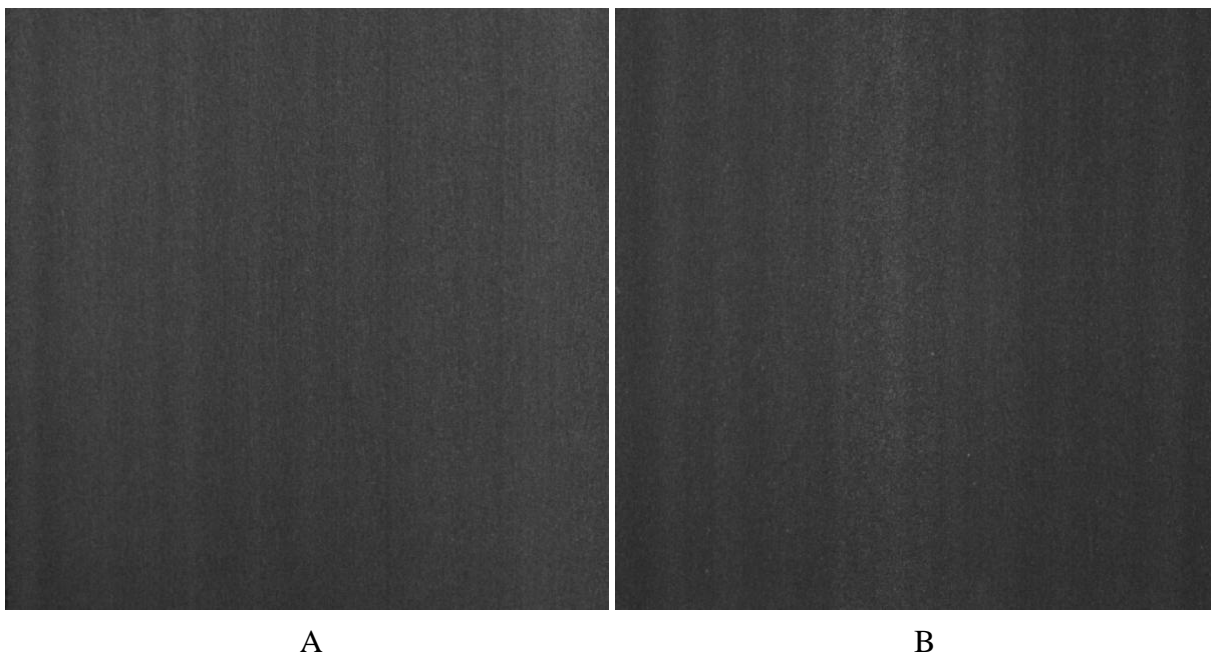
**Tab. 2** Výsledky matování plochého skla kartáčem o délce štětín 50 mm

 Hloubka řezu Otáčky/min	1,5 mm	2 mm	2,5 mm
1500			
1750			
2000			
2250			
2500			
2750			
3000			

**Tab. 3** Výsledky matování plochého skla kartáčem o délce štětín 60 mm

Hlubka řezu Otáčky/min	1,5 mm	2 mm	2,5 mm
3000			
3250			
3500			
3750			
4000			

Z těchto výsledků je patrné, že pro kartáč s delšími vlákny je potřeba používat vyšší otáčky motoru. Rovnoměrný mat zde byl dosažen při otáčkách motoru 3750 – 4000 za min. Je také vidět, že zanoření 1,5 – 2 mm je postačující pro vytváření matovaného povrchu. Další zvyšování hloubky řezu na např. 2,5 mm vede k tomu, že je zvýrazněna plocha pod střední částí kartáče.

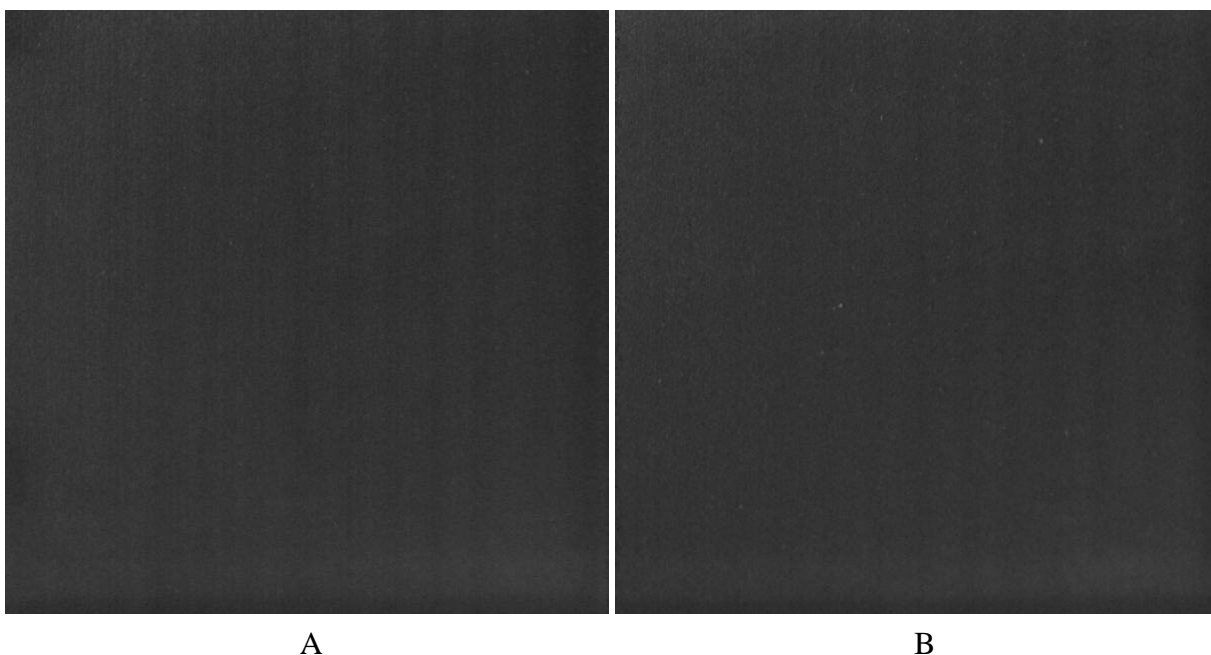


**Obr. 11** Porovnání matovaných povrchů: A – hloubka řezu 1,5 mm, délka vlákna 50 mm, 3000 otáčky za minutu; B - zanoření 1,5 mm, délka vlákna 60 mm, 4000 otáčky za minutu

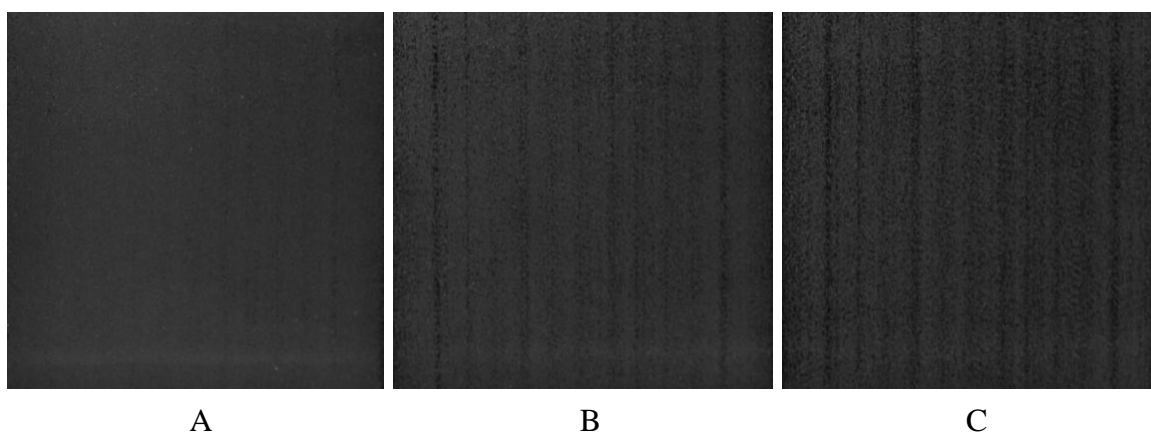
Na obr. 11 jsou uvedeny výsledky matování kartáčem o délce štětin 50 mm (A) a 60 mm (B) při optimálních otáčkách, doporučených výrobcem kartáčů, které zajišťují dostatečnou kvalitu matu při zvolené délce vlákna kartáče. U vzorku B se víc projevuje směrovost struktury, u vzorku A je povrch jemnější a rovnoměrnější. Přičemž jak je vidět z tab. 2 a 3, větší zanoření jen zvyšuje směrovost struktury v obou případech. Tím pádem nelze hovořit o stejné kvalitě matovaných povrchů při různé délce vlákna, případně je nutné měnit další podmínky matování tak, aby se umožnilo docílit stejného vzhledu matu. Bylo by pravděpodobně nutné upravit rychlost posuvu technologické hlavice vůči sklu, množství vody, hustotu a tloušťku vláken.

Vzhledem k tomu, že technologie matování skla kartáčem je určena ke komerčnímu nasazení, v rámci stávajícího řešení bylo vyzkoušeno 1x přejíždění kartáčem o délce vlákna 50 mm se zanořením 1,5 mm a 3000 otáček za minutu s různými rychlostmi posuvu technologické hlavici vůči sklu: 0,05 m/s, 0,1 m/s, 0,15 m/s, 0,2 m/s, 0,25 m/s. Vzorky matovaného skla byly analyzovány za stejných podmínek. Vzorky vytvořené při rychlosti 0,05 m/s a 0,1 m/s mají dostatečnou kvalitu matu viz obr. 12.

Při zvýšení rychlosti se více projevila pruhová struktura matu, která je důsledkem charakteru geometrie jednotlivých svazků vláken (osazení jádra kartáče svazky vláken), čímž se zvětšila průhlednost matovaného povrchu (viz obr. 13).



**Obr. 12** Vzorky mající kvalitní matovaný povrch, vytvořené při rychlosti posuvu: A - 0,05 m/s;  
B - 0,1 m/s

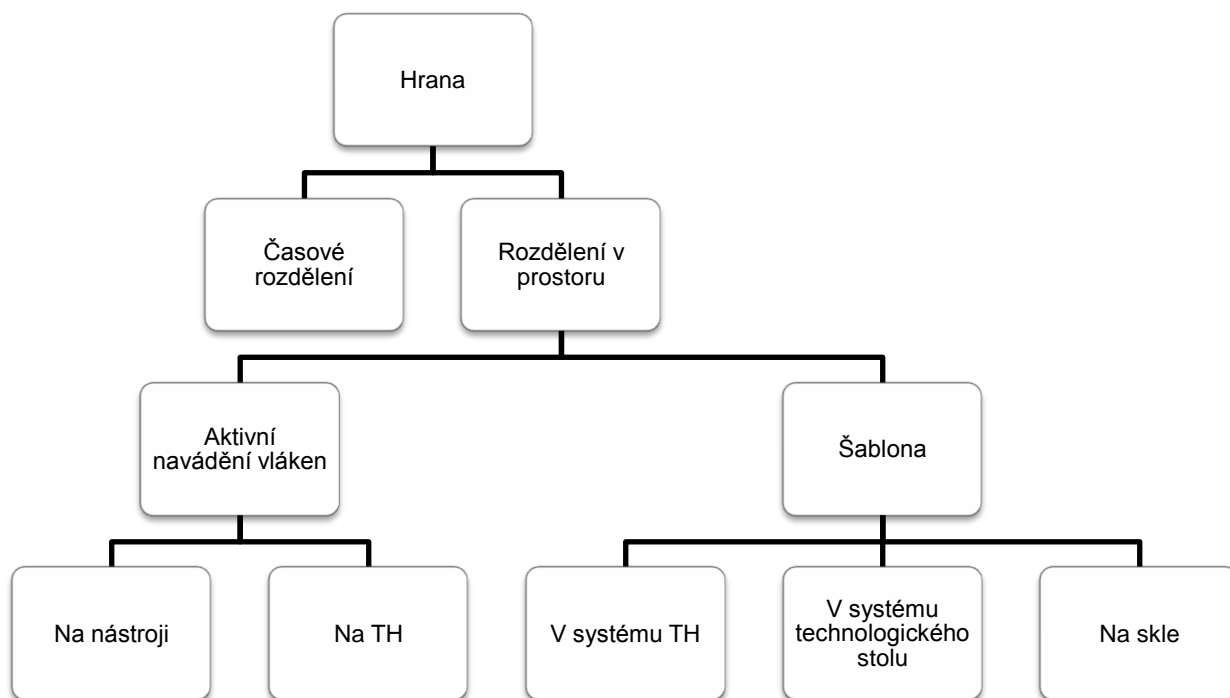


**Obr. 13** Vzorky s nedostatečně kvalitním povrchem, vytvořené při rychlosti posuvu: A - 0,15 m/s; B - 0,2 m/s, C - 0,25 m/s

Výsledkem kapitoly jsou optimální kombinace délky vláken, hloubky jejich zanoření, otáček kartáče a rychlosti posuvu technologické hlavice. Pro délku štětín kartáče 60 mm při hloubce zanoření 1,5 mm jsou optimální otáčky 3750 za minutu, a pro délku vlákna 50 mm je optimální zanoření 1,5 mm při 3000 otáčkách za minutu. Uvedené parametry odpovídají vizuálně nejlepší kvalitě matovaného povrchu a jsou předpokladem pro minimální namáhání vláken kartáče, což se bude projevovat uspokojivou dobou životnosti nástroje. Životnostní testy nástroje však zatím nebyly experimentálně testovány a budou předmětem dalšího výzkumu.

## 2.5.2 Geometrie matovaného okraje

Vytváření přesných hran pro plošné vzory lze realizovat několika způsoby, které lze rozdělit do skupin podle obr. 14.

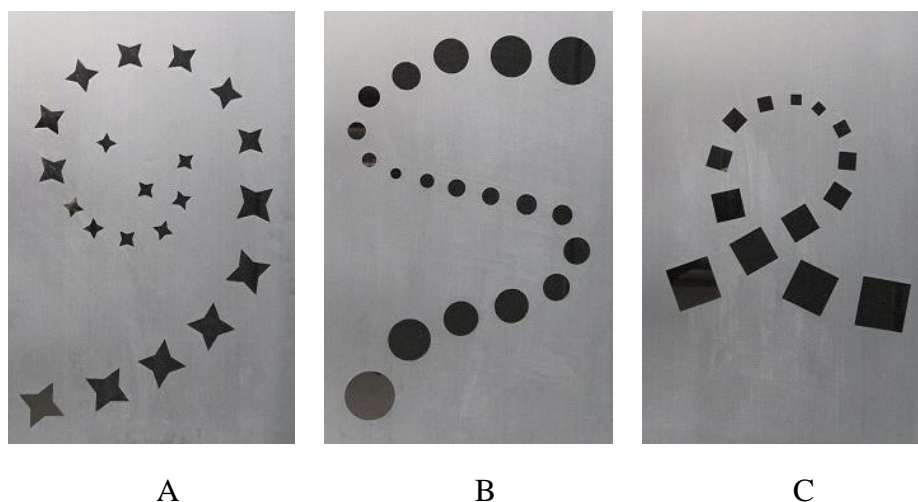


**Obr. 14** Způsoby vytváření ostré hrany dezénu na povrchu plochého skla

Princip časového rozdělení představuje vícestupňový proces výroby vzoru, ve kterém je nejprve kartáčem vytvořena základní struktura matu, která je postupně dále modifikována např. nanášením vhodných laků nebo barev pomocí inkjet technologie, kdy se na povrch skla aplikuje barva, čímž je vytvořen plně průhledný efekt. Tuto metodu by se dalo použít k vytváření celého obrazu nebo jen pro zaostření hran. K zaostření hran by se rovněž dalo využít i klasických DIA nástrojů, které se používají v procesech dekorativního broušení skla apod. Nevýhodou této metody je však využití dalších zařízení, které jsou patentově chráněné.

Metody založené na rozdělení aktivní plochy matovacího nástroje v prostoru představují aktivní ochranu matovaného vzorku skla před atakem vláken systémem statických nebo aktivních šablon. Šablony mohou být instalovány přímo do systému technologické hlavice nebo mohou být součástí upínacího technologického stolu, resp. mohou být aplikovány přímo na povrch skleněného polotovaru. Z pohledu automatické výroby mechanicky matovaného skla se jako výhodné jeví instalovat aktivní naváděcí systémy vláken nástroje přímo na rám technologické hlavice. Tyto systémy pak mohou

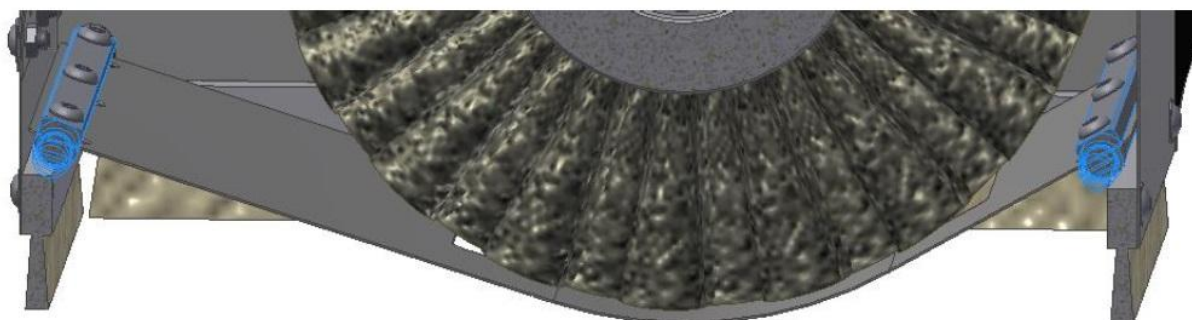
být realizovány buď velmi jednoduchými přípravky, nebo na druhou stranu složitými zařízeními, která by umožňovala např. automatické převíjení kovových šablon apod.



**Obr. 15** Vzory vytvořené polepením nerez plechů

Prvním koncepčním řešením, které již bylo odzkoušeno na Katedře sklářských strojů a robotiky, je chránící AL páska nebo nerez plech, který se lepí přímo na povrch skla. Největší výhodou tohoto řešení je variabilita obrázku, kterou lze jednoduše vytvořit polepením předem vyřezaných plechů v potřebném tvaru podle obr. 15 A-C. Mezi nevýhody patří pracnost a nestabilita adheze plechů ke sklu, což znamená, že nemůže být zaručena ani kvalita obrázku ani ostrost jeho hrany – během matovacího procesu může dojít ke strhnutí plechu (šablony). Na obr. 15 A je vidět, že šablona se neudržela v místě opracování kartáčem a tím pádem nebyl vytvořen plánovaný vzor a původně zamýšlený design povrchu skla není kompletní (došlo k odtržení jedné ze šablon).

Dalším koncepčním řešením, již realizovaným na Katedře sklářských strojů a robotiky, je ocelová plechová šablona (obr. 16).



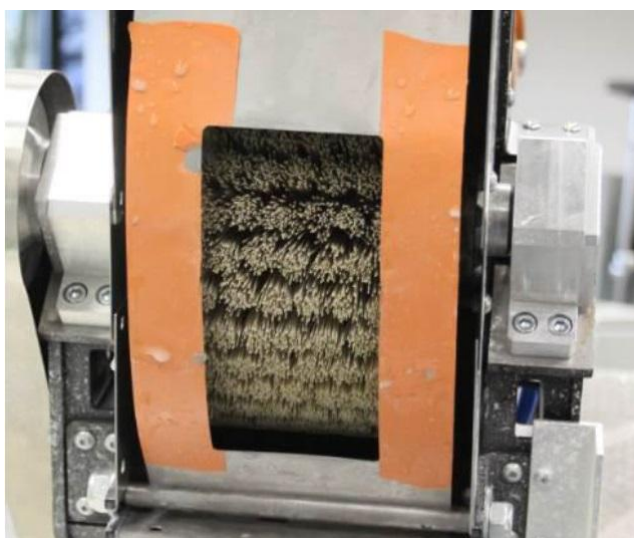
**Obr. 16** Plechová šablona na vyrábění matovaných pruhů na povrchu skla



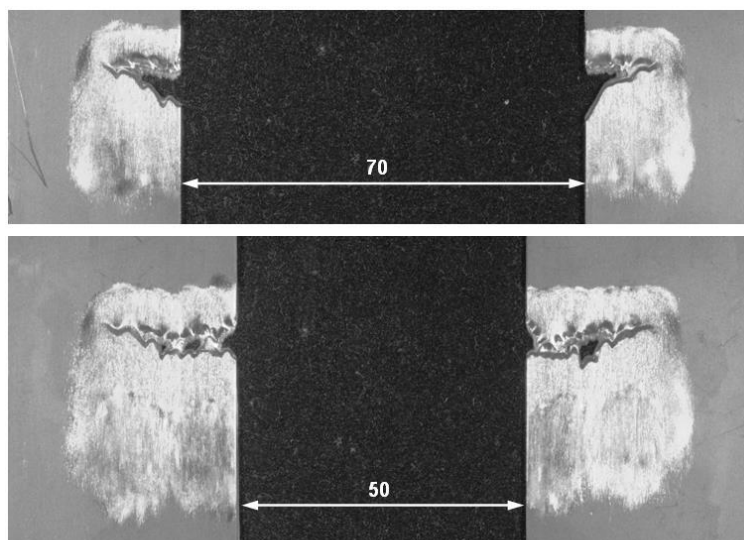
Šablona je upevněná na rámu technologické hlavice a z důvodu minimalizace poškrábání povrchu skla během technologického procesu bylo nutné šablonu opatřit plastovou páskou, která minimalizuje tření (obr. 17).

Systém upevnění na technologické hlavici dovoluje využít přítlaku hlavice pro docílení pevného kontaktu šablony a povrchu skla. Tímto způsobem je tedy možné realizovat vzory s pruhovou strukturou s tím, že šíře pruhu odpovídá výřezu v šabloně.

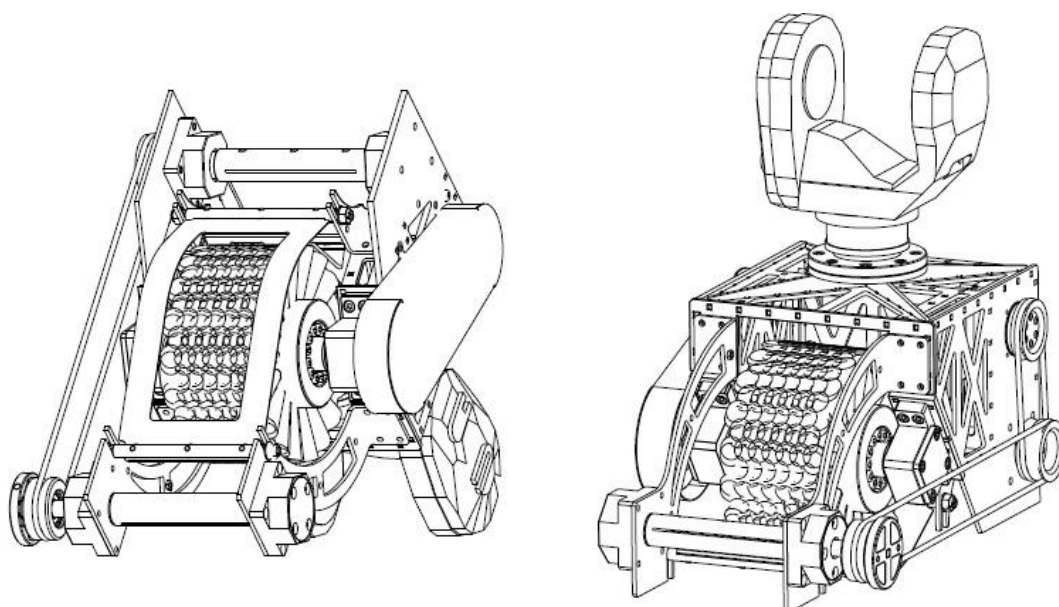
K výhodám této metody patří ostrost vytvořené hrany a jednoduchost provedení. Nevýhodou je rychlé opotřebení šablony (viz obr. 18), které by bylo možné vyřešit aktivním systémem pro posouvání šablony, který je k dispozici na obr. 19. Toto řešení by však bylo poměrně komplikované z toho důvodu, že jde o převíjení plechů nebo sviteků s poměrně značnou tloušťkou cca 0,4 mm, které se vyznačují značnou příčnou tuhostí.



**Obr. 17** Opatření plechové šablony plastovou páskou

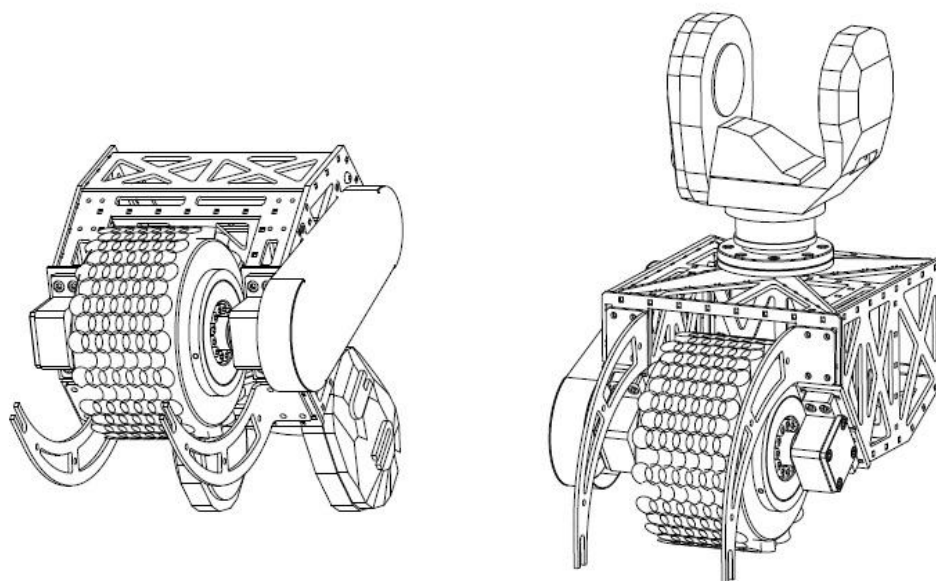


**Obr. 18** Opotřebení šablony působením diamantových zrn



**Obr. 19** Navíjecí systém pro plechovou šablonu

Další možností realizace pruhů různé šířky na povrchu plochého skla je využití systému navádění vláken, například disků zužujících oblast působení vláken (obr. 20).



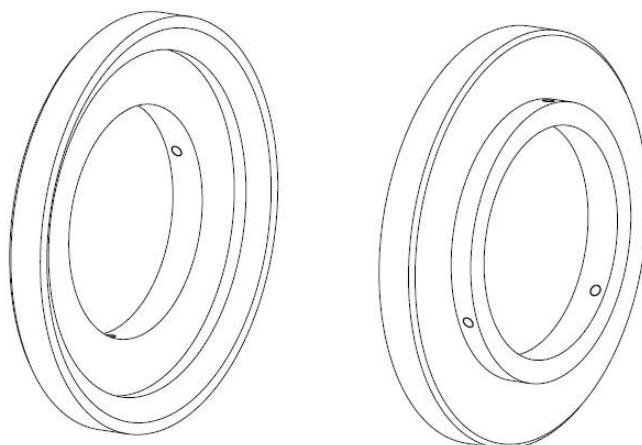
**Obr. 20** Technologická hlavice osazená dvojicí disků pro vytváření pruhů s ostrými hrany

Mezi největší výhody patří jednoduchost provedení podle obr. 21, nízká hmotnost a téměř žádné opotřebení kvůli tomu, že disky jsou nasazeny a zajištěny z boku vlastního kartáče (nástroje) přímo na jádru.

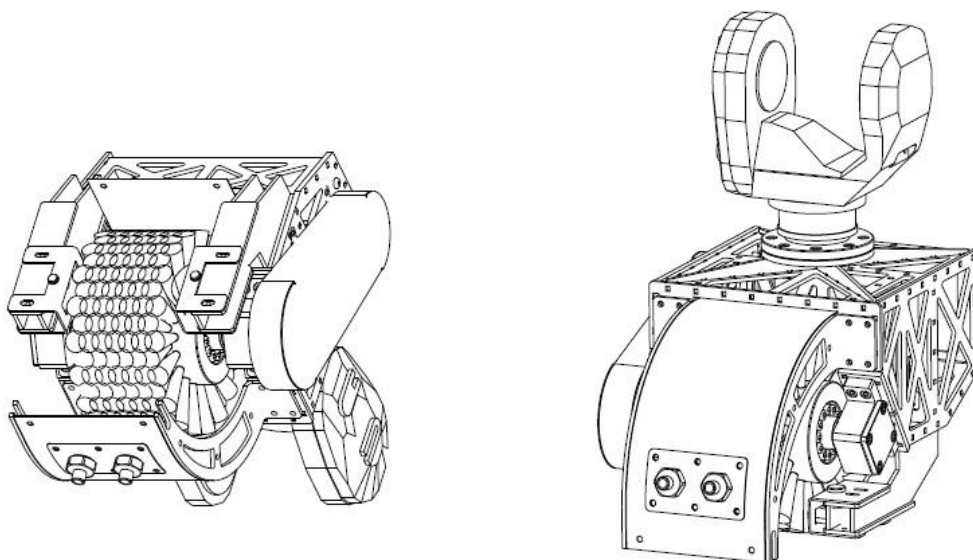
Nevýhodou je náročnost výměny, která vyžaduje demontáž hnacího systému hlavice a rotačního kartáče společně s jeho uložením. Další problém je v geometrii disku, kterou je nutné provozně testovat a na základě výsledků navrhnout optimální průměr disku vzhledem k průměru nástroje, který se však navíc mění v čase a je dán



mírou opotřebení vláken. Nevhodný průměr disku pak způsobuje nedokonalou (neostrou) hranu vytvářeného vzoru.



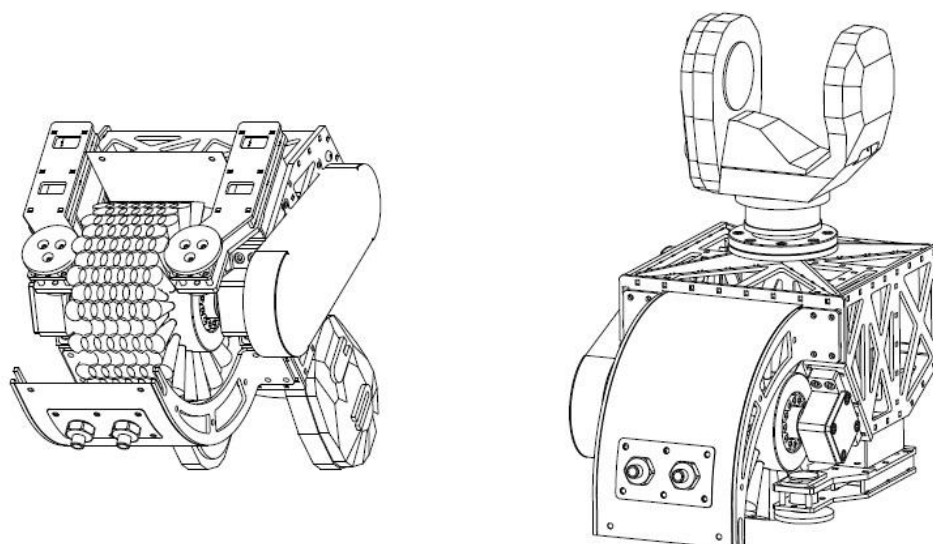
**Obr. 21** Dvojice disků



**Obr. 22** Válečky s možností regulace šířky pruhů

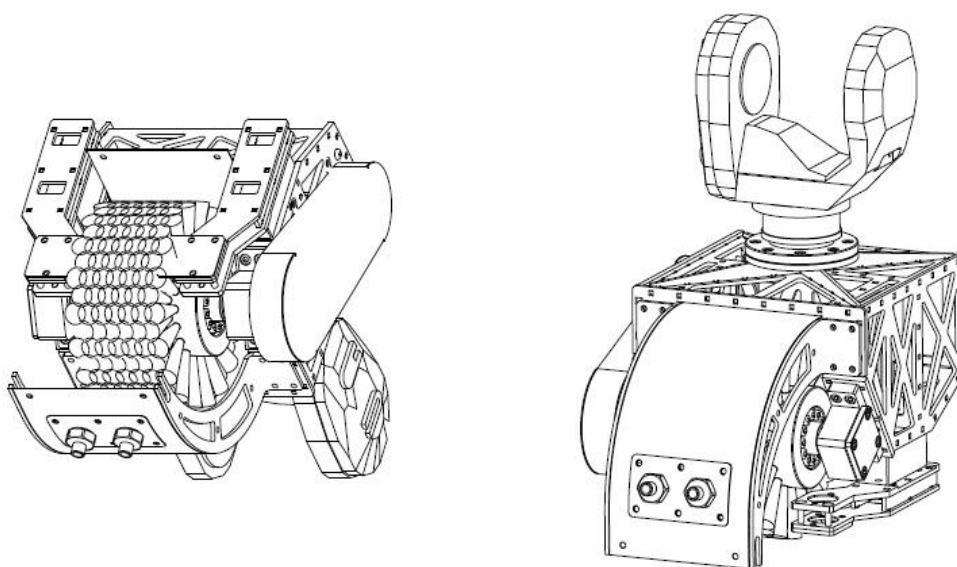
Jedna z dalších možností je řešení systému navádění štětin prostřednictvím rotujících válečků umístěných na okrajích kartáče (obr. 22). Rotací válečků je zajištěna minimalizace jejich opotřebení. Stejně jako u předchozí varianty by bylo nutné systém odzkoušet a navrhnout vhodnou geometrii, tj. polohu vodicích válečků oproti povrchu skla a vláknům matovacího kartáče.

Dalším vyskytujícím se problémem je přítomnost vodní mlhy a prašnost prostředí, ve kterém by měly válečky volně rotovat umístěné na ložiskách. Proto byla tato varianta upravená a nové provedení je vidět na obr. 23.



**Obr. 23** Vodící válečky uložené v utěsněných ložiskových domcích

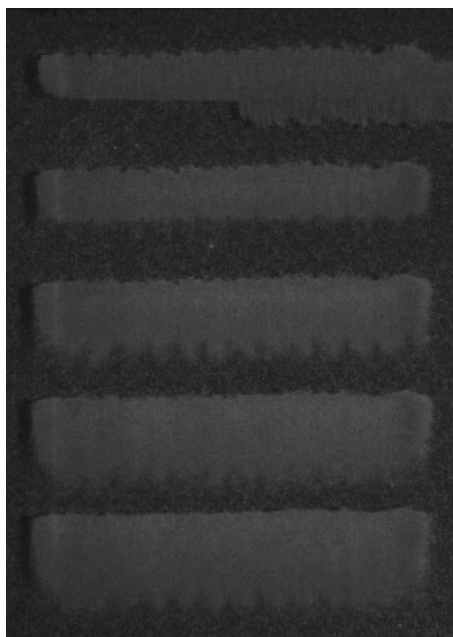
V této variantě jsou ložiska zabudovaná v utěsněném domku a tímto způsobem chráněná proti působení vody a prachu. Variantu s rotujícími válečky je možné alternativně upravit tak, že naváděcí válečky budou nahrazeny stabilními vodícími planžetami pro navádění vláken (viz obr. 24). Vzhledem k tomu, že bude docházet k rychlému opotřebování planžet, je nutné, aby byly planžety vyrobeny velmi jednoduchou technologií a byla umožněna velmi jednoduchá a rychlá výměna.



**Obr. 24** Planžeta, naváděcí vlákna

Při vývoji uvedených variant se experimentálně zjistilo, že osa kartáče není shodná s osou matovaného povrchu, a proto byla provedena série měření, pomocí které byl zjištěn posuv osy kartáčování oproti ose kartáče. Jak je vidět na obr. 25, oblast

matu se s ohledem na zanoření nástroje rozšiřuje a spolu se zvětšením oblasti matu se zvětšuje i posuv osy kartáčování oproti ose kartáče. Výsledky jsou uvedené v tab. 4.



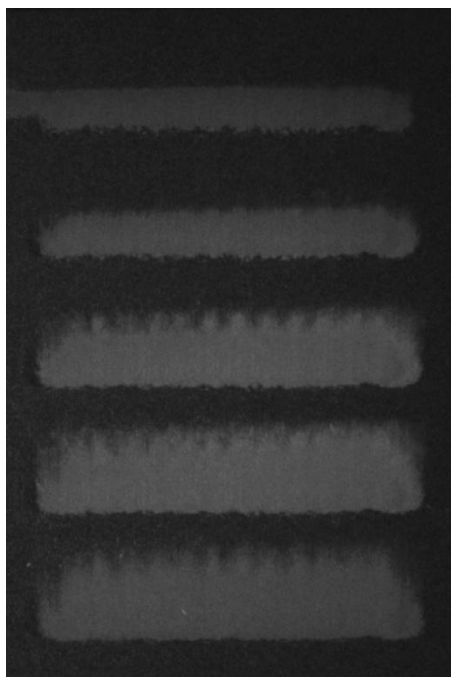
**Obr. 25** Stopy kartáče po 30 mm, zanoření shora dolů: 0,5 mm, 1mm, 1,5 mm, 2mm, 2,5mm. Kartáč rotuje směrem „nahoru“. Nulová poloha hlavice na obrázku je nahoře a shodná s okrajem obrázku

**Tab. 4** Výsledky série měření posunutí osy kartáčování oproti ose kartáče, směr rotace „nahoru“

$\Delta_z$ , [mm]	a, [mm]	b, [mm]	c, [mm]	d, [mm]	$\Delta_o$ , [mm]
0,5	11	23	17	20	3
1	39	53	46	50	4
1,5	66	84	75	80	5
2	95	115	105	110	5
2,5	122	144	133	140	7

Z naměřených hodnot  $\Delta_o$  je patrné, že osa kartáčování předbíhá osu kartáče o hodnotu zvětšující se s rostoucí hloubkou zanoření. To samé lze konstatovat i o opačném směru matování, což bylo ověřeno v druhém kroku experimentu.

Druhým krokem je provedení experimentu pro opačný směr otáčení, podmínky se liší tím, že v tomto případě je chladicí kapalina odváděna z místa kontaktu tím, že nástroj se otáčí proti stabilně zředu technologické hlavice umístěným tryskám. Tento jev má negativní vliv na úroveň chlazení.



**Obr. 26** Stopy kartáče po 30mm, zanoření shora dolů: 0,5 mm, 1mm, 1,5 mm, 2mm, 2,5mm. Kartáč rotuje směrem „dolů“. Nulová poloha hlavice na obrazci je nahoře a shodná s okrajem obrázku

Výsledky jsou uvedené v tab. 5.

**Tab. 5** Výsledky série měření posunutí osy kartáčování oproti ose kartáče, směr rotace „dolů“

$\Delta z$ , [mm]	a, [mm]	b, [mm]	c, [mm]	d, [mm]	$\Delta_o$ , [mm]
0,5	31	21	26	20	6
1	64	54	59	50	9
1,5	98	86	92	80	12
2	130	114	122	110	12
2,5	162	144	153	140	13

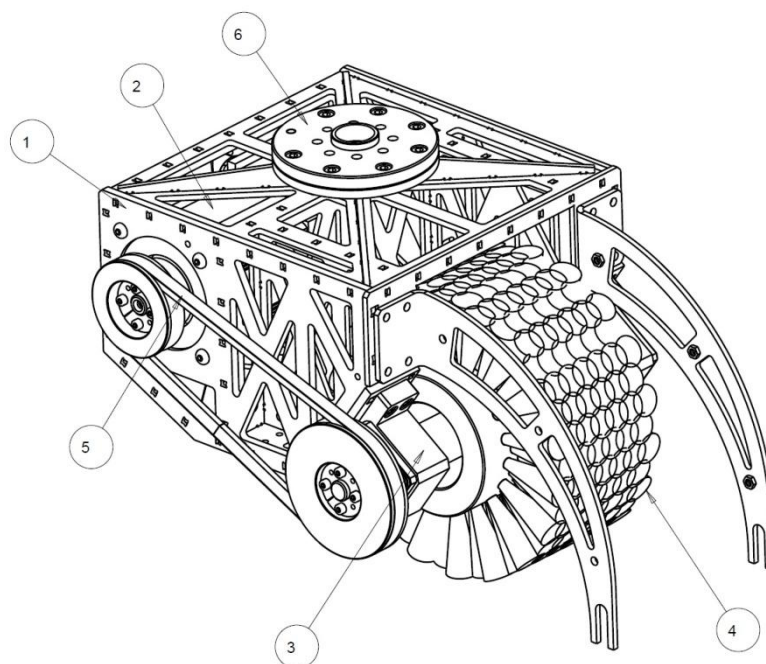
Naměřené hodnoty prokázaly nutnost regulovat polohu naváděcích válečků a kovových planžet podle směru otáčení kartáče.

### 3 Konstrukční řešení

Tato kapitola předkládá konstrukci systémů aktivního navádění vláken matovacího nástroje. V následující kapitole je popsáno konstrukční řešení vybraných variant. V první řadě je uveden stručný popis celé konstrukce technologické hlavice, dále je kapitola doplněna o přehled přiložené výkresové dokumentace, rozhodovací analýzu a výsledky provedených experimentů.

#### 3.1 Konstrukční řešení technologické hlavice

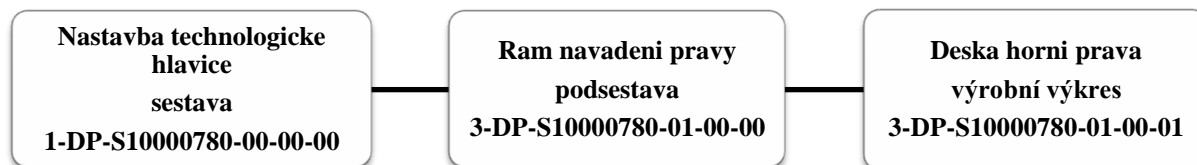
Technologická hlavice robotu KUKA KR 16 byla vyrobena s důrazem na kompaktní rozměry, nízkou hmotnost zařízení a symetrické rozložení hmot, tj. aby bylo docíleno výsledného těžiště poblíž vertikální osy příruby hlavice, jak předkládá obr. 27. Nosná konstrukce 1 se sestává z ocelových desek tloušťky 4, příp. 6 a 8 mm, které jsou sestaveny v jeden celek speciální zámkovou technologií se svary v místě zámků. Sestavením rámu byly vytvořeny dva základní prostory - kapsy. V zadní kapse, s volným přístupem zezadu, je umístěn pohon kartáče 2. V přední kapse, otevřené dopředu a zespoda, je uložen v ložiskových domcích 3 matovací kartáč 4. Spojení kartáče a pohonu je zajištěno řemenovým převodem 5. Rozmístění ocelových desek v konstrukci tvoří zároveň vnitřní výztuhy (žebrování) zařízení, na které je umístěna příruba hlavice 6. Kartáč i řemenový převod jsou zakrytovány.



**Obr. 27** Technologická hlavice

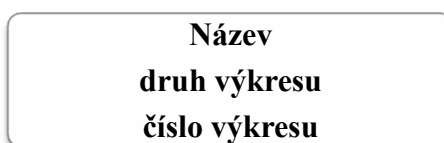
### 3.2 Schéma výkresové dokumentace

K návrhu systémů aktivního navádění vláken matovacího nástroje byla zpracována kompletní výkresová dokumentace. Následující schéma (obr. 28) předkládá systém vazeb mezi jednotlivými výkresy.



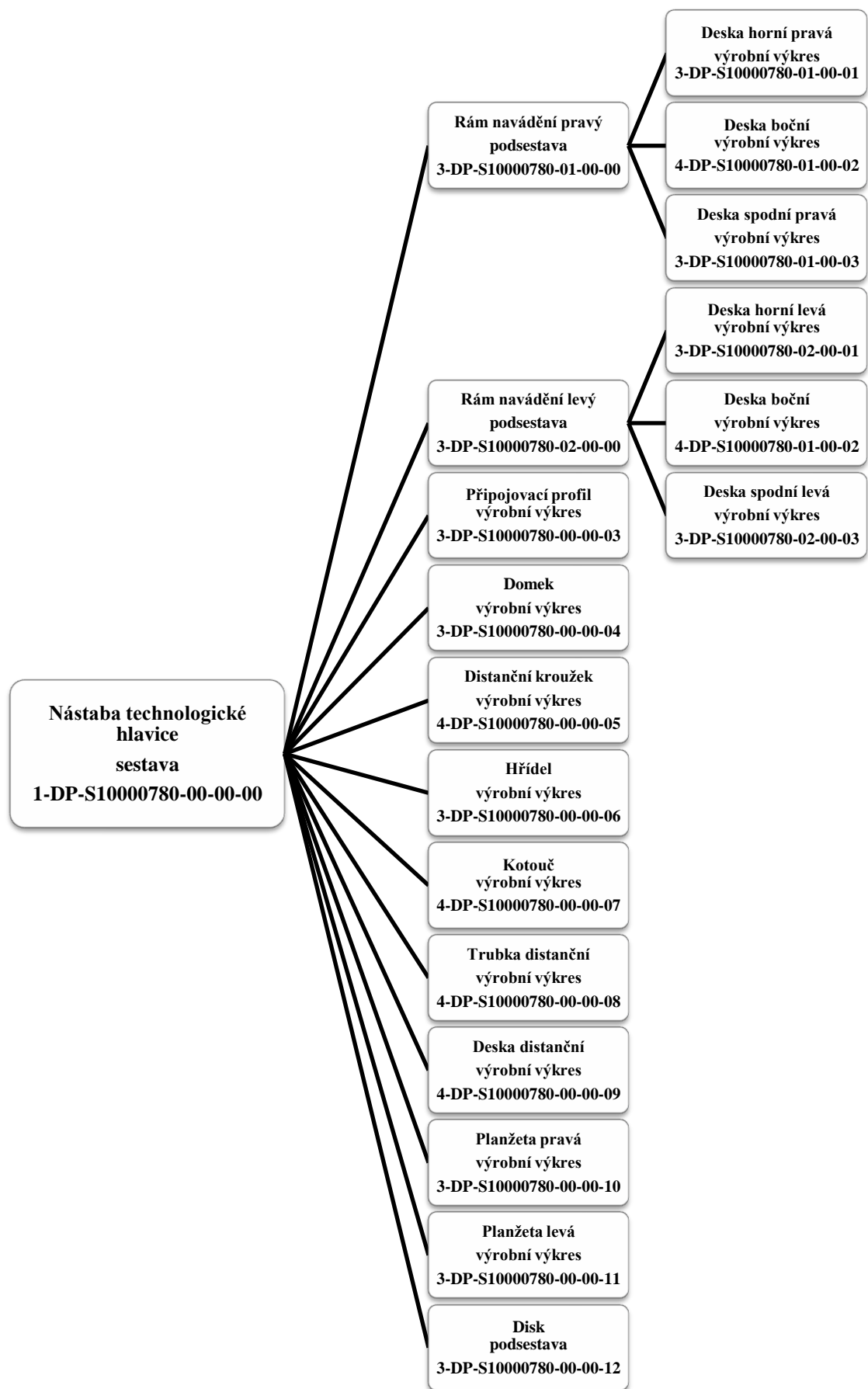
**Obr. 28** Schéma vazeb výkresové dokumentace

Základním výkresem je sestava Nástavba technologické hlavice, která je kompletním výkresem třech variantů navádění vláken, výkres podsestavy Rám navádění pravý je jednou částí výkresu Nástavba technologická hlavice a je vytvořen s ohledem na výrobu a sestavení této části. Výrobní výkres Deska horní pravá slouží k přímé výrobě jednotlivých komponent. Řazení ostatních výkresů je obdobné. Značka výkresu obsahuje jeho název, číslo výkresu a typ výkresu, jak je uvedeno na obr. 29.



**Obr. 29** Značka výkresu

Kompletní schéma výkresové dokumentace přiložené k této práci je na obr. 30. Dokumentace obsahuje sestavný výkres technologické hlavice. Celá dokumentace je doplněna o výkresy podsestav a výrobní výkresy.

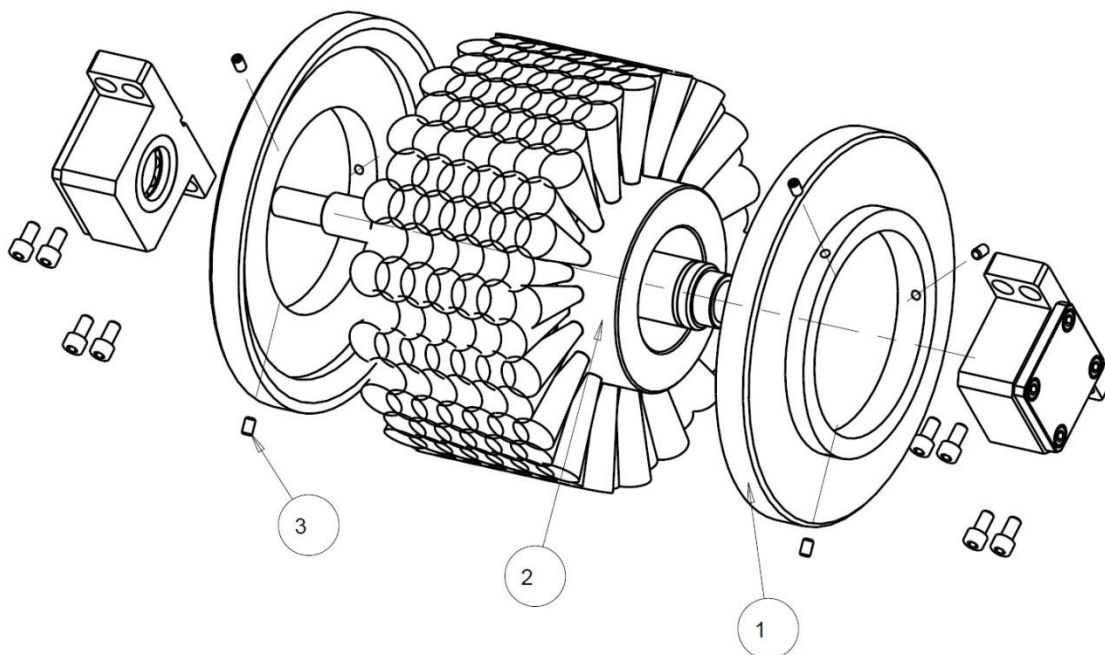


**Obr. 30** Schéma kompletní výkresové dokumentace

### 3.3 Konstrukce systémů aktivního navádění vláken matovacího zařízení

#### 3.3.1 Disk

Disk 1 byl navržen pro upevnění přímo na tělo matovacího kartáče 2 pomocí 3 stavěcích šroubů 3, rozmístěných po 120°. Za účelem vytváření pruhů s ostrými hrany na tělo kartáče se umístí 1 disk z každé strany podle obr. 31. Disk je vyrobený z duralu o průměru 190 mm, což je o 10 mm menší průměr než vnější průměr kartáče.

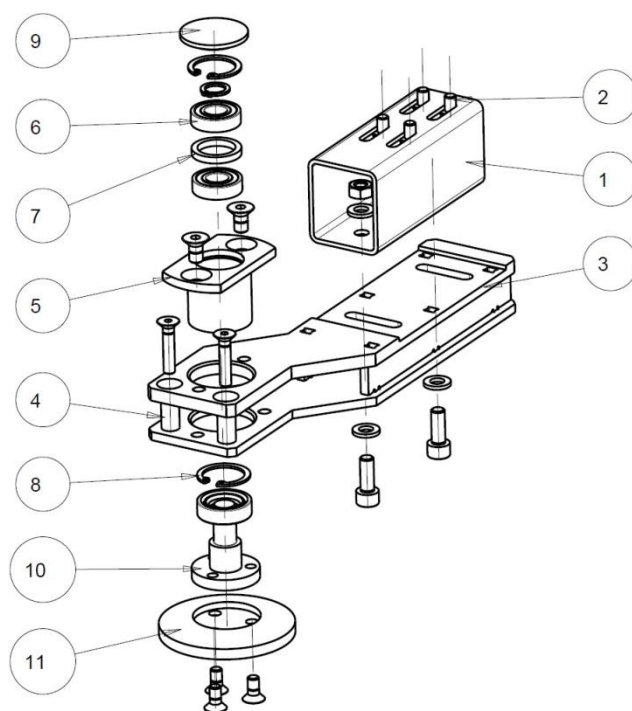


Obr. 31 Schéma matovacího kartáče s diskem

#### 3.3.2 Válečky

Naváděcí systém válečků (viz obr. 32) se skládá z jacklu 1, upevněného na rám technologické hlavičky pomocí šroubových spojů 2 tak, aby se umožnilo nastavení polohy válečků s ohledem na hloubku zanoření vláken kartáče, a to znamená i vůči ose kartáčování. Na jackl se upevní svařenec 3 z ocelových desek o tloušťce 4 mm prostřednictvím šroubových spojů tak, aby byla nastavitelná šířka matovaných pruhů. Tuhost svařence navíc zajišťují 2 spojovací distanční trubky 4 se šrouby. V ose kartáčování je na svařenec umístěn domek 5 se dvěma jednořadými kuličkovými ložisky 6, mezi které se vkládá distanční kroužek 7. Ložiska jsou upevněna pojistnými kroužky 8 a chráněna proti působení vody a prachu víčkem 9. Do ložisek je nalisován hřídel 10, na který se pomocí šroubů připojí ocelový váleček 11. Za účelem vytváření ostrých hran pruhu na technologické hlavičce se zrcadlově umístí 2 válečky, poloha válečku je vždy nastavená předem podle plánovaného směru otáčení kartáče a hloubky zanoření vláken. Poloha dolního okraje válečku je navržena o 4 mm vyšší vzhledem k okraji kartáče v klidovém stavu.

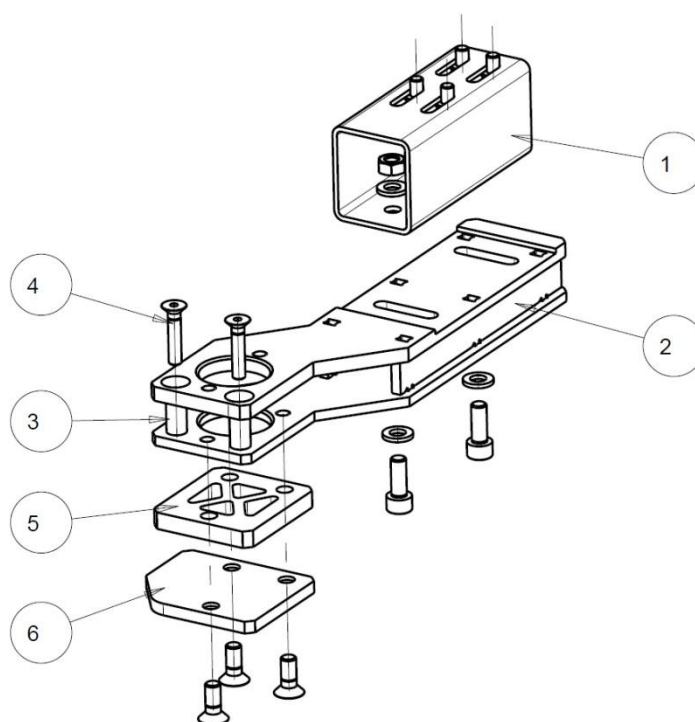




**Obr. 32** Schéma naváděcího systému s válečky

### 3.3.3 Planžeta

Systém naváděcích planžet je shodný se systémem naváděcích váleček a je na obr. 33. Jackl 1 se upevní na rámu technologické hlavice, na jackl se umístí svařenec 2, propojený na druhém konci distančními trubkami 3 se šrouby 4. Na dolní plech svařence se přišroubuje příruba 5, do které se namontuje naváděcí planžeta 6. Její dolní okraj je tak o 4 mm výše od polohy dolního konce vlákna v klidovém stavu.



**Obr. 33** Schéma naváděcího systému s planžetou

### 3.4 Výběr vhodné varianty pro otestování

Výběr varianty pro testovací zkoušku se odvíjí od výsledků rozhodovací analýzy, která je provedena v této kapitole. Před tím, než se provede rozhodovací analýza, budou shrnuty klady a zápory každé z variant.

Výhodou varianty 3.3.1, oproti variantě 3.3.2 a 3.3.3, je její jednodušší provedení, vzhledem k menšímu počtu elementů konstrukce. Další výhodou je vyšší životnost, protože systém kartáče a disků se pohybuje spolu.

V rámci daných koncepcí byla zvolena následující rozhodovací kritéria:

1. Jednoduchost konstrukce
2. Náklady na realizaci
3. Životnost

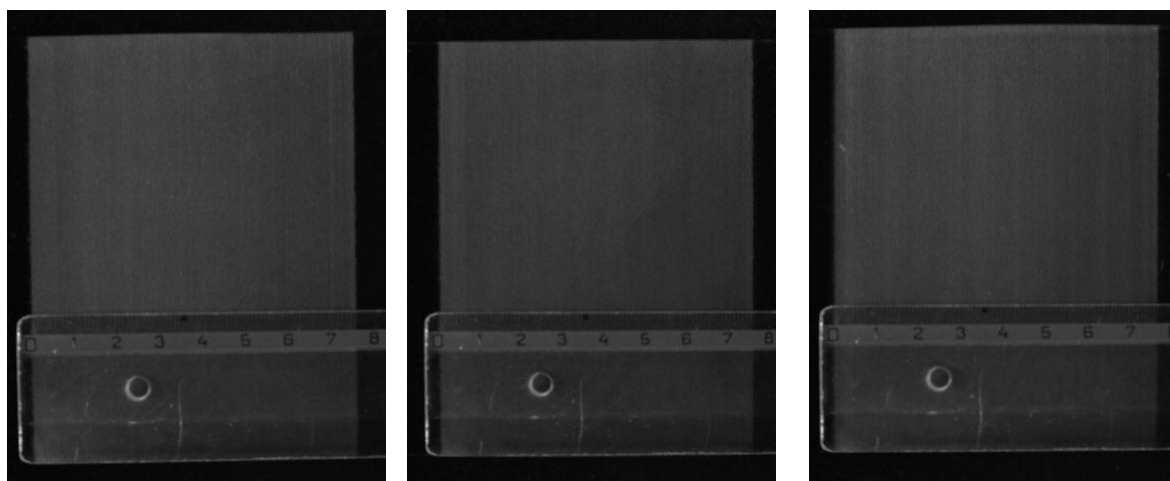
**Tab. 6** Rozhodovací analýza

PÁROVÉ SROVNÁNÍ ALTERNATIV					MATICE UŽITNOSTI ALTERNATIV							
Varianta					X		3.3.1		3.3.2		3.3.3	
Číslo	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota		
				Pr.	Váž.	Pr.	Váž.	Pr.	Váž.	Pr.	Váž.	
1	0	3	1	100	100	91	91	70	70	78	78	
2	2	1	2	100	200	85	170	76	152	81	162	
3	3	2	1	3	100	300	93	279	87	261	72	216
Celkem					600		540		483		456	
Užitnost v relativním vyjádření [%]							90%		81%		76%	
Pořadí alternativ podle užitnosti							<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	

Tab. 6 představuje rozhodovací analýzu, ze které se jeví jako nejvhodnější varianta 3.3.1, tedy systém navádění vláken pomocí dvojice disků.

### 3.5 Výsledky experimentu

Na základě rozhodovací analýzy byla zvolena varianta použití disků pro vytváření pruhu, a následně provedena řada experimentů pomocí technologické hlavice s délkou štětin kartáče 50 mm, rychlostí 3000 otáček za minutu a rychlostí pohybu hlavice vůči matovanému povrchu 0,075 m/s. Byly vytvářeny 3 pruhy o šířce 76 mm (viz obr. 34):



A

B

C

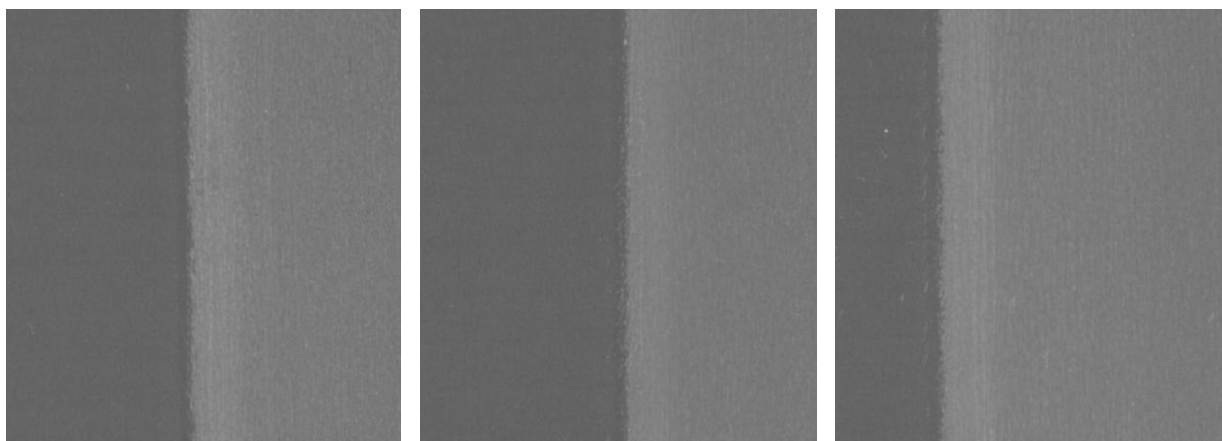
**Obr. 34** Pruhy vytvořené s použitím disků: A – hloubka zanoření 1 mm, počet průjezdů 1; B – hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 1; C - hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů

2

Výsledky těchto experimentů byly opět analyzovány v laboratoři Robot Vision na Katedře sklářských strojů a robotiky kde bylo využito:

- průmyslové kamery Basler,
- objektivu Fujinon TV lens HF12.5SA-1.

Kamera byla umístěná ve vzdálenosti 325 mm nad povrchem skla, matované ploché sklo bylo osvětlováno červeným světlem pod úhlem 45°.



A

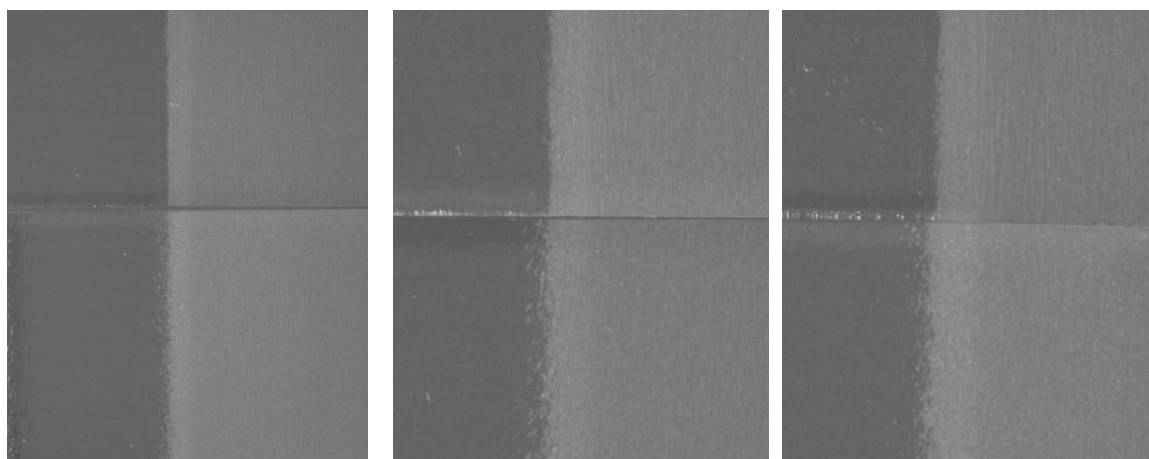
B

C

**Obr. 35** Okraje pruhů vytvořených s použitím disků: A – hloubka zanoření 1 mm, počet průjezdů 1; B – hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 1; C - hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 2

Nejkvalitnější hrany bylo dosaženo při hloubce zanoření 1 mm (viz obr. 35).

Kvalita okrajů u vzorků vytvořených s použitím disků a bez nich se výrazně liší, což je vidět na obr. 36.



A

B

C

**Obr. 36** Porovnání pruhů vytvořených s použitím disků (nahore) a bez disků (dole): A – hloubka zanoření 1 mm, počet průjezdů 1; B – hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 1; C - hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 2

## 4 Technicko-ekonomické hodnocení

Jedním z úkolů diplomové práce byla formulace technických podmínek pro stabilizaci jakosti povrchu během mechanického matování plochého skla a návržení prostředků k vytváření designově zajímavých a funkčních vzorů na povrchu skla.

V rámci technického zhodnocení je předložen výsledek konstrukčního řešení aktivního systému navádění vláken rotačního nástroje, které je možné v alternativách instalovat na stávající uspořádání technologické hlavice.

V ekonomickém zhodnocení jsou popsány výhody mechanického procesu matování skla oproti standardním matovacím postupům, které budou v případě průmyslového nasazení uvedené technologie výrazným způsobem snižovat provozní a pořizovací náklady v řádech desítek procent.

### 4.1 Technické zhodnocení

Diplomová práce předkládá konstrukční řešení několika variant mechanických systémů navádění vláken pro instalaci na technologickou hlavici pro mechanické matování skla. Uvedené systémy umožňují matovat pruhované vzory s předem zvolenou šířkou na povrchu plochého skla. Na základě provedeného měření zkušebních vzorků kartáče byly stanoveny technické podmínky pro efektivní využití technologie vytváření matovaných vzorů.

První variantu tvoří profilované duralové disky umístěné na obou stranách těla kartáče. Disk je nasazen na duralový náboj kartáče a obvodově zajištěn proti posouvání a otáčení stavěcími šrouby. Vlastní montáž disků a jejich výměna na samotném kartáči je rychlá a jednoduchá, ale bohužel vyžaduje demontáž pracovního nástroje (rotačního kartáče) z rámu technologické hlavice. Díky tomu, že disky rotují spolu s kartáčem, je jejich případné opotřebení minimální. Vzhledem k velmi nízké hmotnosti disků nebude ovlivněn provoz testovacího pracoviště, jehož základ tvoří průmyslový robot KUKA KR 16 s nosností 16 kg. Stejně tak nebude ovlivněn rotační pohon kartáče instalovaný na technologické hlavici.

Druhá varianta je tvořená dvojicí rotujících válečků, které se umístí po obou stranách kartáče paralelně s osou kartáčování. Díky upevnění na rámu technologické hlavice pomocí lehké konstrukce svařence nebudou zbytečně zatěžovat provoz matovacího zařízení. Rotační uložení válečků zajišťuje možnost jejich otáčení společně s rotujícím nástrojem, čímž je vytvořen předpoklad proti rychlému opotřebení naváděcích válečků. Vzhledem k přítomnosti vodní mlhy, částic skla a zrněk syntetického diamantu je ložiskový domek rotačního uložení jak ze spodní, tak horní strany utěsněn a kuličková ložiska jsou tak chráněna před potenciálním znečištěním.

Třetí varianta navazuje na první a nahrazuje válečky staticky, symetricky umístěnými planžetami, což sice neprodlužuje jejich životnost, ale snižuje složitost a nákladnost výroby systému navádění vláken.

Laboratornímu testování byl podroben návrh systému navádění vláken prostřednictvím dvojice disků, který byl využit k ověřování technologie mechanického vytváření vzorů na povrchu plochého skla. Experiment prokázal možnost vytváření pruhů s dostatečnou optickou kvalitou hrany.

Na základě řady experimentů byly stanoveny optimální technické podmínky pro efektivní provoz kartáče. Tyto podmínky pro kartáč s průměrem 200 mm a délkou štětín 50 mm jsou 3000 otáček za minutu při hloubce zanoření 1,5 mm a maximální rychlosti posuvu hlavice vůči sklu 0,1 m/s, a pro kartáč s délkou štětín 60 mm je to 4000 otáček za minutu při hloubce zanoření 1,5 mm. S přihlédnutím k uvedeným hodnotám procesních parametrů lze konstatovat, že je bude možné bez větších problémů dosáhnout i na případném průmyslově využitelném strojním zařízení z podstatně větší šířkou záběru.

## **4.2 Ekonomické zhodnocení**

Mechanické matování plochého skla prostřednictvím rotujícího válcového kartáče s kompozitovými vlákny se zabudovanými zrny syntetického diamantu je novou perspektivní technologií s vysokou stupni automatizace, což dává potenciálním uživatelům předpoklad pro snižování mzdových nákladů. Vzhledem k tomu, že vyvinutá technologie dovoluje obrábět jak velké formáty skla, tak i ojedinělé kusy, je její nasazení vhodné jak pro malé, tak velké společnosti používající standardní chemické matovací postupy na bázi kyseliny fluorovodíkové. Nahrazení procesu chemického matování mechanickým způsobem má 100% potenciál eliminace chemických odpadů. Navíc technologie kartáčování na rozdíl od leptání je úspornější s pohledu nároků na zástavbový prostor a periferní zařízení.

K technickému a ekonomickému hodnocení se dá ohodnotit i ekologický přínos prezentované technologie. Vzhledem k rozsáhlému použití kyseliny fluorovodíkové k vytváření plošných dezénů se zvětšuje chemické zatížení životního prostředí. Použitím vyvinuté technologie dekorativního mechanického matování plochého skla by se částečně nahradila stávající technologie, čím by se zlepšily pracovní podmínky pro zaměstnance společností na výrobu skleněných plošných vzorů, a výrazným způsobem by se snížila zátěž životního prostředí. Vzhledem k tomu, že technologie je zatím v ověřovací fázi, nebylo možné konkrétní ekonomické přínosy relevantním způsobem ohodnotit.

## Závěr

Diplomová práce je zaměřena na stabilizaci jakosti povrchu při mechanickém matování a vytváření designově zajímavých a funkčních vzorů na povrchu skla s vysokou estetickou hodnotou.

V první kapitole byla provedena rešerše matovacích postupů se zaměřením na mechanické principy matování plochého skla. Tato část obsahuje patentovou rešerši stávajících metod mechanického opracování povrchu skla.

Kapitola druhá předkládá rozbor technických charakteristik kartáče včetně těch, které byly základními parametry pro experimenty zaměřené na analýzu optimálních provozních podmínek a stabilizaci jakosti povrchu. V rámci kapitoly je rovněž předložen teoretický popis mechanického chování vláken kartáče na rovinném povrchu skla, včetně počítačové simulace. Dále kapitola obsahuje koncepční návrh řešení systému pro realizaci plošných dezénů s ostrými hranami s užitím stávajícího řešení matovací hlavice instalované na průmyslový robot.

Kapitola třetí je věnována konstrukčnímu řešení vybraných variant systémů navádění vláken a je doplněna o rozhodovací analýzu, pomocí které byla vybrána jako nejvhodnější varianta instalace disků na náboj kartáče. Na závěr kapitoly byly předvedeny výsledky experimentálně testované varianty, byl odzkoušen funkční vzorek kartáče o délce vláken 50 mm opatřený diskem a na základě výsledků měření byly stanoveny technické podmínky pro efektivní využití vybrané varianty.

Závěrečná kapitola přináší technické, ekonomické a následně ekologické zhodnocení návrhu řešení systému pro realizaci plošných dezénů s akcentem na porovnání s klasickými postupy matování.

Na základě provedeného hodnocení se lze domnívat, že práce je použitelným podkladem pro realizaci systému navádění vláken a jeho aplikaci při dalším výzkumu a vývoji mechanického matování s účelem vytváření designově zajímavých a funkčních vzorů na povrchu plochého skla. Předložená diplomová práce navíc předkládá zevrubnou patentovou rešerši a základy teoretického popisu mechanického chování jednotlivých vláken válcového kartáče, který je doplněn o počítačovou simulaci jednotlivého vlákna ve fázi kontaktování s povrchem skla, což představuje řadu poznatků využitelných pro další vývoj a výzkum technologie z pohledu optimalizace geometrie matovacího nástroje.

## Literatura

- [1] RAMBOUX, ISIDORE. *Abrading Disk for Glass-grinding Machines*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=911759A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19090209&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=911759A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19090209&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [2] WOO, EDWARD J, SCOTT W PETERSON a BRIAN D GOERS. *Abrasive Article Suitable for Abrading Glass and Glass Ceramic Workpieces*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2002019199A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20020214&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2002019199A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20020214&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [3] TACHIYARA, TAKAYUKI, AKIRA YODA a TORU AOKI. *Abrasive Pad and Method for Abrading Glass, Ceramic, and Metal Materials*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=KR&NR=20150032576A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20150326&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=KR&NR=20150032576A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20150326&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [4] WOLF, Stefan. Creating a Matte Finish on the Glass for Flattening Sharpening Stones. *Www.youtube.com* [online]. 2014 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
[https://www.youtube.com/watch?v=Ij5BA-WO\\_XE&index=12&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf](https://www.youtube.com/watch?v=Ij5BA-WO_XE&index=12&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf)
- [5] LARSEN, Russ. Easily Sandblast Glass, Crystal, Rock and More with Micro Sandblasting. *Www.youtube.com* [online]. 2012 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/watch?v=0XFhoAkqphM&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=1>
- [6] FALKENRICH GMBH, Falconbrite Abrasives. Glas matting with Brushes. Mattieren von Glas mit Bürsten. *Www.youtube.com* [online]. 2014 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/watch?v=jYkFsT9Ncas&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=26>
- [7] PYKE, Lesley. Glass Engraving by Lesley Pyke - March Hares on Crystal Block. *Www.youtube.com* [online]. 2013 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
[https://www.youtube.com/watch?v=0XKI666b\\_rM&index=22&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf](https://www.youtube.com/watch?v=0XKI666b_rM&index=22&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf)
- [8] VEMULA, Ramesh. Glass Engraving made easy on UniTech High Speed CNC Routers. *Www.youtube.com* [online]. 2011 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:



<https://www.youtube.com/watch?v=MLJcoPtGlbA&index=4&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf>

- [9] HORLAVILLE, GERARD. *Glass Frosting Method*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=WO&NR=9514552A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=19950601&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=WO&NR=9514552A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=19950601&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [10] POLLARA, NICHOLAS J. *Glass Printing Process*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2003224108A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20031204&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2003224108A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20031204&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [11] HOFENER, PAUL, STEPHEN M BILLS a TIMOTHY B MCGLINCHY. *Glass Treatment System and Method*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2006236840A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20061026&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2006236840A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20061026&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [12] HISGLASSWORKSINC. Grinding and Polishing Glass with a Rociprolap. *Www.youtube.com* [online]. 2010 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/watch?v=d7KgZbLoPhA&index=29&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf>
- [13] HISGLASSWORKSINC. Grinding and Polishing Glass with Diamond Disks. *Www.youtube.com* [online]. 2008 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/watch?v=5qO6KKP6qDw&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=27>
- [14] CUTATHOME. How to do Glass Etching with Your Silhouette Cameo. *Www.youtube.com* [online]. 2013 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
[https://www.youtube.com/watch?v=GooPI\\_KNd54&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=9](https://www.youtube.com/watch?v=GooPI_KNd54&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf&index=9)
- [15] MULI507. How to Engrave on Glass Using Dremel Diamond Bit. *Www.youtube.com* [online]. 2013 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/watch?v=VQLJ69Lj2SE&index=13&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf>
- [16] ZEISS, CARL. *Improved Tool for Rough Grinding or Abrading Glass*. Dostupné také z:  
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR>

=190714126A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19071128&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\_EP

- [17] PHILLIP, SEMMER. *Improvements in and Relating to Machines for Grinding and Polishing the Surfaces of Plate Glass, Marble, Stone Slabs, and the like*. Dostupné také z: <http://patent.ipexl.com/GB/189706873-a.html>
- [18] OLIVER, Imray. *Improvements in Apparatus for Grinding and Polishing Glass*. Dostupné také z: <http://www.directorypatent.com/GB/190512110-a.html>
- [19] SMITH, WILLIAM. *Improvements in Grinding Plate Glass and in Apparatus therefor*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=190322790A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19031231&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=190322790A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19031231&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [20] FISCHER, FREDERICK FERDINAND. *Improvements in Machines for Grinding and Polishing Glass or other Material*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=189826648A&KC=A&FT=D&ND=3&date=18990204&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=189826648A&KC=A&FT=D&ND=3&date=18990204&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [21] BARNER, Robert a Michael Merchey MAHER. *Improvements in Machines for Grinding, Smoothing and Polishing Glass*. Dostupné také z:  
<http://patent.ipexl.com/GB/190119609-a.html>
- [22] BARNER, Robert a Michael Merchey MAHER. *Improvements in Machines for Grinding, Smoothing and Polishing Glass*. Dostupné také z:  
<http://patent.ipexl.com/GB/190119608-a.html>
- [23] BAILEY, WILLIAM OLIVER. *Improvements in Mills for Grinding and Polishing Glass*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=190626287A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19071120&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=190626287A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19071120&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [24] MACMILLAN, William Robertson. *Improvements in or Relating to Blast Etching Machines*. Dostupné také z: <http://www.directorypatent.com/GB/1067943-a.html>
- [25] LARDINOIS, GEORGES . *Improvements Relating to the Smoothing of Glass, and Apparatus Therefor*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=190700148A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19080102&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=190700148A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19080102&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)

- [26] LESSMANN. *Informace pro poradenství a použití*. Dostupné také z:  
<http://www.lessmann.com/index.php/cz/KNOW-HOW/Bezpecne-kartacovat>
- [27] *Inovace strojů a zařízení a implementace pokročilých technologií do procesu automatické výroby a zpracování plochého skla*. TU v Libereci, 2013. Technická zpráva projektu.
- [28] LESSMANN. *Know-how kartáčování*. Dostupné také z:  
<http://www.lessmann.com/index.php/cz/KNOW-HOW/Oblasti-pouziti>
- [29] SPOKAR. *Kusová a malosériová zakázková výroba*. Dostupné také z:  
[http://www.spokar.com/userfiles/files/brozura-zakazkova\\_vyroba.pdf](http://www.spokar.com/userfiles/files/brozura-zakazkova_vyroba.pdf)
- [30] SYMOENS, BRUNO a NADIA JACOBS. *Localised Matting of Glass*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=EP&NR=2266925A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20101229&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=EP&NR=2266925A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20101229&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [31] RASH, WELTY MASON a RUMBAUGH GEORGE SPARKS. *Machine for Grinding and Polishing Plate Glass*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=189923503A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19000127&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=189923503A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19000127&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [32] TONCELLI, LUCA. *Machine for Smoothing or Polishing Slabs of Stone Material, such as Natural and Agglomerated Stone, Ceramic and Glass*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=WO&NR=2011064706A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20110603&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=WO&NR=2011064706A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20110603&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [33] YUUZI, ITO a KAWAI HIROSH. ISHIZUKA GLASS KABUSHIKI KAISH. *Method for Producing Frost Glass Product*. Dostupné také z:  
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2002164933A1&KC=A1&FT=D&ND=&date=20021107&DB=&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2002164933A1&KC=A1&FT=D&ND=&date=20021107&DB=&locale=en_EP)
- [34] HORÁK, Marcel, František NOVOTNÝ, Zbyšek PANCHARTEK a Michal STARÝ. *Nové trendy v oblasti mechanického opracování povrchu plochého skla. The 23rd International Conference on Glass 2013*. Teplice: Vydavatelství České sklářské společnosti s.r.o., 2013, (p. 45.). ISSN 978-80-904044-3-4.
- [35] CAMPBELL, BRIAN REGINALD a STEVEN PETER MAKIN. *Process for Producing and Treating Glass, Glass Polished in this Process and Production Line for Producing Float Glass*. Dostupné také z:

[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=worldwide.espacenet.com&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20000712&CC=CZ&NR=9904450A3&KC=A3](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=worldwide.espacenet.com&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20000712&CC=CZ&NR=9904450A3&KC=A3)

- [36] RAYZIST, BWillis. Sanblast Equipment for Glass Etching. *Www.youtube.com* [online]. 2010 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=60XzNpVA2cg&index=3&list=PLlvgybt5hfy8mzx6bSNYL3pjBZdIYg4vf>
- [37] SOUTHWARD, CLARENCE E a JOHN R BELIEFF. *Self-cooling, Non-loading Abrading Tool*. Dostupné také z: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=4720941A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19880126&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=4720941A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19880126&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [38] PLATT, ARCHIE. *Sheet-glass-abrading Means*. Dostupné také z: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=1652410A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19271213&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=1652410A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19271213&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP)
- [39] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 4. Úvaly: ALBRA, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [40] *Technická dokumentace technologické hlavice pro matování skla pomocí robotu* [online]. TU v Liberci, 2012 [cit. 2012].
- [41] *Technická dokumentace technologické hlavice pro sezonové matování skla pomocí robotu* [online]. TU v Liberci, 2014 [cit. 2014].
- [42] STARÝ, Michal. *Technické řešení kartáčů*. 2012.
- [43] KLEBSA, Vladimír. *Technologie skla a keramiky I*. První. Liberec: Ediční středisko VŠST, 1981. ISBN 55-806-81.
- [44] ČAPKA, Vlastimil. *Zařízení k vytvoření dezénu na povrchu plochého skla*. Dostupné také z: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0024/uv024037.pdf>
- [45] ČAPKA, Vlastimil. *Způsob úpravy povrchu plochého skla a zařízení k provádění tohoto způsobu*. Dostupné také z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/302/302636.pdf>
- [46] GESELLSCHAFT, PHÖNIX a BESCHRÄNKTER HAFTUNG. *Způsob výroby rozmanitých matování na skleněné ploše*. Dostupné také z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/34/34985.pdf>

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b> Přítlak pro rotující kartáč.....	20
<b>Obr. 2</b> Lepení vláken.....	22
<b>Obr. 3</b> Tuhost vlákna.....	23
<b>Obr. 4</b> Rozložení svazků v přesazených řadách.....	23
<b>Obr. 5</b> 3-D model nástroje.....	24
<b>Obr. 6</b> 3-D model rámu.....	24
<b>Obr. 7</b> Experimentální pracoviště.....	25
<b>Obr. 8</b> Technický systém - princip matování povrchu plochého skla.....	25
<b>Obr. 9</b> Kontaktní normálová síla ve fázi postupného kontaktu vlákna se sklem (fáze B), stupnice v [N].....	29
<b>Obr. 10</b> Napěťové pole a deformace vlákna rotačního kartáče (A – fáze prvotního kontaktu se sklem, B a C – postupný kontakt vlákna se sklem, D – výjezd vlákna z kontaktu), stupnice v [Pa].....	30
<b>Obr. 11</b> Porovnání matovaných povrchů: A – hloubka řezu 1,5 mm, délka vlákna 50 mm, 3000 otáčky za minutu; B - zanoření 1,5 mm, délka vlákna 60 mm, 4000 otáčky za minutu. ....	34
<b>Obr. 12</b> Vzorky mající kvalitní matovaný povrch, vytvořené při rychlosti posuvu: A - 0,05 m/s; B - 0,1 m/s.....	35
<b>Obr. 13</b> Vzorky s nedostatečně kvalitním povrchem, vytvořené při rychlosti posuvu: A - 0,15 m/s; B - 0,2 m/s, C - 0,25 m/s.....	35
<b>Obr. 14</b> Způsoby vytváření ostré hrany dezénu na povrchu plochého skla.....	36
<b>Obr. 15</b> Vzory vytvořené polepením nerez plechů.....	37
<b>Obr. 16</b> Plechová šablona na vyrábění matovaných pruhů na povrchu skla.....	37
<b>Obr. 17</b> Opatření plechové šablony plastovou páskou.....	38
<b>Obr. 18</b> Opotřebením šablony působením diamantových zrn.....	38
<b>Obr. 19</b> Navíjecí systém pro plechovou šablonu.....	39
<b>Obr. 20</b> Technologická hlavice osazená dvojicí disků pro vytváření pruhů s ostrými hrany.....	39
<b>Obr. 21</b> Dvojice disků.....	40
<b>Obr. 22</b> Válečky s možností regulace šířky pruhů.....	40
<b>Obr. 23</b> Vodicí válečky uložené v utěsněných ložiskových domcích.....	41
<b>Obr. 24</b> Planžeta, naváděcí vlákna.....	41

<b>Obr. 25</b> Stopy kartáče po 30 mm, zanoření shora dolů: 0,5 mm, 1mm, 1,5 mm, 2mm, 2,5mm. Kartáč rotuje směrem „nahoru“. Nulová poloha hlavice na obrázku je nahoře a shodná s okrajem obrázku. ....	42
<b>Obr. 26</b> Stopy kartáče po 30mm, zanoření shora dolů: 0,5 mm, 1mm, 1,5 mm, 2mm, 2,5mm. Kartáč rotuje směrem „dolů“. Nulová poloha hlavice na obrazci je nahoře a shodná s okrajem obrázku .....	43
<b>Obr. 27</b> Technologická hlavice .....	44
<b>Obr. 28</b> Schéma vazeb výkresové dokumentace .....	45
<b>Obr. 29</b> Značka výkresu .....	45
<b>Obr. 30</b> Schéma kompletní výkresové dokumentace .....	46
<b>Obr. 31</b> Schéma matovacího kartáče s disky .....	47
<b>Obr. 32</b> Schéma matovacího kartáče s válečky .....	48
<b>Obr. 33</b> Schéma matovacího kartáče s planžetou .....	48
<b>Obr. 34</b> Pruhy vytvořené s použitím disků: A – hloubka zanoření 1 mm, počet průjezdů 1; B – hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 1; C - hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 2.....	50
<b>Obr. 35</b> Okraje pruhů vytvořených s použitím disků: A – hloubka zanoření 1 mm, počet průjezdů 1; B – hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 1; C - hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 2. ....	50
<b>Obr. 36</b> Porovnání pruhů vytvořených s použitím disků (nahore) a bez disků (dole): A – hloubka zanoření 1 mm, počet průjezdů 1; B – hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 1; C – hloubka zanoření 1,5 mm, počet průjezdů 2. ....	51

### Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b> Vybrané vlastnosti plaveného plochého skla .....	10
<b>Tab. 2</b> Výsledky matování plochého skla kartáčem o délce štětín 50 mm. ....	32
<b>Tab. 3</b> Výsledky matování plochého skla kartáčem o délce štětín 60 mm .....	33
<b>Tab. 4</b> Výsledky série měření posunutí osy kartáčování oproti ose kartáče, směr rotace „nahoru“ .....	42
<b>Tab. 5</b> Výsledky série měření posunutí osy kartáčování oproti ose kartáče, směr rotace „dolů“ .....	43
<b>Tab. 6</b> Rozhodovací analýza.....	49