



Vliv povlaku na životnost upínacích desek pro řepnou řezačku PUTSCH TMS 2200

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Filip Gracl**
Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Filip Gracl**
Osobní číslo: **S16000289**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Vliv povlaku na životnost upínacích desek pro řepnou řezačku PUTSCH TMS 2200**
Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

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

1. Provedení zhodnocení stávajícího stavu a technických řešení upínacích desek pro řepnou řezačku používaných ve firmě Tereos TTD, a.s.
2. Možnosti zvýšení životnosti povrchu upínacích desek pomocí povlakování. Druhy povlaků a metody povlakování.
3. Návrh opatření pro zvýšení životnosti přípravku (vliv materiálu nástroje, povrchové úprava atd.).
4. Experimentální zjištění vlivu povlaku na životnost upínacích desek pro řepnou řezačku.
5. Vyhodnocení navrhovaného řešení z pohledu životnosti upínacích desek a ekonomického hlediska.
6. Závěr.

Rozsah grafických prací: **tabulky, grafy**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] ASM HANDBOOK. *Volume 8 - Mechanical Testing and Evaluation*. 10th ed. Materials Park: ASM International, 2000. s. 998. ISBN 0-87170-389-0.
- [2] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1991. 496 s. ISBN 80-05-00807-4.
- [3] BÁTORA, B., VASILKO, K. *Obrobené povrchy - technologická dedičnosť, funkčnosť*. Rec. K. Kocman, S. Adamczak. 1. vyd. Trenčín: Trenčianska univerzita, 2000. 184 s. ISBN 80-88914-19-1.
- [4] MÁDL, J., HOLEŠOVSKÝ, F. *Integrita obrobených povrchů z hlediska funkčních vlastností*. Rec. K. Kocman, K. Janděčka. 1. vyd. Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, FVTM, 2008. 230 s. ISBN 978-80-7414-095-2.
- [5] ASADI, M. *Beet-Sugar Handbook*. 1. vyd. New Jersey: Willey-Interscience a John Willey and Sons, Inc., Publication., 2007. 866 s. ISBN 978-0-471-76347-5.
- [6] PELIKÁN, M., HŘIVNA, L., HUMPOLA, J. *Technologie sacharidů*. 1. vyd. Brno: MZLU v Brně, 1999. 154 s. ISBN 80-7157-407-4.
- [7] TOTTEN, G.E. ed. *Handbook of Lubrication and Tribology: Volume I - Application and Maintenance*. 2. vyd. Boca Raton: CRC Press, 2006, s. 1159. ISBN 978-0-8493-2095-8.
- [8] BOOSER, E.R. ed. *CRC Handbook of Lubrication and Tribology: Volume II - Theory & Design*. Boca Raton: CRC Press, 1983, s. 658. ISBN 0-8493-3902-2.
- [9] LUDEMA, K.C. *Friction, Wear, Lubrication: A textbook in Tribology*. Boca Raton: CRC Press, 1996, s. 263. ISBN 0-8493-2685-0.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.**

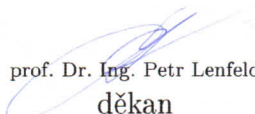
Katedra strojírenské technologie

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.**

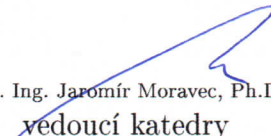
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **1. listopadu 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **1. února 2019**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen 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 vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval 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

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především panu doc. Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D., za cenné rady a předmětné připomínky při vedení mé diplomové práce. Nejvíce však za jeho rychlou komunikaci v závěru tvorby této práce. Taktéž bych rád poděkoval společnosti Tereos TTD, a.s., a KOVO A+B, bez kterých by tato diplomová práce nevznikla.

Tímto děkuji také celé své rodině za podporu a trpělivost projevenou v průběhu mého studia vysoké školy. Jak asi tuší, byla to dlouhá a nelehká cesta, i když o dost rychlejší než v případě bakalářské části studia.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21122/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.



Anotace

Diplomová práce se zabývá vlivem povlaku na životnost upínacích desek. Cílem této práce je zjistit vliv povlaku na životnost upínací desky a porovnat tento povlak s upínacími deskami bez povlaku. V porovnání jsou zastoupeny jak originální upínací desky s povlakem a bez povlaku tak upínací desky bez povlaku vlastní konstrukce. Upínací desky se používají na bubnových řezačkách typu PUTSCH TSM 2200-22-600 S. Teoretická část se zabývá zkráceně výrobou cukru, typy řezaček, nožů do řepných řezaček a způsoby tvorby povlaku na strojních součástích. Praktická část rozebírá vlastnosti originální upínací desky s povlakem. Dále zkoumá vliv povlaku na životnost upínací desky v podmínkách reálné řepné kampaně v závodě Tereos TTD, a.s. v Dobrovici. Závěrem práce je porovnání opotřebení upínacích desek s povlakem a bez povlaku jak z pohledu životnosti tak ekonomiky.

Klíčová slova

Bubnová řezačka, Putsch, upínací deska, trvanlivost, životnost

Annotation

The diploma thesis deals with the impact of coating on a durability of clamping plates. The aim is to ascertain the impact of coating on a durability of a clamping plate and to compare the coating with clamping plates without the coating. There are both original clamping plates with coating and without it as well as clamping plates without coating of own construction included in the comparison. Clamping plates are used in drum slicers PUTSCH TSM 2200-22-600 S. The theoretical part addresses shortly the sugar production, types of beet slicers, knives for beet slicers and ways of creating coating for machine components. The practical part is concerned with characteristic of the original clamping plate with coating. It also investigates the impact of coating on a durability of a clamping plate in real conditions of a beet campaign in Tereos TTD, corp. in Dobrovice. The conclusion of the thesis is the comparison of wearing out of clamping plates with coating and without it both from the point of view of the durability as well as from the economical point.

Key words

Drum slicer, Putsch, clamping plate, durability, lifetime



Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1 Úvod	9
2 Teoretická část	11
2.1 Stručná historie cukrovarnictví v ČR a v Dobručce	11
2.2 Stručný popis výroby řepného cukru	12
2.2.1 Doprava řepy do závodu	13
2.2.2 Praní a řezání řepy	13
2.2.3 Extrakce difúzní šťávy	13
2.2.4 Čištění šťáv, odpařování lehké šťávy	13
2.2.5 Vaření a odstředění cukroviny, rafinace surového cukru	14
2.2.6 Skladování krystalického cukru	14
2.3 Řezačka na řepu	15
2.3.1 Bubnová řezačka na řepu	15
2.3.2 Desková řezačka na řepu	15
2.4 Řezačkové nože	17
2.4.1 Žlábkovité nože	17
2.4.2 Ostatní nože	18
2.5 Popis řezačky Putsch TSM 2200-22-600 S	19
2.5.1 Konstrukce a popis bubnové řezačky	19
2.5.2 Popis základních částí řezačky	19
2.5.2.1 Skříň stroje	20
2.5.2.2 Řezací buben	20
2.5.2.3 Nožové hlavy a nože	20
2.5.2.4 Dveře pro odběr cizích těles	20
2.5.2.5 Dvojitá výfuková tryska	21
2.5.2.6 Zařízení pro výměnu nožových hlav	21
2.5.2.7 Pohon	21
2.5.2.8 Hydraulická soustava	21
2.5.2.9 Elektrická řídicí jednotka	21
2.5.2.10 Bezpečnostní zařízení	22
2.5.3 Technické údaje	23
2.6 Povrchové úpravy kovů	24
2.6.1 PVD povlaky	24



2.6.1.1	Naprašování.....	24
2.6.1.2	Napařování	25
2.6.1.3	Iontová implantace.....	26
2.6.2	CVD povlaky.....	26
2.6.2.1	Výhody metody CVD.....	28
2.6.2.2	Nevýhody metody CVD.....	28
2.6.3	Žárové stříkání	28
2.6.3.1	Žárový nástřík plamenem.....	29
2.6.3.2	Nástřík elektrickým obloukem.....	30
2.6.3.3	Plazmatický nástřík.....	31
2.7	Opotřebení	33
3	Experimentální část	35
3.1	Návrh metodiky experimentu	35
3.2	Realizace experimentu	38
3.3	Vlastnosti upínacích desek Putsch a konstrukce alternativních desek	39
3.3.1	Materiálový rozbor upínacích desek	40
3.3.2	Snímkování na elektronovém mikroskopu.....	41
3.3.3	Materiálová analýza vrstvy.....	44
3.3.4	Návrh alternativních upínacích desek	45
4	Diskuze	45
4.1	Vyhodnocení na základě návrhu metodiky pro vyhodnocení	45
4.2	Ekonomické vyhodnocení.....	47
4.3	Geometrické vyhodnocení	47
5	Závěr.....	48
6	Seznam použité literatury	50
7	Seznam příloh.....	52



Seznam použitých zkratk a symbolů

TTD	Thurn-Taxis Dobrovice
UD	upínací deska
MOD	originální upínací deska Putsch
ZEL	originální upínací deska Putsch s povlakem
ŽLU	alternativní upínací deska KOVO A+B
ČER	alternativní upínací deska KOVO A+B
Kč	korun českých



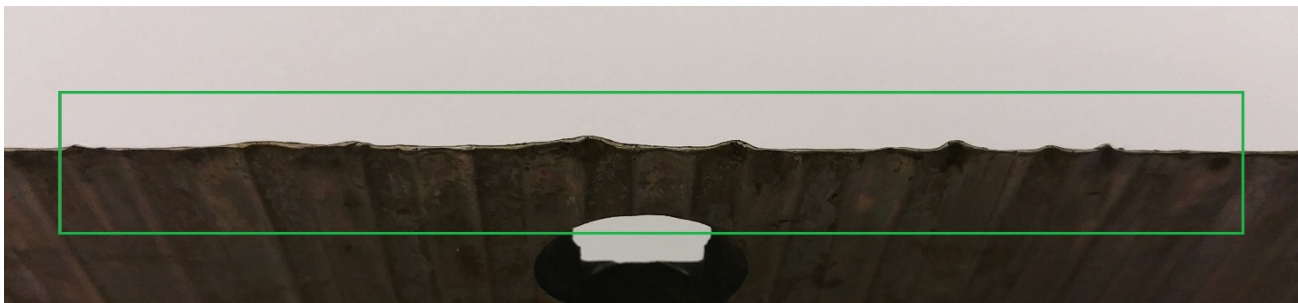
1 Úvod

Při realizaci mé diplomové práce v cukrovaru v Dobrovici, patřícímu společnosti Tereos TTD, a.s., byl řešen problém opotřebování upínacích desek na řepné řezačce PUTSCH TSM 2200-22-600 S. Tento problém byl řešen v mé bakalářské práci. Tato práce tedy navazuje na problematiku životnosti strojních součástí řepné řezačky.

Důležitým krokem při výrobě cukru je řezání řepy na sladké řízky. Z těchto řízků je následně získávána difúzní šťáva, ze které se odpařením získá krystalický cukr. Podrobněji se výrobě cukru věnuji v kapitole 2. Kvalita sladkých řízků má vliv na čistotu difúzní šťávy. Kvalitou řízků se myslí jejich dostatečná velikost, čistota řezu, minimální otřepy. Problém s opotřebením upínacích desek se projevuje právě na kvalitě sladkých řízků. Kvalitu sladkých řízků ovlivňuje především kvalita vyprání řepy, odstranění cizích příměsí a stav řepy, kterou cukrovar vykupuje od pěstitelů; v neposlední řadě i poloha bulvy řepy při řezu, kterou opotřebování upínacích desek mění oproti ideálnímu stavu. Opotřebením se rozumí tvorba drážek na povrchu upínací desky (Obr. 1), zvlnění tenčího konce upínací desky (Obr. 2) a deformace hrany upínací desky (Obr. 3).

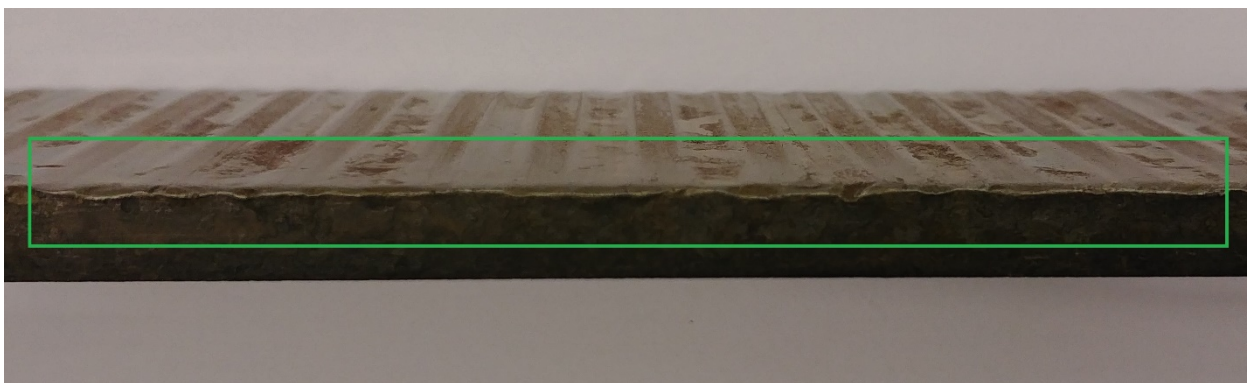


Obr. 1 Drážky na povrchu upínací desky Putsch bez povlaku



Obr. 2 Zvlnění konce upínací desky Putsch bez povlaku





Obr. 3 Deformace hrany upínací desky Putsch bez povlaku

Právě toto opotřebenění upínacích desek vede ke změně polohy bulvy a tím i ke zhoršení kvality řízků; nejvíce se na změně polohy bulvy podílejí drážky. Velikost drážek je sledována v průběhu kampaně a při významné změně kvality sladkých řízků a velikosti drážek je nutné přistoupit k výměně upínacích desek, která je jak ekonomicky, tak časově náročná.

V dobrovickém závodě se používají moderní řezačky německé značky Putsch, které mají vysoký řezný výkon a vysokou kvalitu řezu. Na základě poznatků z mé bakalářské práce a zkušeností z ostatních provozů společnosti Tereos je jisté, že míra opotřebenění souvisí s místními podmínkami, za kterých tyto řezačky v dobrovickém závodě pracují.

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnat upínací desky výrobce Putsch s alternativními upínacími deskami vlastní konstrukce, které jsou navrženy v rámci mé diplomové práce, při podmínkách panujících v reálném provozu cukrovaru v období řepné kampaně. Toto porovnání chci zhodnotit jak z technického, tak ekonomického hlediska.

Dílčí cíle jsou:

- rozbor materiálových vlastností originálních upínacích desek Putsch, které se standardně používají v cukrovaru;
- představení metod povlakování, které se používají v technické praxi;
- nalezení metody pro praktické porovnání upínacích desek z hlediska jejich trvanlivosti;
- návrh materiálu a geometrie pro alternativní upínací desku;
- porovnání originálních upínacích desek Putsch a alternativních desek z pohledu životnosti a ekonomie.

Součástí práce je popis řepné řezačky značky Putsch používané v závodě společnosti Tereos TTD, a.s., a stručný popis výroby cukru a zpracování řepy.



2 Teoretická část

2.1 Stručná historie cukrovarnictví v ČR a v Dobrovici

Díky příhodným klimatickým podmínkám a výborné kvalitě půdy má cukrovarnictví na území ČR dlouhou tradici. Nejstarší zmínky o výrobě cukru pochází ze Zbraslavi z roku 1787. V roce 1829 je založen první průmyslový cukrovar v Kostelním Vydří, o dva roky později se zakládá cukrovar v Dobrovici. V roce 1850 je na území ČR již 290 cukrovarů. Během let se postupně cukrovary uzavírají. Na začátku nového milénia je v provozu pouze 10 cukrovarů a po roce 2007 již jen 7. Tento počet je posledních 10 let stabilní [1] [8] [9] [10].

Cukrovar v Dobrovici, která se nachází blízko Mladé Boleslavi, byl založen knížetem Karlem Anselmem Thurn Taxisem v roce 1831 v nevyužitém zámku. Na počest zakladatele se používala značka TTD Dobrovice. V první kampani, jak se období provozu cukrovaru nazývá, bylo zpracováno 616 tun řepy. Brzo po začátku výroby se začíná přecházet na kolejovou dopravu řepy do závodu, silniční doprava se začíná prosazovat až ve druhé polovině 20. století. V roce 1923 se dobrovický cukrovar stává součástí koncernu Ústecké rafinerie cukru. V roce 1960 přechází na základě dekretu prezidenta republiky pod správu Kolínských cukrovarů. Po období socialismu a ekonomických nesnázích přechází v roce 1992 do majetku Union SDA (nyní Tereos France). V této době začíná v cukrovaru období růstu a masivních investic, které trvá až do dnešních dnů. Jedním z ukazatelů pokroku je to, že při své první kampani cukrovar zpracoval 616 tun řepy, při poslední již přes 1,5 milionu tun řepy [1] [8] [9] [10].

Více informací o historii naleznete v mé bakalářské práci [1].

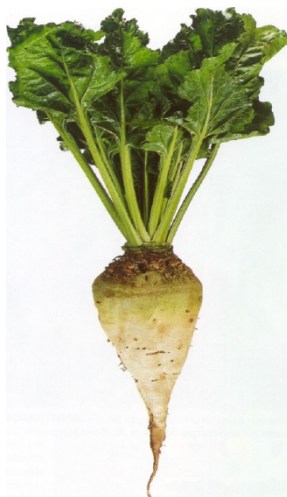


2.2 Stručný popis výroby řepného cukru

Možností, jak vyrobit krystalický cukr v podobě sladidla, je velké množství. Tato kapitola ukazuje postup výroby cukru z cukrové řepy v cukrovaru v Dobrovici.

Pokud mluvíme o cukru, mluvíme z pohledu chemie o disacharidu, který se skládá z jedné molekuly fruktózy a jedné molekuly glukózy. Fruktóza se vyskytuje nejčastěji v ovoci, naopak glukóza se vyskytuje v krvi živočichů a jejich produktech, např. medu. Sacharózu lze nalézt v mnoha rostlinách, kde plní funkci zásobárny energie pro růst rostlin. Rostlinou vhodnou pro průmyslovou výrobu cukru je díky velkému obsahu cukru cukrová řepa (*Beta vulgaris* var. *altissima*) [1] [11].

V Evropě je základní surovinou pro výrobu cukru cukrová řepa. Řepa je řazena mezi okopaniny (Obr. 4). Je pěstována jeden rok. Hlavní částí je tzv. řepná bulva. Jedná se o zduřelý kořen rostliny, ve kterém jsou uskladněny živiny. Zelené olistění rostliny se nazývá chrást a vyrůstá z bulvy. Tento chrást se při sklizni drtí a používá se jako hnojivo [1] [6] [11].



Obr. 4 Cukrová řepa [13]

Postup výroby cukru v závodě Tereos TTD, a.s., v Dobrovici lze rozdělit v rámci několika technologických celků:

- doprava řepy do závodu;
- praní a řezání řepy;
- extrakce difúzní šťávy;
- čištění šťáv;
- odpařování lehké šťávy;
- vaření a odstředění cukroviny;
- rafinace surového cukru;
- skladování krystalického cukru.



2.2.1 Doprava řepy do závodu

Řepa se sklízí pomocí mechanizace, kde dochází k seřiznutí chrástu. Poté je řepa naložena na nákladní vozy. Při příjmu řepy do závodu je řepa vyložena buď na ukládku, anebo přímo na dopravníkový pás, který řepu dopraví do prací linky [1] [2] [5].

2.2.2 Praní a řezání řepy

Bubnová pračka spolu s dvojicí hřeblových a jednou tryskovou pračkou tvoří třístupňovou prací linku. Prvním stupněm je bubnová pračka. Jedná se o rotující buben, ve kterém dochází k očištění od hrubých nečistot. Pračka funguje na principu tření řepy o sebe v nízkém stavu vody. Druhým stupněm je dvojice hřeblových praček, což jsou shora otevřené žlaby s dvojicí rotujících hřídelí opatřených rameny (hřebly). Tento typ pračky od sebe odděluje lehké a těžké nečistoty. Posledním stupněm čištění je trysková pračka, kde je pomocí tlakové vody řepa zbavována ulpělé hlíny. Z prací linky je řepa dopravována pomocí dopravníku k zásobníku řepy, který je umístěn nad řezačkami řepy [1] [2] [5].

Tento zásobník slouží k vyrovnávání toku řepy do řepné řezačky. Pod zásobníkem je umístěno 6 řezaček, z toho tři deskové a tři bubnové (viz kapitola 3 – Řezačka na řepu). Přesun řepy ze zásobníků do řezaček je řešen gravitačně. Řezačky řezou řepu na sladké řízky. Sladké řízky jsou části řepy střešovitého profilu delší než 1 cm a tlustší než 1 mm. V cukrovaru se používají řezačky bubnového a deskového typu. Z řezaček padají sladké řízky na pásový dopravník a transportují se ke spařovacím mísidlům [1] [2] [5].

2.2.3 Extrakce difúzní šťávy

Spařovací mísidla jsou zařízením sloužícím k vyloužení cukru do vody. Voda obohacená o cukr se nazývá difúzní šťáva. Jedná se o válce s vnitřní rotační vestavbou, která slouží k posouvání sladkých řízků skrz zařízení. Z mísidla se na jeho konci odčerpává difúzní šťáva a odebírají se vylouhované řízky [1] [2] [5].

Vylouhované řízky se lisují a vylisovaná voda je přidávána do výrobního procesu. Vylouhované řízky se dopravují dopravníkem do sušárny a po zbavení vlhkosti se peletují na peletovacích lisech. Peletami se krmí hospodářská zvířata [1] [2] [5].

2.2.4 Čištění šťáv, odpařování lehké šťávy

Vzhledem k tomu, že šťáva získaná z extraktorů obsahuje mimo sacharózy i další příměsi, které by výrobu cukru ztížily, prochází šťáva filtrací a epurací neboli čištěním.

Filtrace má za úkol zbavit surovou šťávu řepné drtě, která by jinak ulpívala na stěnách deskových výměníků a jiných těles. Filtrace probíhá přes jednoduché síto. Takto odloučená řepná drť se přidává k vylouhovaným řízkům. Epurace je proces čištění difúzní šťávy, při kterém se praktikuje několik procesů založených jak na chemickém, tak fyzikálním principu. Obecně se jedná o vysrážení necukrů a nečistot do kalu za pomoci chemických pochodů; kal je následně mechanicky odloučen a odčerpán. Takto vyčištěná šťáva se odpařuje v odpařovacích tělesech. Šťáva cirkuluje v tělesech z důvodu varu pouze v tenké povrchové vrstvě [1] [2] [5].



2.2.5 Vaření a odstředění cukroviny, rafinace surového cukru

Cukrovarnická varna, místo, kde se vaří cukr, má logické uspořádání, aby se co nejvíce využil samospád a šetřila energie. V horních patrech jsou umístěny nádrže na těžkou šťávu a ve spodních odstředivky a transportní dopravníky do cukerného sila [1] [2] [5].

Na varně se používají zrnice, které slouží k zahušťování šťávy odpařením. Po zahuštění se šťáva odstředí na diskontinuálních odstředivkách. Po odstředění se cukr musí vysušit, aby mohl být skladován. Rafinace je proces čištění cukerného zrna sirobem, opláchnutím vodou a odstředěním na afinačních odstředivkách [1] [2] [8].

2.2.6 Skladování krystalického cukru

Pro skladování cukru je nutné, aby měl cukr patřičnou vlhkost a teplotu, musí být i dokonale odprášený. Cukerný prach je při určité koncentraci potencionálně výbušný. Před uskladněním se cukr musí stabilizovat. Jedná se o proces, kdy je ze zrna odvedena i vnitřní vlhkost [1] [2] [5].

Kromě skladování cukru v síle je možné skladovat cukr v různých baleních. Běžně se cukr balí do různých balení; od balení pro průmyslové použití o hmotnosti jedné tuny až po balení pro pohostinství o hmotnosti dvou gramů [1] [2] [5].



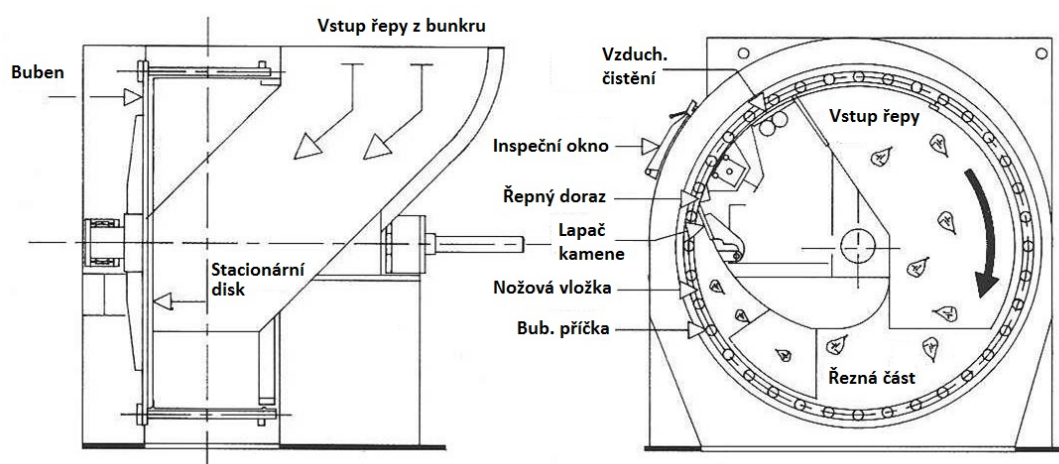
2.3 Řezačka na řepu

Řezačka na řepu je strojní zařízení sloužící k výrobě sladkých řízků. Řepné řezačky se dělí na několik druhů podle způsobu rotace řezné části. V dnešní době používané jsou bubnové a deskové řezačky, do konce tisíciletí bylo možné se setkat ve východní Evropě i s odstředivými řezačkami, ale tento typ se již nevyužívá [1] [4] [12].

2.3.1 Bubnová řezačka na řepu

Bubnové pračky se používají již od roku 1879. Díky dlouhodobému vývoji mají dnes řadu předností, například nízkou zástavbovou plochu, vysoký výkon a automatickou výměnu nožových hlav [1] [4] [12].

Bubnová řezačka pracuje na principu rotujícího bubnu, který je na vnitřní straně opatřen sadou 22 nožových hlav. Vstup do řezačky a její vnitřní část jsou uzpůsobeny pro práci řezačky nezávisle na množství řepy v zásobníku nad řezačkou. Na Obrázku 5 je vidět, že řezačka obsahuje i sebeochranný prvek, tzv. lapač kamene; jedná se o otvor, kterým propadne kámen či jiná tvrdá nečistota, která by mohla způsobit vylomení nebo zničení řezné části bubnové řezačky. Velikost sladkých řízků je možné nastavit na řezné kazetě příložným pravítkem. Přenos točivého momentu je řešen řemenovým převodem [1] [4] [12].



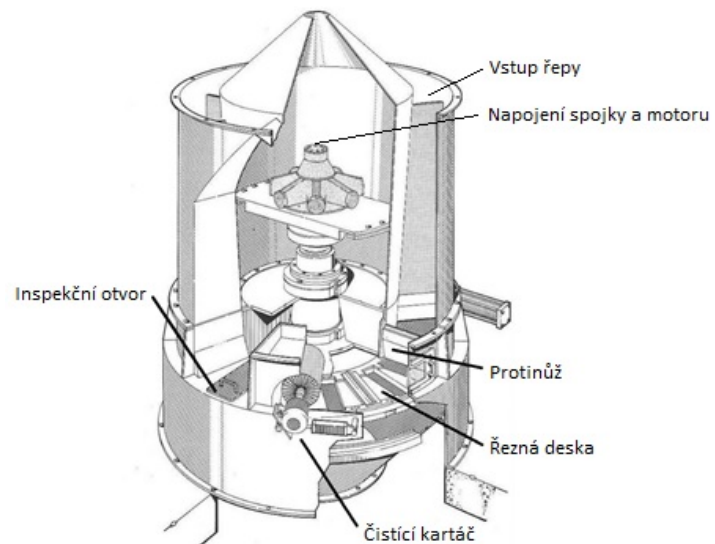
Obr. 5 Schéma bubnové řezačky dle [20]

2.3.2 Desková řezačka na řepu

Díky nižšímu řeznému výkonu se tyto řezačky používaly v menších cukrovarech, v dnešní době jsou již nahrazovány bubnovými. Desková řezačka pracuje na principu rotující řezné desky. Tato deska obsahuje řezné vložky. Nevýhodou těchto řezaček oproti bubnovým řezačkám je nutnost vyvinutí dostatečného tlaku na řeznou desku pomocí minimální výšky zaplnění zásobníku řepou; při přílišné výšce hrozí rozdrčení řepy vlastní vahou [1] [4] [12].

Dle Obr. 6 je vidět, že řezačka obsahuje i sebeochranný prvek, tzv. protinůž; tento protinůž odstraňuje z nožů zaseklé předměty. Velikost sladkých řízků je možné nastavit zvětšením či zmenšením velikosti mezery mezi hranou nože a řezací deskou [1] [4] [12].





Obr. 6 Schéma deskové řezačky dle [4]

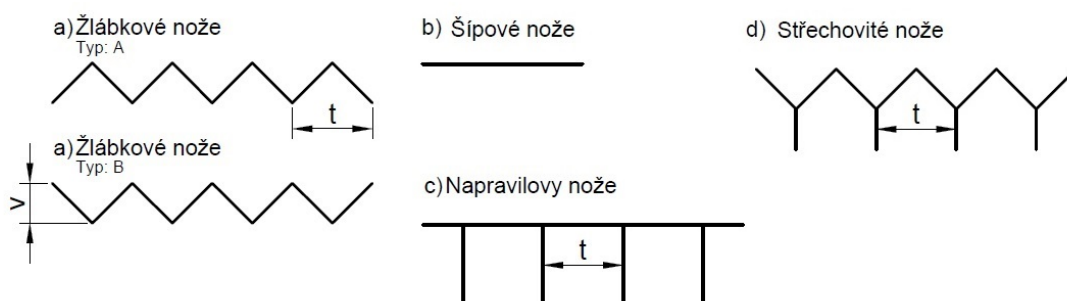
Více informací o teorii řepných řezaček naleznete v mé bakalářské práci [1].



2.4 Řezačkové nože

Nože řezaček mají velký podíl na kvalitě sladkých řízků a následných operacích při výrobě cukru (extrakce, filtrace, vaření cukru). Otupené ostří se u nožů obnovuje, v závislosti na konstrukci nože se sled a postupy operací obnovování ostří liší. Nože, u kterých se díky velkému počtu operací na obnovu ostří příliš zkrátí šířka, jsou vyřazeny a likvidovány jako šrot. Do šrotu se vyřazují i příliš poškozené upínací desky a nože, které přišly do kontaktu s kameny či jinými tvrdými částmi [1] [4].

U řezačkových nožů je důležitou charakteristikou tvar jejich ostří. Některé tvary ostří jsou schematicky zachyceny na Obr. 7. Kóta v označuje výšku nože, kóta t označuje dělení nože a vyjadřuje vzdálenost mezi hroty zubů řezačkových nožů s trojúhelníkovým ostřím (rozteč). Dnešním trendem v řezání řepy je používat výhradně bubnové řezačky a frézované nože [1] [4].



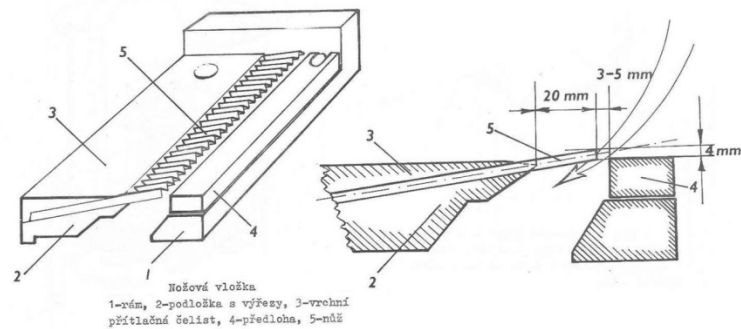
Obr. 7 Tvar ostří některých řezacích nožů dle [4]

2.4.1 Žlábkovité nože

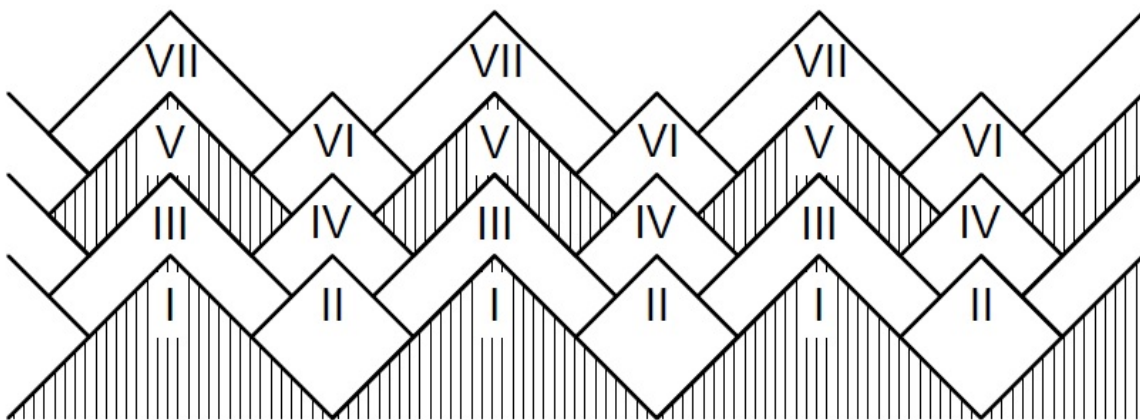
Žlábkovité nože se používají na výrobu sladkých řízků, sladké řízky vyrobené pomocí těchto nožů mají žlábkovitý průřez, mají tedy větší měrný povrch. Tyto nože se vyrábějí frézováním z plechů silných 7 mm (frézované neboli královopolské nože) nebo lisováním z plechů o síle asi 0,7 mm (lisované neboli Gollerovy nože). Frézované nože mají větší tuhost, větší odolnost a jsou dražší než lisované. Jsou ale náročné na kvalitu vstupní suroviny, konkrétně na kvalitu vyprání řepy. Nože se upínají do nožové hlavy v řadách po třech, pro menší řezačky po dvou. Žlábkovité nože se vyrábí ve dvou typech (A a B), a to vzhledem k tomu, že výsledný profil sladkého řízku se řeže nadvakrát. Na Obr. 8 je znázorněn řez nožovou vložkou používanou na menších řezačkách [1] [4].

Postup řezání těmito noži je víceokrový. V prvním kroku (viz Obr. 8) vyříznou zuby z řepy střížky (tj. mají tvar střechy) trojúhelníkového tvaru (I). Řepa nemění svou výšku, následuje řez noži druhého typu, které díky přesazení o půl zuby vyřezávají malé kosočtverce (II). Po druhém řezu řepa klesne o polovinu výšky nože. Třetí řez provedou opět nože prvního typu a z kosočtverce vyřezou střížku (III). Následující řezy (IV, V, ...) postupují podle Obr. 8 [1] [4].





Obr. 7 Nožová vložka dle [4]



Obr. 8 Postup řezání žlábkovitým nožem dle [4]

2.4.2 Ostatní nože

V minulosti se používaly i jiné druhy nožů, například šípové nože, které byly konstruovány pro výrobu plátkových sladkých řízků. Střechovité nože (tzv. Herbstovy nože) byly konstruovány k řezání sladkých řízků s čtvercovým průřezem. Napravilovy nože byly konstruovány k výrobě sladkých řízků s obdélníkovým průřezem (tzv. stužkových řízků) [1] [4].



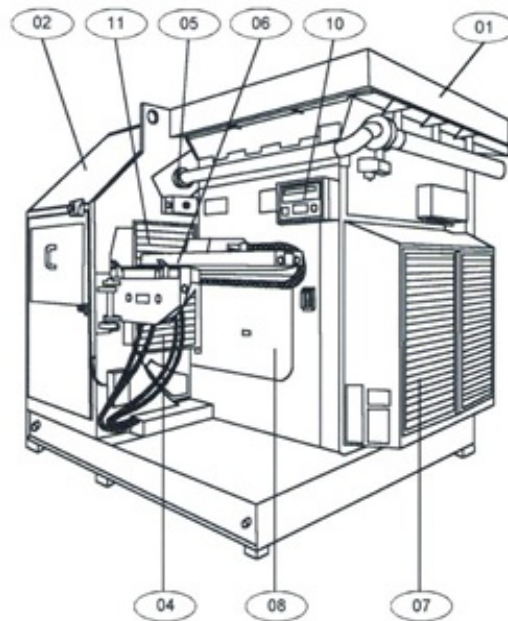
2.5 Popis řezačky Putsch TSM 2200-22-600 S

Jedná se o bubnovou řezačku od firmy Putsch® GmbH & Co. KG. Tato řezačka je jednou z největších, které firma Putsch nabízí.

2.5.1 Konstrukce a popis bubnové řezačky

Bubnová řezačka se skládá z několika základních částí (Obr. 9).

- Skříň stroje (01)
- Řezací buben (02)
- Nožové hlavy s noži (03)
- Dveře pro odběr cizího tělesa (04)
- Dvojitá výfuková tryska (05)
- Zařízení pro výměnu nožové hlavy (06)
- Pohon (07)
- Hydraulická soustava (08)
- Elektrická řídicí jednotka (09)
- Ovládací panel (10)
- Bezpečnostní dveře (11)



Obr. 9 Základní části řezačky Putsch [7]

2.5.2 Popis základních částí řezačky

V této kapitole jsou podrobněji popsány jednotlivé základní části řezačky.



2.5.2.1 Skříň stroje

Skříň stroje je vyrobena jako kompaktní a slouží současně jako násypka a příváděcí žlab. Řezací kanál je přímo spojen se skříňí stroje. Na konci jsou umístěny automatické dveře pro odběr cizích těles (Obr. 5.1; 04). Řezací kanál je ukončen lištou dveří pro odběr cizích těles a nastavitelným protilehlým nožem, který lze přesně nastavit podle výškové polohy použitých nožů. Všechny části skříňe stroje, které přicházejí do styku s řepou, jako například příváděcí žlab a řezací kanál, jsou vyrobeny z nerezových ocelových plechů (3Cr12). Opatřitelné díly v oblasti řezacího kanálu lze vyměnit. Vnitřek skříňe stroje je přístupný přes inspekční otvory s dvířky. Oblast kanálu, ve kterém je řepa řezána, probíhá pod úhlem 180°. V řezném záběru je vždy 11 z 22 nožových hlav [7].

2.5.2.2 Řezací buben

Řezací buben je vyroben z oceli a kruhových tyčí z chromové oceli. Buben je uložen ve skříňí stroje pomocí naddimenzovaných válečkových ložisek. Řezací buben nepodléhá abrazivnímu opotřebení, protože je po vnějším obvodu pokryt a chráněn nožovými hlavami [7].

2.5.2.3 Nožové hlavy a nože

Bubnová řezačka je osazena 22 nožovými hlavami. Nožová hlava se nasazuje na 3 z celkem 66 kruhových tyčí řezacího bubnu. Zámkový mechanismus aretuje nožovou hlavu v řezacím bubnu. Nožové hlavy jsou vyrobeny z vysokopevnostní hliníkové slitiny. Výměna opotřebitelných dílů se provádí mimo bubnovou řezačku. V nožové hlavě jsou připevněny 3x3 nože pomocí upínací desky se speciálními šrouby a se zápusťnými hlavami s maticemi (utahovací moment 45 Nm). Toto uspořádání slučuje 3 nožové vložky do jedné nožové hlavy. Běžně se používají královopolské nože se zalomením v provedení A a B [7].

Uspořádání Putsch se střídavými řadami nožů A a B (viz Obr. 10) představuje značnou výhodu oproti běžnému uspořádání. Díky tomuto uspořádání se při každé výměně nástrojů přesně nastaví nož B za nožem A. Přibývající opotřebení vrchních lišt a nožových hlav během kampaně se opět vyrovnává při každé výměně nožů. Upínací desky jsou současně dorazem pro následující řadu nožů. Patentovaný systém umožňuje snadné a rychlé nastavení požadované výšky řezu. Pomocí otočných nastavitelných tyčí lze seřizovat upínací desky při nastavení výšky řezu. Použití běžných královopolských nožů umožňuje používání stejné ostříčky nožů, která se používá také u deskových řezaček [7].

2.5.2.4 Dveře pro odběr cizích těles

Patentované dveře pro odběr cizích těles (Obr. 9; 04) šetří bubnovou řezačku a zejména nože. Dveře se při přítomnosti cizích těles otevřou do hloubky 150 mm a do šířky 590 mm. Pro odstranění případných větších těles lze pod dveřmi pro odběr cizích těles demontovat inspekční otvor. Dveře pro odběr cizích těles jsou ve skříňí stroje dobře přístupné. Cizí těleso lze snadno nalézt a odstranit přes otevřené dveře při dopředném či zpětném běhu řezacího bubnu (v krokovacím režimu). Dveře pro odběr cizích těles jsou vybaveny hydraulicky ovládaným držákem, který lze velmi citlivě nastavit a který zároveň pracuje vůči nožům mimořádně šetrně. Dveře pro odběr cizích těles jsou řízeny kombinací ventilů tak, že lze pro rozběh bubnové řezačky a pro řezací provoz nastavit různě velké otevírací tlaky [7].



A	A	A
B	B	B
A	A	A

1.Kazeta

B	B	B
A	A	A
B	B	B

2.Kazeta

A	A	A
B	B	B
A	A	A

3.Kazeta

Obr. 10 Střídání řad nožů v hlavách dle [7]

2.5.2.5 Dvojitá výfuková tryska

Bubnová řezačka je vybavena dvojitou výfukovou tryskou (Obr. 9; 05), jež je umístěna v horní části řezacího bubnu a účinně čistí nože a nožové hlavy od nečistot a vláken. Dvojitá výfuková tryska je řízena tak, že může pracovat v nastavitelných intervalech čištění během řezacího provozu [7].

2.5.2.6 Zařízení pro výměnu nožových hlav

Bubnová řezačka je vybavena hydraulicky poháněným zařízením pro výměnu nožových hlav (Obr. 9; 06). Kvůli tomuto zařízení je bubnová řezačka vybavena ještě pomocným elektrickým pohonem (kvůli polohování), který bubnem otočí přesně o rozteč nožové hlavy. Polohování funguje společně se zámkovým systémem nožových hlav osazeným na řezacím bubnu. Jejich zámkové páky otevírají hydraulicky ovládané válce, uzamčení je zajištěno pružinou. Nastavení polohy řezací hlavy je zajištěno kombinací čelního ozubeného kola ovládaného frekvenčně řízeným motorem s převodovkou s kuželovými koly. Po nastavení polohy se prostřednictvím hydraulicky ovládaného válce otevře zámek nožové hlavy a nožová hlava se vysune z bubnu, poté je ručně převzata zařízením pro výměnu. Po nasazení nové nožové hlavy na výměnné zařízení se hlava nasune do bubnu, tam se opět automaticky uzamkne. Po zamknutí se opakuje nastavení další polohy a výměna následující nožové hlavy [7].

2.5.2.7 Pohon

Pohon řezacího bubnu je zajištěn třífázovým motorem s frekvenčním měničem (Obr. 9; 07). Rotační pohyb motoru se převádí pomocí klínového řemenu na planetovou převodovku přímo připojenou k hnací hřídeli, přes ni pak k řezacímu bubnu [7].

2.5.2.8 Hydraulická soustava

Ovládání dveří pro odběr cizích těles, pohyb zařízení pro výměnu nožových hlav a uvolňování nožových hlav jsou zajištěny hydraulicky. Potřebný tlak zajišťuje hydraulická soustava, která se skládá z axiálního pístového hydrogenerátoru s elektromotorem, olejové nádrže a bloku ventilů [7].

2.5.2.9 Elektrická řídicí jednotka

Pohonná část této jednotky se skládá z třífázového motoru a jeho frekvenčního měniče umístěného v samostatném rozvaděči.

Řídicí část obsahuje programovatelnou řídicí jednotku SPS, která zajišťuje kontrolu a provádění zvoleného programu. Dále jsou zde umístěna potřebná relé pro pomocné agregáty, jako je například hydraulický systém.



Na skříni stroje jsou umístěny ovládací prvky a ovládací terminál (Obr. 5.1; 10) s textovým displejem (pro obsluhu stroje a stavová hlášení), pomocí kterého lze ovládat jednotlivé programy [7].

2.5.2.10 Bezpečnostní zařízení

Plechový kryt otvoru pro výměnu nožových hlav je zajištěn bezpečnostním zámkem. Dveře pro odběr cizích těles jsou zajištěny kontaktním spínačem, navíc ještě koncovým vypínačem. Dveře pro zajištění oblasti otvoru dveří pro odběr cizích těles jsou zajištěny bezpečnostním spínačem [7].



2.5.3 Technické údaje

Hlavní technické údaje o řezačce jsou shrnuty v přehledné Tab. 1. V tabulce je uveden i řezací výkon řezačky, který garantovaný pouze se standardními noži PUTSCH® o dělení 19. Tyto nože musí mít výškové nastavení 5 mm a vzdálenost od upínací desky 7–8 mm [7].

Rozměry	[mm]
Délka stroje	2775
Šířka stroje	2600
Výška stroje	2610
Počet nožových hlav	22
Velikost nožové hlavy	670x350
Délka řezu nožové hlavy	600
Průměr řezacího bubnu	2200

Hmotnosti	[kg]
Prázdná hmotnost (s noži)	12000
Provozní hmotnost (s řepou)	14500

Otáčky	[ot./min]
Otáčky elektromotoru (max.)	2150
Max. otáčky bubnu	54
Min. otáčky bubnu	5

Řezný výkon	[t/den]
Jmenovitý řezný výkon*	10000

Instalovaný výkon	[kW]
Třífázový pohon	132
Hydrogenerátor	6,3
Polohovací pohon	0,75
Příkon (celkem)	170 [kVA]

Tab. 1 Technické údaje



2.6 Povrchové úpravy kovů

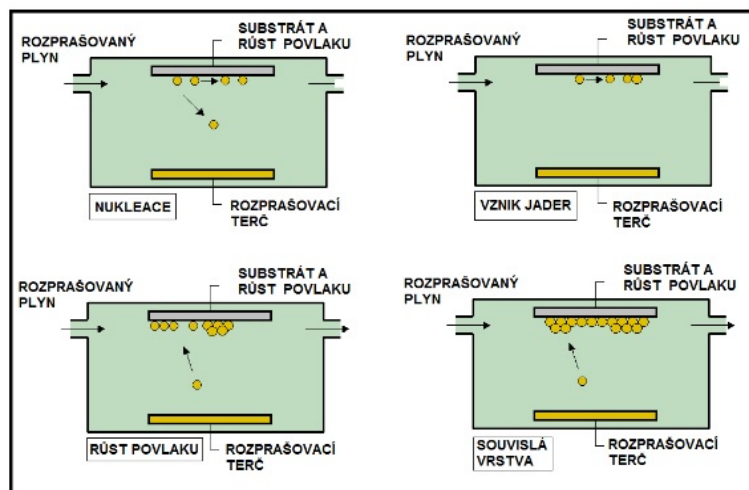
Možností povrchových úprav je celá řada, v této kapitole se ale budu věnovat pouze metodám CVD, PVD a žárovému stříkání.

2.6.1 PVD povlaky

Depozice z par za pomoci fyzikálního děje (PVD – Physical Vapour Deposition) je proces vytváření tenkých tvrdých povlaků z par původně pevného substrátu. Deponizační procesy probíhají za teplot okolo 150-500 °C a za tlaku okolních plynů 0,1-1 Pa [14] [16] [21].

Tenká vrstva se vytváří pomocí kondenzace atomů, které jsou odpařovány z pevného targetu (terče), který funguje jako zdroj atomů pro vrstvu (Obr. 11). Touto metodou obecně dosahujeme menších tloušťek vrstev než metodou CVD. V dnešní době se využívají tři základní způsoby použití metody PVD. Jsou jimi napařování, napařování a iontová implantace [16] [21].

Obecnou výhodou metod PVD je jejich nízká ekologická náročnost v porovnání s metodou CVD. V této technologii nevzniká chemicky agresivní prostředí a ani při ní nevznikají žádné chemicky agresivní odpady [20].



Obr. 11 Schéma PVD procesu [21]

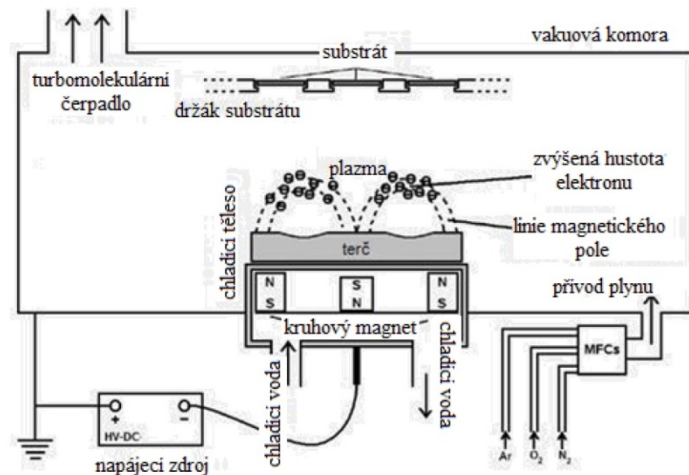
2.6.1.1 Napařování

K napařování dochází, pokud jsou částice z targetu na substrát přenášeny pomocí fyzikálních napařovacích procesů (Obr. 12). Tento proces nepoužívá teplotu, ale energii dopadajících plynných iontů (Ar , O_2 , N_2) urychlených plazmatem, k vypuzení částic targetu. Při procesu je zapotřebí vysokého vakua, okolo 0,7 Pa, ve specifických případech i 0,7–2 Pa [16] [21].

Targety mohou fungovat jako samostatné prvky, směsi či sloučeniny. Napařovací targety mají velkou životnost a jejich umístění ve vakuové komoře dovoluje napařování v libovolném směru. Obecně je vzdálenost tagretu od substrátu menší než při napařování. Zdrojem iontů může být iontové dělo, nízkotlaké plazma či vysokotlaké plazma [16] [21].



Hlavní výhody této technologie jsou nízké zatížení terče tepelnou radiací a možnost použití maloobjemové vakuové komory; tvar targetu může být prut nebo válec, v případě reaktivní depozice je možnost snadného zdokonalení v podobě aktivace reaktivních plynů plazmatem. Mezi nevýhody lze zařadit nízkou intenzitu procesu vzhledem k tepelnému napařování, nutné chlazení targetu, protože většina dopadající energie se mění na teplo, nutnost řízení velkého množství provozních hodnot plynné atmosféry u reakčního napařování a drahé targety z málo využívaných materiálů [16] [21].



Obr. 12 Schéma napařování [24]

2.6.1.2 Napařování

K napařování dochází, pokud je základní materiál z targetu odpařen a jeho páry poté kondenzují na chladnějším povrchu substrátu. Díky použití nízkého tlaku je nutné materiál zahřát na výrazně nižší teplotu než při atmosférickém tlaku. K ohřevu se používá obloukové odpařování, elektronový paprsek a odporový ohřev. Procesy se provádí ve vakuu nebo za nízkého tlaku pracovního (inertního, reaktivního) plynu [16] [21].

Při použití nízkonapěťového oblouku jako zdroje tepla hoří oblouk mezi vakuovou komorou a terčem. Na terči hoří oblouk pouze bodově, což zajišťuje vysokou rychlost odpařování a ionizaci odpařených částic (pozitivní vliv na adhezi povlaku k substrátu). Bodové hoření targetu zajišťuje katodová skvrna, která má teplotu kolem 15 000 °C. V případě požadavku na kvalitnější strukturu povlaku je možné nahodilý pohyb katodové skvrny po terči regulovat použitím magnetického pole, v takovém případě se ale dají pro tvorbu povlaku použít jen elektricky vodivé materiály. Teplota substrátu dosahuje 400–550 °C a tlaku okolních plynů 0,5–3 Pa [16] [21].

Hlavní výhodou této technologie je délka procesu (v řádu hodin). Další výhodou je skutečnost, že plazmový oblouk efektivně ionizuje odpařený materiál spolu s reaktivním plynem. Hlavní nevýhodou je možnost ulpění makročásteček z katody na povlaku, kde vytvoří kuličky [16] [21].



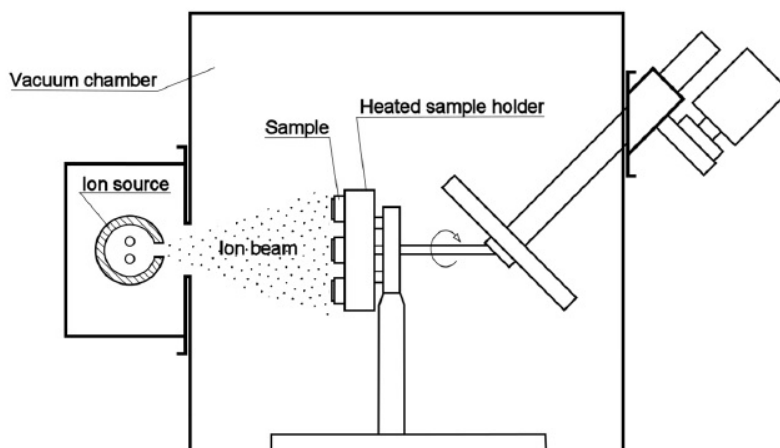
2.6.1.3 Iontová implantace

K iontové implantaci dochází, pokud je povrch současně modifikován dopadajícími ionty. Tento proces se uskutečňuje při tlaku 0,01 až 10 Pa. Před procesem samotné implantace dochází k čištění povrchu pomocí inertního Argonu. Po tomto procesu se do povlakovací vakuové komory přivede reakční plyn (N_2, O_2, CH_4). Na povrch substrátu jej přivede záporné předpětí až 1000 V; tím vznikne elektrický výboj, který ionizuje atomy reakčního plynu a následně i uvolněné částice targetu (Obr. 13). Pomocí elektrického pole jsou ionty urychleny a dopadají na povrchu substrátu. Urychlovací napětí se v průběhu depozice snižuje na 50–100 V, závisí na vlastnostech tvořeného povlaku [16] [21].

Vzhledem k principu technologie je možné nanášet rozličné druhy povlaků (TiN, TiCN, TiAlVN, CrN, CrAlN, TiZrN, TiN/NbN), díky teplotám okolo 300 °C lze povlakovat i teplotně zpracované materiály [16] [21].

Hlavní výhodou této technologie je odstranění znečištěné vrstvy povrchu substrátu a tím zajištění vysoké adheze. Dalšími výhodami jsou přesně definované chemické složení povlaku, vysoká hustota a možnost snížit teplotu substrátu až na 160 °C [16] [21].

Nevýhodou této technologie je nutnost řídit velké množství procesních parametrů, nutnost dosáhnout rovnoměrného bombardování povrchu substrátu a za určitých podmínek možnost ulpění atomů plynu v rostoucí vrstvě povlaku [16] [21].



Obr. 13 Schéma iontové implantace [22]

2.6.2 CVD povlaky

Chemická depozice z plynné fáze (CVD – Chemical Vapor Deposition; Obr. 14) je proces k vytváření tenkých tvrdých povlaků z par kovů při současném působení chemické reakce. Depoziční procesy probíhají za teplot okolo 700–1100 °C a tlaku okolních plynů 1–100 kPa [14] [16] [21].

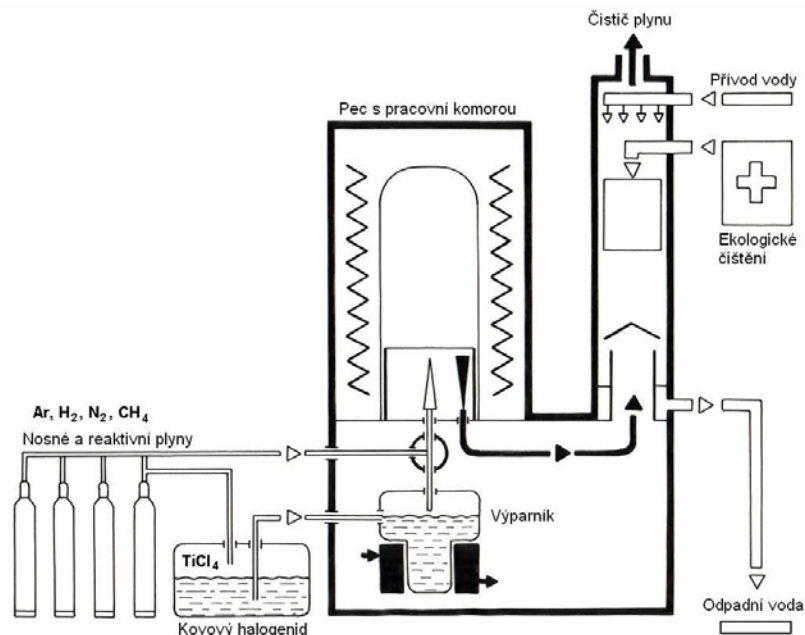
Tenká vrstva se vytváří pomocí vhodných halogenidů, které se do komory přivádí ve formě páry. Tyto halogenidy se teplem rozkládají a na povrchu substrátu se snadno vytváří nitridy a karbidy



příslušného kovu, které tvoří tenkou vrstvu. Jako pomocný plyn se do komory přivádí reaktivní plyn (N_2 , NH_4 , CH_4). Pro optimální rychlost nanášení CVD povlaků se do plynné směsi přidává i tzv. nosný plyn, nejčastěji je to argon nebo helium [16] [21].

Vrstvy vytvářené metodou CVD mohou dosahovat tloušťky až 20 μm , lze vytvářet jak jednotlivé vrstvy, tak multivrstvy. Multivrstvy jsou povlaky skládající se minimálně ze dvou různých vrstev. Přechody mezi vrstvami zabraňují šíření poruch a tím přispívají k větší odolnosti vůči opotřebení a také k větší tvrdosti [16] [21].

Pro metodu CVD se používají reaktory s teplou stěnou komory a se studenou stěnou komory. Teplá stěna komory je nejčastěji vyhřívána topnými elementy, teplota stěny je stejná jako teplota substrátu. Nevýhodou této metody je vytváření povlaku i na stěně komory a možná reakce par se stěnou komory a následná kontaminace materiálu substrátu. Tato metoda se tedy hodí jen pro exotermické reakce, kdy vysoká teplota stěny reaktoru zabraňuje tvorbě povlaku. Studená stěna komory je nejčastěji chlazena vodou, kdežto držák substrátu je vyhříván. Tato metoda se používá pro endotermické reakce. Díky nízké teplotě stěny pracovní komory se povlak vytváří pouze na substrátu a nedochází k jeho kontaminaci [16] [21].



Obr. 14 Princip povlakovacího zařízení pro metodu CVD [15]

Pro optimalizaci ekonomie a technologie procesu byla metoda CVD upravena a dnes se používají i její modifikace:

- **PECVD** – *Plasma Enhanced CVD*, plazmaticky aktivovaná CVD metoda,
- **MWPCVD** – *MicroWave Plasma CVD*, mikrovlnná plazmatická CVD metoda,
- **MTCVD** – *Middle Temperature CVD*, metoda CVD využívající středních teplot,
- **HFCVD** – *Hot-Filament CVD*, metoda CVD využívající žhavé vlákno,
- **LICVD** – *Laser Induced CVD*, laserově indukovaná CVD metoda [15].



2.6.2.1 Výhody metody CVD

- vysoká hustota povlaku,
- vysoká teplotní stabilita povlaku,
- vysoká homogenita povlaku (dobré pokrytí substrátu),
- vynikající adheze k podkladovému materiálu, rovnoměrná tloušťka u tvarově složitých nástrojů a součástí,
- dobrá stechiometrie povlaku (možnost jejího řízení v širokých mezích),
- možnost vytvářet poměrně složité vrstvy, a to nejen nitridu kovů (Al_2O_3 , uhlíkové kluzné vrstvy, diamantové vrstvy),
- ekonomická výhodnost tvorby silných vrstev povlaků,
- povlakování předmětu ze všech stran v důsledku poměrně vysokých pracovních tlaků plynné směsi (1:100 kPa),
- relativně nízké pořizovací i provozní náklady, slučitelnost s ostatními výrobními postupy [15].

2.6.2.2 Nevýhody metody CVD

- vysoké pracovní teploty, které mohou mít nepříznivý vliv na vlastnosti povlakovaného předmětu i samotného povlaku,
- nelze vytvářet některé typy povlaků (např. kombinací různých typů kovů – Ti-AlN),
- nelze napovlakovat ostré hrany,
- vysoká energetická náročnost,
- dlouhý pracovní cyklus 8:10 hodin,
- ekologicky nevyhovující pracovní plynné směsi (toxické chloridy),
- tahová napětí ve vrstvě (rozdílný koeficient tepelné roztažnosti) [15].

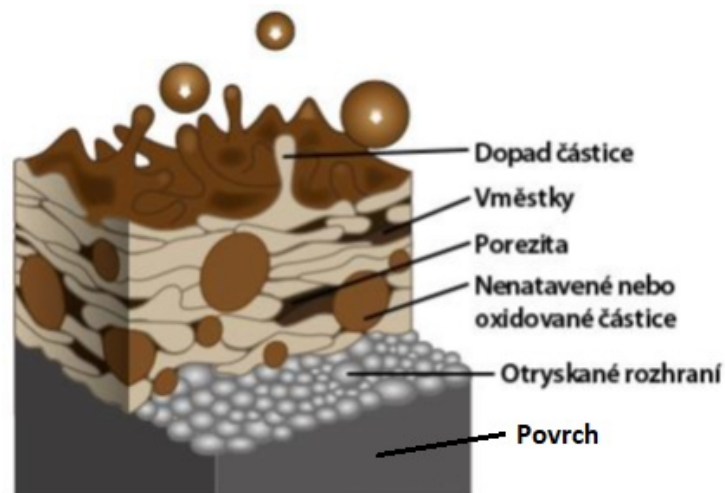
2.6.3 Žárové stříkání

Povlaky CVD a PVD vznikají ve vakuu přímou kondenzací či napravováním kovu na substrát. V praxi se ale vyskytuje velké množství případů, kdy má povlakovaná součást větší rozměry než dostupná vakuová komora, a proto je nutné vytvářet povlak za atmosférického tlaku. V tomto směru je velice výhodné použití žárového stříkání [18].

Proces žárového stříkání je složen z několika základních kroků. Prvním krokem je roztavení kovu ve formě prášku nebo drátu. Následuje urychlení taveniny, dopadu jednotlivých kapek kovu na povrch substrátu a jejich zploštění. Posledním krokem je ztuhnutí vrstvy a postupná tvorba předepsané tloušťky povlaku. Vzhledem k tomu, že transport kapek kovu je bodový, je nutné proudem kovu pohybovat, aby vznikla vrstva po celé ploše výrobku [18].

Tloušťka vrstvy dosahuje řádově jednotek milimetrů. Struktura vrstvy je ovlivněna dopadovou energií kapek taveniny (Obr. 15), jejím průvodním jevem je ale pórovitost a čočkovitý tvar krystalických zrn. Pórovitost se pohybuje od 1–20 %, u izolačních vrstev se požaduje větší, kdežto u otěruvzdorných a korozivzdorných vrstev je pórovitost nežádoucí. Spolu s póry se do struktury mohou dostat i oxidy, nenatavené částice kovu a vměstky [18].





Obr. 15 Schéma povrchu vytvořeného žárovým stříkáním dle [18]

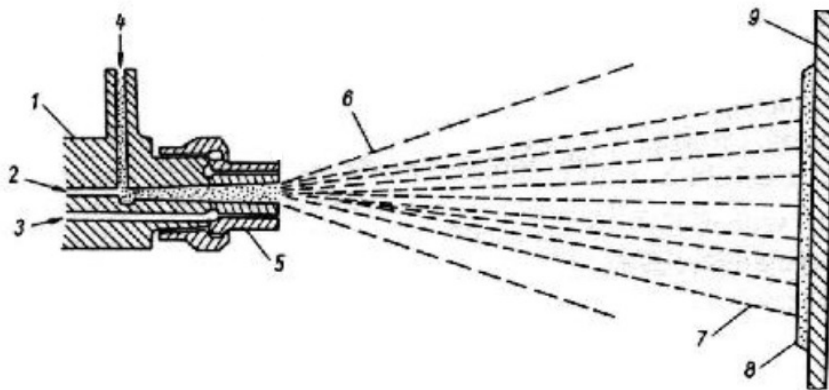
Podle způsobu tavení a urychlení kapek taveniny kovu lze žárové stříkání rozdělit na tři základní druhy:

- žárové stříkání plamenem,
- žárové stříkání el. obloukem,
- žárové stříkání plazmou.

2.6.3.1 Žárový nástřik plamenem

Technologie nanášení povlaku plamenem se řadí mezi nejstarší technologie tvorby povlaků, přídavný materiál je buď ve formě prášku (Obr. 16), nebo drátu. Přídavný materiál je přiveden do místa hoření směsi plynů (kyslík-acetylen, kyslík-propan-butan nebo kyslík-propylen) kde je nataven. Za pomoci stlačeného vzduchu (0,6 MPa) je urychlen na požadovanou rychlost (40–100 m/s), která zaručí dostatečnou dopadovou energii pro zajištění přilnavosti (15–25 MPa). Dosahuje se teplot 2700 až 3100 °C v závislosti na použití redukčního, neutrálního nebo oxidačního plamene. Nejčastěji se používá pro nanášení povlaků slitin na bázi Fe, Ni či keramiky, případně cermetů. Tloušťka vrstev vytvořených touto technologií se pohybuje od 0,1 až 0,8 mm. Nevýhodou této technologie je vysoká pórovitost povlaku (6–15 %), to má za následek obecně menší hustotu a přilnavost povlaku. Vzhledem k nízké pořizovací ceně vybavení, nízké náročnosti na vybavenost pracoviště a nenáročný provoz se tato technologie používá poměrně často, například při servisních operacích [17] [18].





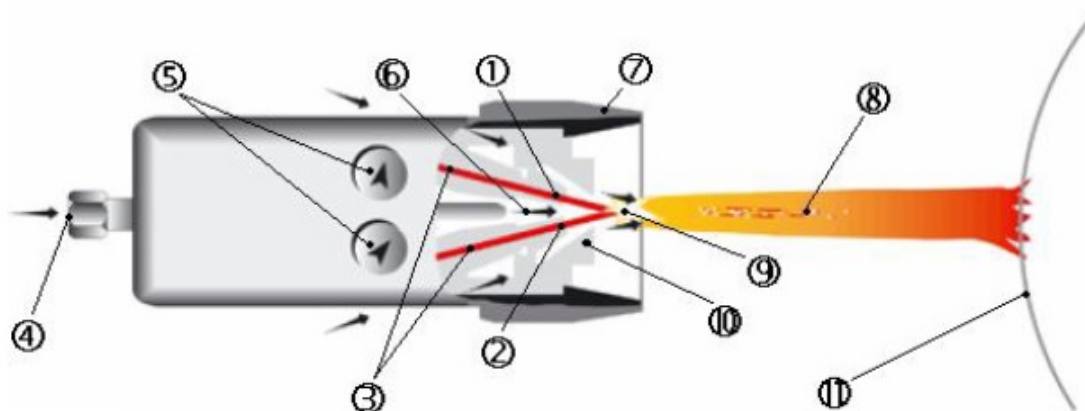
Obr. 16 Schéma žárového nástřiku plamenem – přídavný materiál prášek dle [18]

1 – stříkácí pistole (hořák), 2 – vstup dopravního plynu, 3 – vstup směsi hořlavého plynu a kyslíku, 4 – vstup přídavného materiálu (prášku), 5 – tryska stříkácí pistole, 6 – plamen, 7 – paprsek nanášených částic, 8 – povlak žárového nástřiku, 9 – základní materiál

2.6.3.2 Nástřik elektrickým obloukem

Technologie používá k natavení přídavného materiálu teplo elektrického oblouku, který hoří mezi dvěma dráty (Obr. 17). Přídavný materiál musí být ve formě drátu, což omezuje volbu přídavného materiálu pouze na kovy, aktuálním trendem jsou i trubičkové dráty, které dovolují použití cermetů. Přídavný materiál musí být vodivý. Teplota oblouku dosahuje 3800–4000 °C. Po natavení je tavenina urychlena stlačeným vzduchem. Dopadová rychlost taveniny se pohybuje v rozmezí 100 až 150 m/s. Tloušťka vrstev vytvořených touto technologií se pohybuje od 0,1 až 0,15 mm. Hustota povlaku se pohybuje od 80 do 95 %. Výhody této technologie jsou jednoduchost, nízké provozní náklady, možnost ručního použití na velkých plochách a mobilita (pro provoz je potřeba pouze zdroj stlačeného vzduchu a elektřiny). Nevýhodou je vyšší pórovitost, nutnost elektricky vodivého materiálu a nižší soudržnost se základním materiálem [17] [18].





Obr. 17 Schéma principu nástřiku elektrickým obloukem [18]

1 – anoda (+), 2 – katoda (-), 3 – přídavný materiál, 4 – přívod vzduchu, 5 – podavače drátů, 6 – proud hnacího vzduchu, 7 – stínění, 8 – proud nataveného materiálu, 9 – el. oblouk, 10 – tryska, 11 – základní materiál

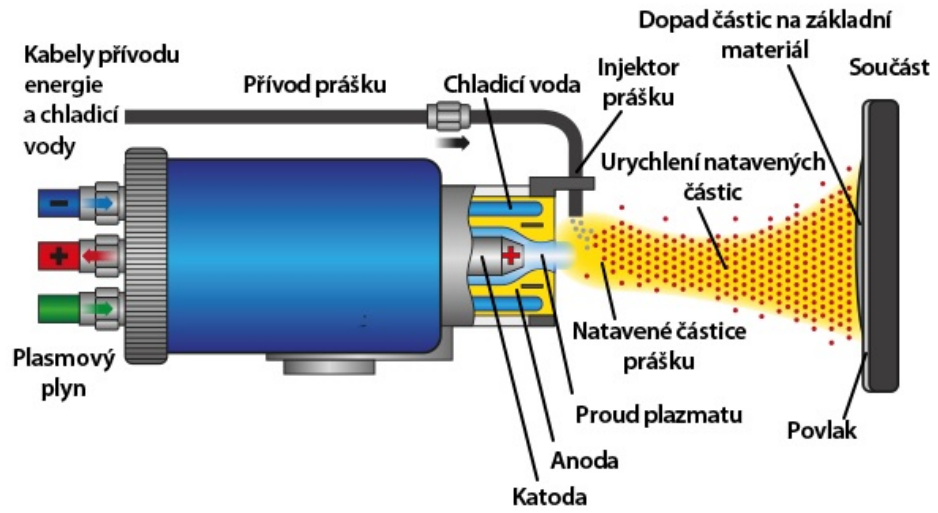
2.6.3.3 Plazmatický nástřik

Pro nanášení povlaků z kovů, které mají vysoký bod tání, se využívá plazmatického nástřiku. Nejpoužívanějším způsobem v technické praxi je stejnosměrný neizotermický plazmatický nástřik (Obr. 18). Používá se hořák, který má katodu z wolframu a měděnou anodu. V prostředí ionizovaného plynu (argon, vodík, dusík) hoří oblouk, do kterého je radiálně nebo axiálně-radiálně dodáván přídavný materiál. Po natavení v oblouku je materiál tlakem plynu nasměrován k povrchu základního materiálu. Pro různé speciální aplikace byla tato technologie rozpracována do více typů:

APS	atmosférický plazmatický nástřik,
LPPS	plazmatický nástřik za sníženého tlaku,
VPS	plazmatický nástřik ve vakuu,
WPS	vodou stabilizovaný plazmatický nástřik,
WSP-H	hybridní plazmatický nástřik,
UPS	podvodní plazmatický nástřik,
RFPS	radiofrekvenční plazmatický nástřik.

Všechny tyto technologie dovolují tavit přídavný materiál v rozmezí teplot 12 000 – 25 000 °C. Dopadová rychlost se pohybuje v rozmezí 60–400 m/s. Tyto technologie umožňují přípravu vysoce variabilních funkčních povlaků o tloušťkách od 0,05–3 mm s porozitou 2–8 % a adhezí 20–70 MPa [28].





Obr. 18 Schéma principu nástřiku plazmou [19]



2.7 Opotřebení

Protože se tato diplomová práce zabývá vlivem povlaku na životnost upínacích desek, je zde zmíněna krátká teorie o abrazivním opotřebení těchto desek. V praxi ale existuje velké množství druhů opotřebení a jejich kombinací [3] [18] [20].

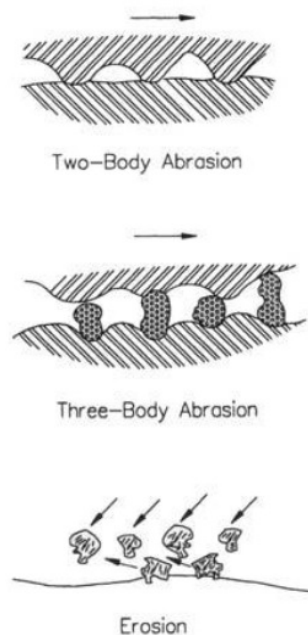
Opotřebení se projevuje jako změna povrchu a rozměrů tuhých strojních součástí. Způsobuje ji vzájemné působení funkčních ploch součástí nebo styk součásti s prostředím. V praxi nejčastějším poškozením strojních součástí nebo zařízení je právě opotřebení, může být tak rozsáhlé, že vede až k fatální destrukci. Projevem opotřebení je odstranění materiálu z funkční plochy v důsledku mechanického namáhání silami, někdy je doprovázeno i jinými vlivy, např. chemickými nebo elektrochemickými. Pro hodnocení opotřebení se používá koeficient opotřebení K . Pro jeho stanovení se v současnosti nejčastěji používá vztah:

$$K = \frac{V}{L} \times s$$

kde: V – objem opotřebovaného materiálu;
 L – normálové zatížení;
 S – skluzová vzdálenost.

Podle podmínek vzniku opotřebení rozlišujeme šest základních druhů opotřebení:

adhezivní,
 abrazivní,
 erozivní,
 kavitační,
 únavové,
 vibrační.



Obr. 19 Typy abrazivního opotřebení [18]



Pro abrazivní opotřebení je typických několik mechanismů. Zaprvé je to oddělování částic jedné funkční plochy v důsledku kontaktu s druhou funkční plochou, která je tvrdá a drsná; zadruhé vzájemný pohyb volných tvrdých částic mezi dvěma funkčními plochami, případně zpracování materiálu, který tvrdé částice obsahuje. Průvodním jevem při abrazivním opotřebení je rýhovaný vzhled, při intenzivním opotřebení jsou drážky patrné pouhým okem. Velikost rýhování je přímo úměrná velikosti zatížení, délce kluzné dráhy a vzájemné tvrdosti [3] [18] [20].

Dle schématu (Obr. 19) lze rozlišit tři druhy abrazivního opotřebení:

První případ je dobová abraze, kde povrchové nerovnosti tvrdšího materiálu rýhují materiál měkčí. Příkladem je broušení, pilování [3] [18] [20].

Druhý případ je tříbodová abraze, jedná se o případ, kdy jsou mezi dvěma povrchy volné tvrdé částice. Příkladem je broušení volným brusivem nebo lapování [3] [18] [20].

Třetí případ je eroze, částice, které poškozují funkční povrch, jsou nesený proudem plynu nebo kapaliny; příkladem je tryskání [3] [18] [20].



3 Experimentální část

3.1 Návrh metodiky experimentu

Experiment probíhal v průběhu řepné kampaně 2017, která začala 12. září 2017 a skončila 27. ledna 2018. Experiment probíhal na všech bubnových řezačkách, které jsou v závodě; konkrétně se jedná o typ Putsch TSM 2200-22-600 S – tyto řezačky mají interní označení 2, 3, 6. Pro experiment byly zvoleny dva druhy originálních upínacích desek značky Putsch a alternativní upínací desky mnou navržené a vyrobené externí firmou KOVO A+B. Jako podklad pro navržení alternativních upínacích desek sloužili materiálové rozboru dvou druhů originálních upínacích desek Putsch.

Soupis všech typů upínacích desek:

Dodavatel

Putsch

KOVO A+B

Povrchová úprava

Bez povlaku

Povlak chromovou vrstvou

Polotovar

Výpalek

Pásovina





Materiál

Originál Putsch

ČSN 12 050

Experiment probíhal po dobu celé řepné kampaně, od 12. 9. 2017 do 27. 1. 2018, celkem tedy 137 dnů. Pro experiment byly využity všechny tři bubnové řezačky, kterými závod disponuje. Před začátkem kampaně byly na všechny nožové hlavy nasazeny nové upínací desky. V každé řezačce byla každým testovaným druhem osazena jedna testovací nožová hlava. Nožová hlava obsahuje 3 testovací upínací desky (Obr. 20). Celkem bylo v každé řezačce 5x3, tedy 15, testovacích upínacích desek. Vzhledem k tomu, že experiment probíhal v reálném provozu cukrovaru, byly upínací desky barevně rozlišeny (Tab. 2). Tímto způsobem bylo možno kazety s upínacími deskami odlišit od nožových hlav, kterých se experiment netýkal (Obr. 21). Pro označení se využila akrylová barva ve spreji na nepracovních částech nožové hlavy a upínacích desek (Obr. 22).



Popis upínací desky	Materiál	Povlak	Polotovar	Barva	Označení
Originální UD Putsch	X	Chrom	X		MOD
Originální UD Putsch	X	-	X		ZEL
Alternativní UD KOVO A+B	ČSN 12 050	-	Výpalek		ŽLU
Alternativní UD KOVO A+B	ČSN 12 050	-	Pásovina		ČER

Tab. 2 Označení lišt během experimentu

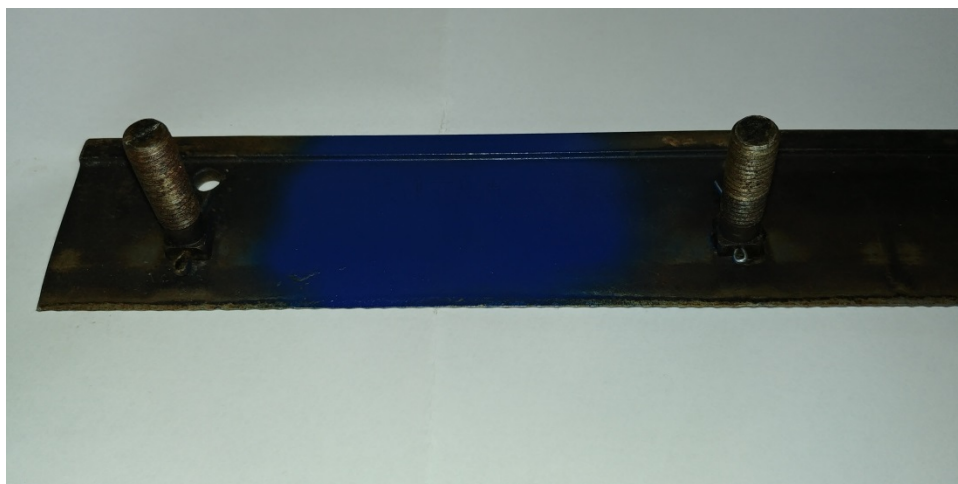


Obr. 20 Nožová hlava osazená upínacími deskami v provozu



Obr. 21 Detail značení nožových hlav v provozu

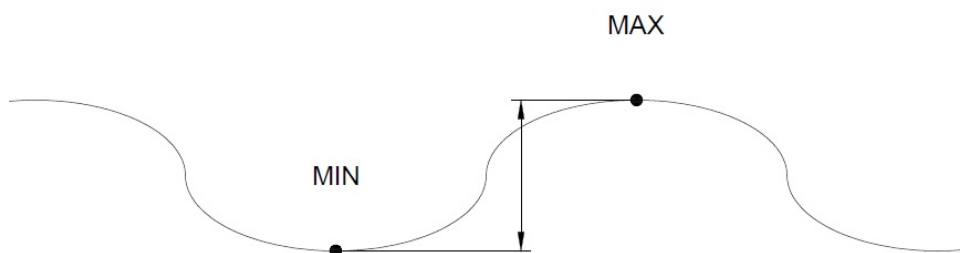




Obr. 22 Detail značení upínacích desek v provozu

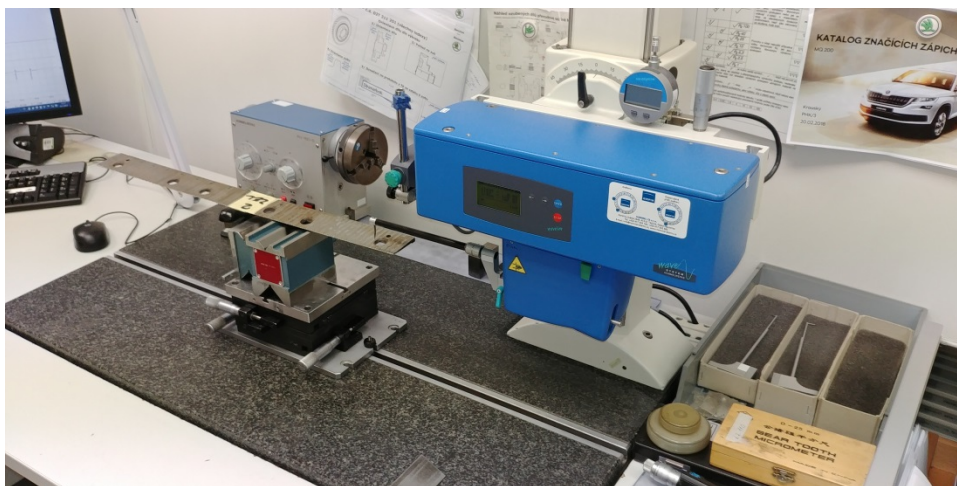
Po konci kampaně bylo přistoupeno k čištění a demontáži nožových hlav a upínacích desek. Na čištění řezaček se použila horká voda spolu s tlakovým vzduchem. Během demontáže řezačkových nožových hlav a vyjmutí upínacích desek a nožů byly testovací upínací desky separovány od běžně používaných upínacích desek a roztříděny podle typu a čísla řezačky, na které se používaly. Takto vyjmuté upínací desky byly posléze zabaleny a připraveny na převoz do laboratoří Škoda Auto, a.s., pro vyhodnocení opotřebení.

Pro hodnocení opotřebení se vybrala metoda nasnímaní profilu opotřeбенé upínací desky. Opotřebení se projevuje tvorbou drážek. Mírou opotřebení byla zvolena hloubka těchto drážek, kdy hloubkou drážky byl rozdíl dvou sousedních minim a maxim (Obr. 23). Pro měření této hodnoty se vybralo zařízení HOMMEL-ETAMIC TURBO WAVE se snímačem WCD TA60 – 81444 (Obr. 24).



Obr. 23 Schéma měření hloubky drážky





Obr. 24 Měřicí zařízení HOMMEL-ETAMIC TURBO WAVE

Limitujícím faktorem byl na měřicím zařízení jeho rozsah v ose Y, ten činil 120 mm. Délka upínací desky je 600 mm, proto bylo na liště vybráno kontrolní místo. Toto místo bylo před snímáním profilu odmaštěno a vyčištěno pomocí technického lihu. V měřeném profilu se vyskytuje 15 drážek. Průměrná vzdálenost sousedního minima a maxima je 4 mm, což souvisí s použitím žlábkovitého nože s dělením $t = 8$ mm na řepné řezačce (viz Kap. 4). Hodnoty hloubky drážky se zapisovaly do zápisové tabulky. Tato tabulka není součástí práce a je obsažena jako příloha A, sloužila primárně pro zápis dat.

Pro primární zhodnocení se používaly tabulky 10.1, 10.2, 10.3, ve kterých se sečetly jednotlivé hloubky drážek všech lišt konkrétního typu a konkrétní řezačky. Protože každá nožová hlava obsahuje 3 upínací desky, měl soubor hodnot pro výpočet průměru a rozptylu velikost $3 \times 15 = 45$ kusů upínacích desek. Rozptyl je veličina používaná ve statistice, je definován jako střední hodnota kvadrátu odchylek od střední hodnoty. Pro sekundární hodnocení se použila tabulka 10.4, ve které není rozlišováno číslo řezačky a velikost souboru pro hodnocení je $3 \times 3 \times 15 = 135$; tabulka se tedy zaměřuje pouze na jednotlivé úpravy upínacích desek. Pro lepší prezentaci dat byla tato poslední tabulka v závěru práce popsána i grafem.

3.2 Realizace experimentu

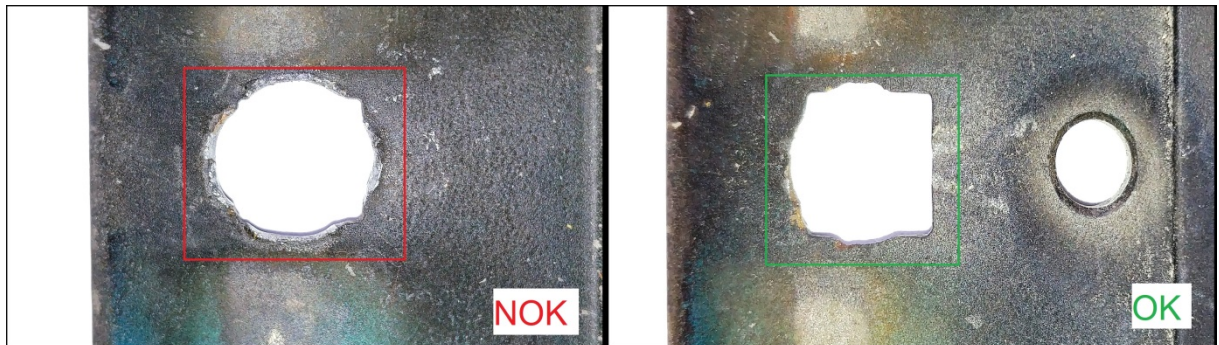
Oproti navržené metodice bylo nutné při praktickém provedení experimentu provést několik úprav. Během experimentu se vyskytlo několik drobných závad, žádná ale neznamenal nutnost přerušování experimentu, potažmo provozu cukrovaru.

Během závěrečné fáze experimentu, kdy se testovací upínací desky čistí, třídí a balí, dochází vzhledem k době trvání provozu (24 hodin) a působení tepla a vlhka k částečné povrchové korozi upínacích desek. Tato koroze byla při laboratorním snímání povrchu očištěna pomocí speciálních chemikálií.

V průběhu experimentu byla na jedné z upínacích desek na řezačce č. 2 zničena upínací čtvercová díra a tato lišta musela být z testu vyřazena (Obr. 25). Tento problém se promítl do velikosti testovacího souboru pro řezačku 2. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k redukci všech testovacích souborů. Pro výsledky v tab. 10.3 je to $2 \times 15 = 30$ měření hloubky drážky a pro výsledky



v tabulce 10.4 je to $2 \times 15 \times 3 = 90$ měření hloubky. Výběr dvou ze tří upínacích desek z nepoškozených souborů různých typů upínacích desek byl proveden náhodným výběrem.



Obr. 25 Tvar čtvercové díry, porovnání vhodného a nevhodného tvaru

3.3 Vlastnosti upínacích desek Putsch a konstrukce alternativních desek

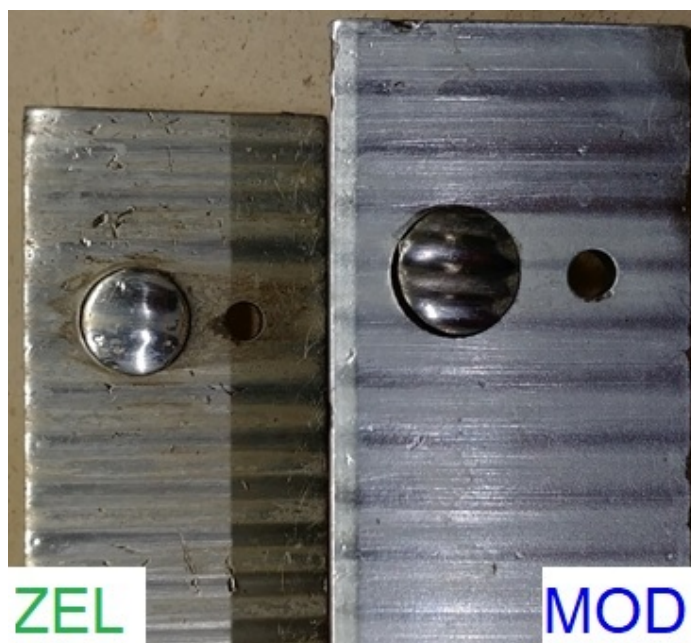
V dobrovickém závodě je umístěno na stanici řezaček 6 strojů, tři bubnové řezačky Putsch TSM 2200-22-600 S a tři deskové, taktéž od firmy Putsch. Deskové řezačky mají oproti bubnovým zhruba třetinový výkon, podílejí se na celkovém výkonu stanice řezaček minimálně. Proto se tato diplomová práce zabývá problematikou životnosti a opotřebením upínacích desek na bubnových řezačkách.

Každá bubnová řezačka má 22 nožových hlav, každá nožová hlava má tři upínací desky. Upínací desky se v průběhu kampaně mění a v závislosti na jejich opotřebení rozhodne provozní technik o intervalu jejich výměny. Zpravidla se tato výměna uskutečňuje v polovině předpokládané délky kampaně. Pro bubnové řezačky Putsch nabízí jejich výrobce i upínací desky jako spotřební díl, v nabídce má upínací desky s povlakem chromu a upínací desky bez povlaku. Běžně se používají upínací desky bez povlaku vzhledem k jejich nižší ceně.

Vlivem opotřebením upínacích desek se na jejich pracovním povrchu tvoří stejnoměrně hluboké a rozestoupené drážky (Obr. 26). Vznik těchto drážek souvisí s použitím královopolských nožů na stanici řezaček (viz Kap. 2.4.1), nedostatečnou kvalitou vyprání řepy na prací lince (viz Kap. 2.2.2) a tvarem řezu řepné bulvy. Přítomnost drážek na pracovním povrchu upínací desky způsobuje změnu polohy řezané řepné bulvy během 1. a 2. řezu a ve výsledku ovlivňuje ideální tvar sladkého řízku, který pak nemá ideální poměr plochy k objemu.

Pro navržení vhodného tvaru a materiálu alternativních upínacích desek byly originální upínací desky Putsch podrobeny několika testům. Tyto testy byly provedeny jak na deskách s povlakem, tak na deskách bez povlaku.





Obr. 26 Opatřebení upínacích desek značky Putsch MOD a ZEL

3.3.1 Materiálový rozbor upínacích desek

Originální upínací desky byly podrobeny materiálovému rozboru v laboratořích společnosti FERONA, a.s., Steel Servis Centrum ve spolupráci s firmou HORA MONT, s.r.o. (Obr. 27). Na obrázku je označena upínací deska s povlakem zkratkou MOD a upínací deska bez povlaku zkratkou ZEL. Z rozboru je patrné, že materiál obou desek je obdobný. Český ekvivalent tohoto materiálu je ocel ČSN 14 140. Upínací desky se liší pouze přítomností vrstvy čistého chromu na povrchu.

Z informací od dodavatel originálních upínacích desek víme, že materiál není tepelně zpracován.

Ferona, a.s. SSC Vážní 847, 501 12 Hradec Králové Laborať pro chemické a mechanické zkoušky kovů tel: 498 514 005, fax: 498 514 000												
Protokol o zkoušení č: 96/ZLF/2018												
Zákazník	HORA MONT s.r.o. Vážní 891, 500 03 Hradešc Králové											
Označení vzorku	2 části nožů ozn. 1.MOD. a 2.ZEL.											
Druh zkoušky	Chemický rozbor											
Zkušební zařízení	SpectroMAXx LMX08											
Číslo objednávky	p.Vondráček Jiří				Číslo KS / zakázky				KS 365743			
Datum přijetí zakázky	11.4.2018				Datum zkoušky				12.4.2018			
Teplota (°C)	21,7				Vlhkost (%)				39,9			
Počet vzorků	Chemický rozbor	Tahová zkouška	Zkouška tvrdosti	Drsnost povrchu	Tloušťka povrchu							
	2	0	0	0	0							
Výsledky zkoušek												
Chemické složení - průměr (%)												
Označení	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co		
96-1.mod.	0,306	0,3380	0,7510	0,0120	0,0210	1,1800	0,2040	0,0270	0,0325	0,0041		
1	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As	Zr	N	Fe	
	0,0140	0,0020	0,001	0,008	< 0,005	< 0,001	0,001	0,002	< 0,001	0,011	97,050	
Označení	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co		
96-2.zel.	0,311	0,2650	0,7660	0,0110	0,0210	1,0400	0,2000	0,0550	0,0331	0,0030		
2	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As	Zr	N	Fe	
	0,0110	0,0020	0,001	0,007	< 0,005	< 0,001	0,001	0,003	< 0,001	> 0,030	97,210	
Prohlášení: 1. Dosažené výsledky se týkají pouze zkoušeného vzorku. 2. Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.												
Zkoušku provedl: (jméno, podpis)	Košinár Jozef											

Obr. 27 Materiálový rozbor upínacích desek



3.3.2 Snímkování na elektronovém mikroskopu

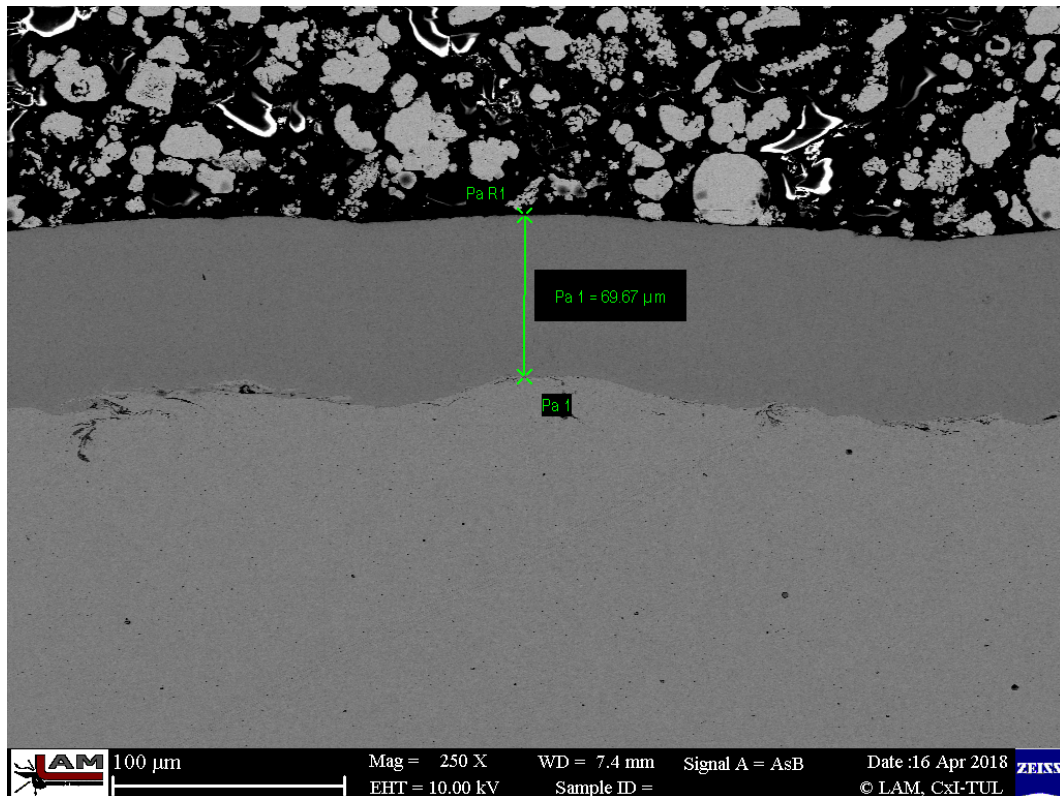
Pro pozorování kvality povlaku (hustota, čistota) a zjištění stavu rozhraní povlak-substrát byla upínací deska s povlakem nasnímána za pomoci elektronového skenovacího mikroskopu ZEISS ultra plus (Obr. 28) v laboratořích KMT TUL.



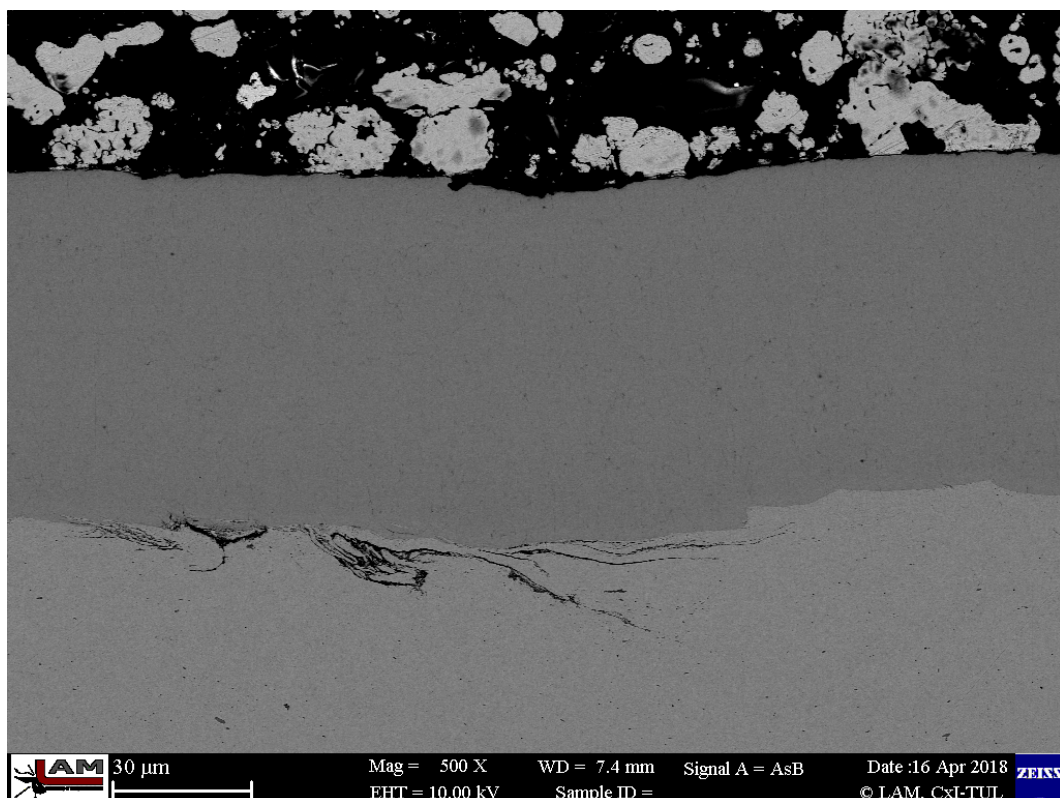
Obr. 28 ZEISS ultra plus a optika Oxford X-max 20

Na Obr 29 je znázorněna tloušťka povlaku, která dosahuje v případě konkrétního vzorku 69,67 μm . Na Obr. 30 a 31 je možné na rozhraní povlak-substrát vidět velké defekty, které mají vliv na výslednou adhezi povlaku. Z těchto snímků je také patrné, že povlak má minimální, téměř nulovou, poróznost a obsah nečistot v povlaku je také téměř nulový. Největší nedostatky tak tvoří přípravné operace před nanášením povlaku. Nízká adheze povlaku k substrátu se nejvíce projevuje na hranách upínací desky, tyto hrany přicházejí nejčastěji do kontaktu s drobnými tvrdými částicemi (písek, kameny, beton atd.). Na těchto hranách je povlak porušen, což vede k jeho odloupení, jak je vidět na Obr. 32.



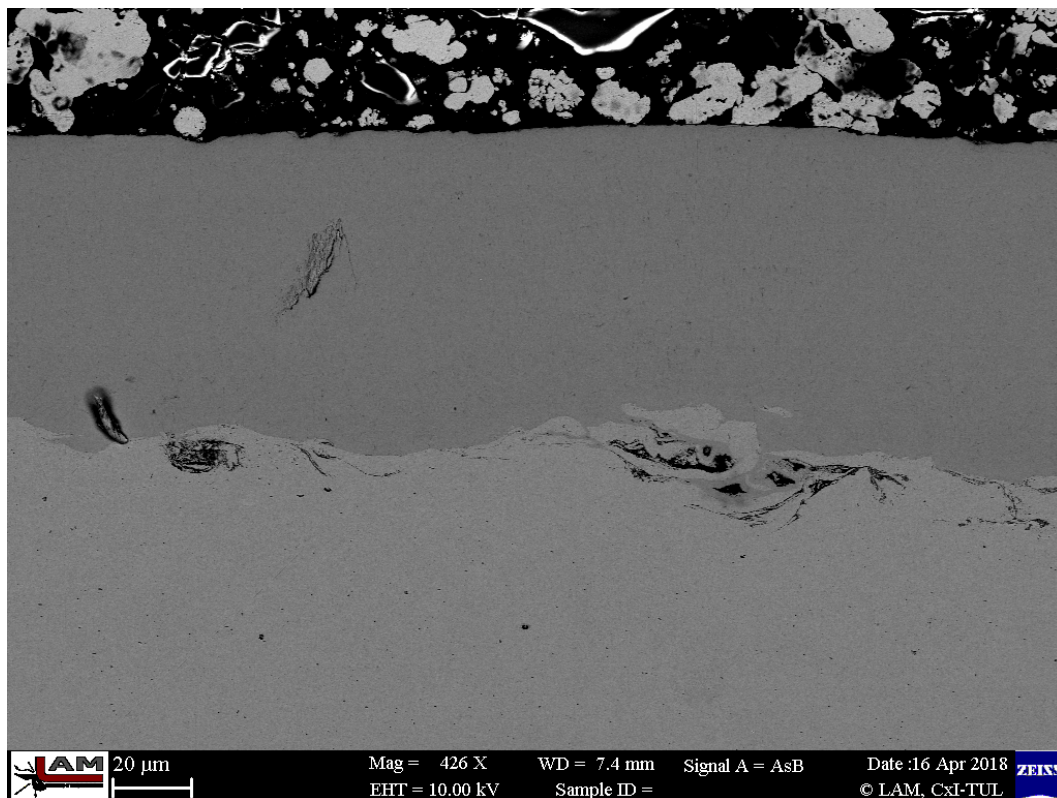


Obr. 29 Snímek tloušťky vrstvy



Obr. 30 Snímek defektu na rozhraní povlak-substrát 1





Obr. 31 Snímek defektu na rozhraní povlak-substrát 2

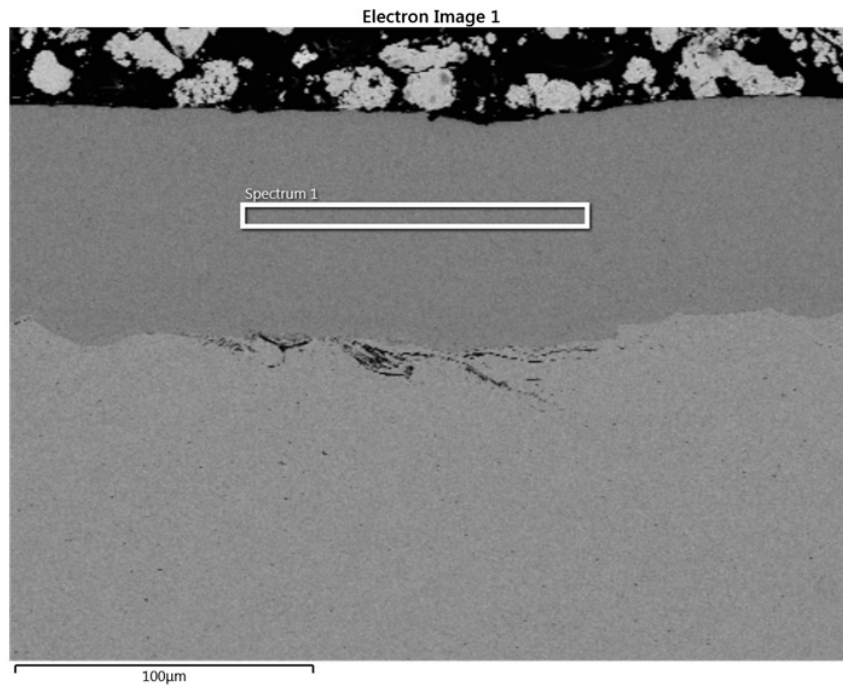


Obr. 32 Deformace hrany upínací desky značky Putsch s povlakem

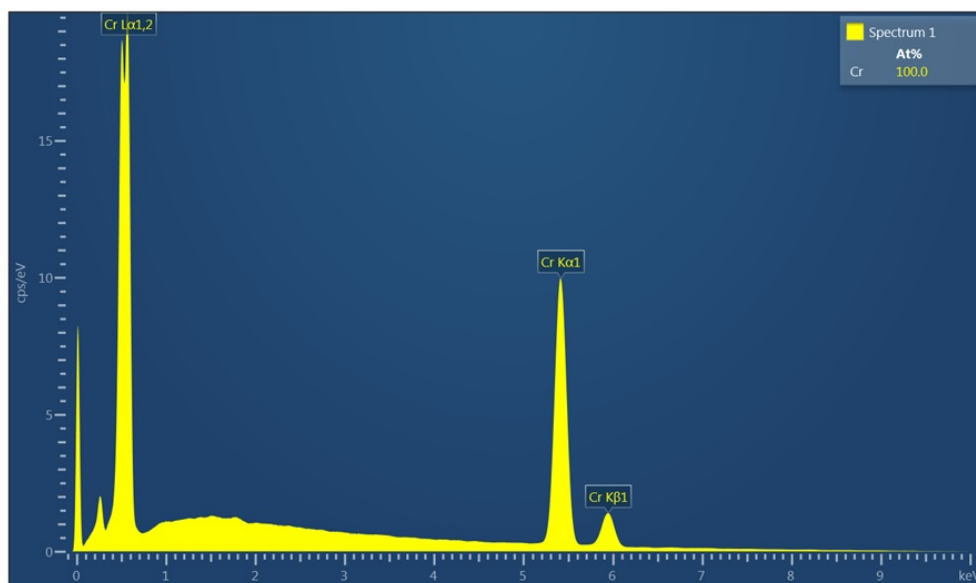


3.3.3 Materiálová analýza vrstvy

Upínací deska s povlakem byla nasnímaná za pomoci elektronového skenovacího mikroskopu ZEISS ultra plus. Tento mikroskop je vybaven přídatnou optikou Oxford X-max 20 pro energiově disperzní analýzu. Z výsledků analýzy jasně plyne, že povlak na upínacích deskách tvoří pouze chrom (Obr 33 a Obr. 34). Píky na obrázku 9.9 pouze zobrazují, z jaké energetické hladiny byly elektrony pro analýzu vyraženy. V tomto případě se jedná o energetickou hladinu 1 (K) a 2 (L), velikost těchto pík je charakteristická právě pro energetické hladiny chromu.



Obr. 33 Místo materiálové analýzy



Obr. 34 Výsledek materiálové analýzy



3.3.4 Návrh alternativních upínacích desek

Pro výrobu alternativních upínacích desek byla vybrána firma KOVO A+B. Původně uvažovaný materiál ČSN 14 140 nahradil materiál, který byl snáze dostupný v době přípravy experimentu, a to materiál ČSN 12 050. Vzhledem k cenové nabídce nanášení povlaku na upínací desku bylo rozhodnuto, že alternativní upínací desky budou vyrobeny bez povlaku. Pro výrobu jsem zhotovil výrobní dokumentaci, která je přiložena k diplomové práci jako příloha B.

Pro výrobu první části alternativních upínacích desek byla zvolena jako polotovar pásovina šířky 50 mm a tloušťky 8 mm, a to z důvodu její okamžité dostupnosti u dodavatele. Originální lišty mají šířku 51 mm. Pro výrobu druhé poloviny alternativních upínacích desek byl použit jako polotovar výpalek z plechu tloušťky 8 mm. Tento výpalek již měl shodnou šířku jako originální upínací desky. Vzhledem k možnostem vypalování pomocí laserového paprsku, které dokázalo již na polotovaru předpřipravit čtvercové upínací otvory a vymežovací otvory, bylo možné zkrátit obráběcí čas a tím docílit urychlení výroby a snížení dodací lhůty. Z hlediska ceny upínací desky nebyla změna polotovaru přínosná. Konkrétně cena upínací desky z polotovaru z výpalku i z pásoviny je 660 Kč.

4 Diskuze

Cílem diplomové práce bylo zjištění vlivu povlaku na životnost upínacích desek pro řepnou rezačku PUTSCH TMS 2200-22-600 S. Experiment probíhal na originálních upínacích deskách firmy PUTSCH s povlakem a bez povlaku. Dále byly do experimentu zahrnuty upínací desky bez povlaku od české firmy KOVO A+B. Tyto upínací desky byly vyrobeny podle výrobní dokumentace ve dvou variantách, podle použitého polotovaru.

Vyhodnocení experimentu bylo rozděleno do několika podkapitol z důvodu větší přehlednosti. Tyto jednotlivé kapitoly se zaměřují na vyhodnocení experimentu s měřením opotřebení na upínacích deskách, další část porovnává jednotlivá řešení z pohledu ceny a poslední podkapitola se věnuje porovnání z hlediska mechanických vlastností upínacích desek vlastní konstrukce a originálních upínacích desek Putsch.

4.1 Vyhodnocení na základě návrhu metodiky pro vyhodnocení

Při měření hloubky drážky navrženou metodikou byly zjištěny hodnoty, které jsou uvedeny v Tab 3, 4, 5, 6.

Číslo rezačky	2			
Typ UD	MOD	ZEL	ŽLU	ČER
Hodnota [mm]				
Průměr	0,0151	0,1412	0,2876	0,3013
Rozptyl	0,0046	0,0268	0,0136	0,0172

Tab. 3 Primární vyhodnocovací tabulka – rezačka 2



Číslo řezačky	3			
Typ UD	MOD	ZEL	ŽLU	ČER
Hodnota [mm]				
Průměr	0,0128	0,1409	0,2881	0,2951
Rozptyl	0,0041	0,0252	0,0145	0,0169

Tab. 4 Primární vyhodnocovací tabulka – řezačka 2

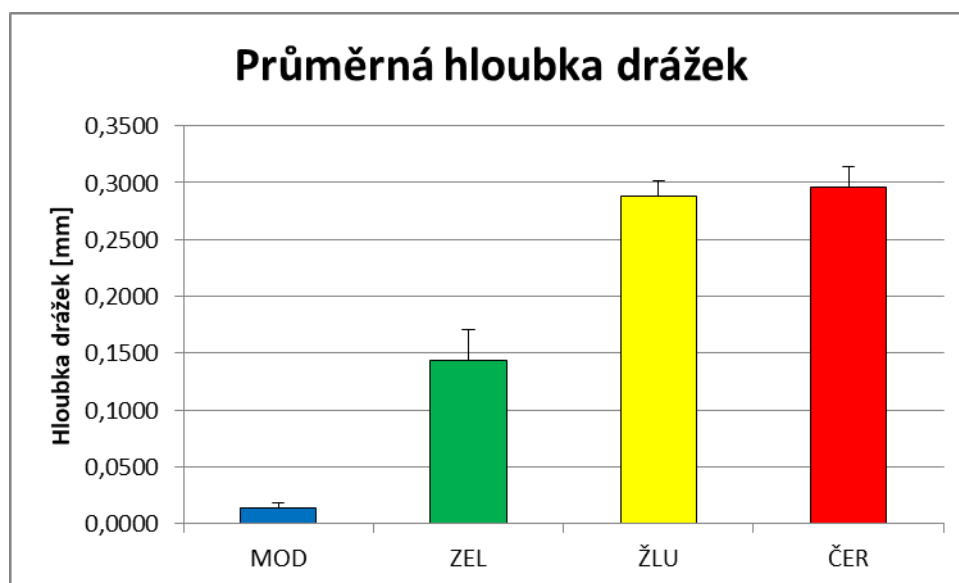
Číslo řezačky	6			
Typ UD	MOD	ZEL	ŽLU	ČER
Hodnota [mm]				
Průměr	0,0138	0,1487	0,2873	0,2933
Rozptyl	0,0038	0,0288	0,0125	0,0188

Tab. 5 Primární vyhodnocovací tabulka – řezačka 2

Pro lepší interpretaci výsledku byla Tab. 6 převedena na graf, který je vidět na Obr.

Typ UD	MOD	ZEL	ŽLU	ČER
Hodnota [mm]				
Průměr	0,0139	0,1436	0,2877	0,2963
Rozptyl	0,0043	0,0272	0,0136	0,0180

Tab. 6 Sekundární vyhodnocovací tabulka



Obr. 35 Graf průměrné hloubky drážek s chybovými úsečkami

Z naměřených hodnot je jasně patrné, že vliv povlaku na hloubku drážek je značný. Nejmenších hodnot dosahuje originální UD Putsch s povlakem. Zbývající UD mají hloubku drážek řádově větší. Druhá nejlépe hodnocená UD je originální UD Putsch bez povlaku. UD od výrobce KOVO A+B mají hloubku drážek oproti UD Putsch bez povlaku zhruba dvakrát větší.



U souboru naměřených hodnot byl zjištěn jejich rozptyl a na základě jeho velikosti je možné tvrdit, že výsledky dosažené zvolenou metodou jsou přesné. Zvolená metoda měření hloubky drážky je vhodná. Obdobná hloubka drážek ukazuje, že jednotlivé upínací desky jsou v průběhu kampaně zatěžovány podobným způsobem a nedochází k přetěžování jednotlivých řezaček.

4.2 Ekonomické vyhodnocení

Při ekonomickém vyhodnocení se vycházelo pouze z pořizovací ceny jednotlivých typů UD (Tab. 7). Originální UD Putsch byly fakturovány v eurech, přepočít na české koruny byl proveden na základě aktuálního kurzu ze dne vystavení faktury.

Typ UD	Jednotková cena [Kč]
MOD	1861
ZEL	1527
ŽLU	660
ČER	660

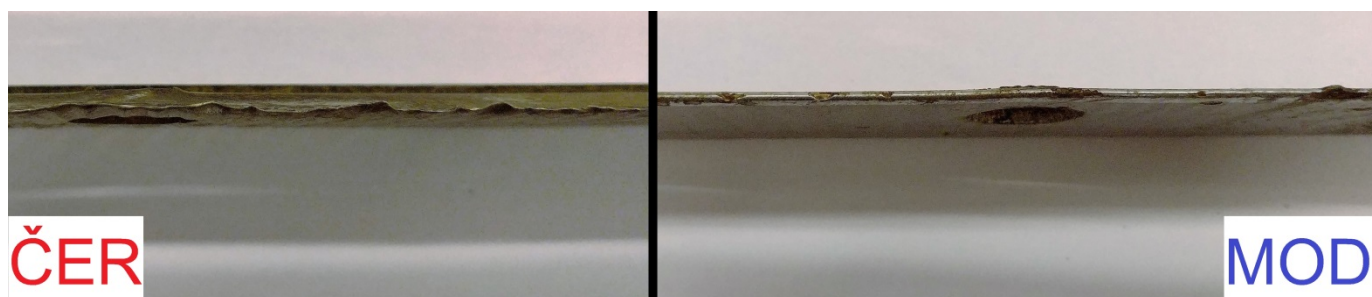
Tab. 7 Pořizovací cena upínacích desek

Při porovnání ceny jednotlivých typů upínacích desek je jasně patrný rozdíl cen u originálního a alternativního dodavatele. Během zkoušek životnosti byla délka experimentu nastavena na celou délku kampaně. Při běžném provozu cukrovaru se upínací desky v polovině kampaně mění za nové. Při tomto způsobu práce je ekonomicky výhodnější používat alternativní lišty od výrobce KOVO A+B.

4.3 Geometrické vyhodnocení

Z výsledků uvedených na Obr. 36 je patrné, že rozdíl ve volbě polotovaru je minimální. Rozdíl mezi průměrnou hodnotou hloubky drážky u upínací desky z polotovaru výpalek a průměrnou hodnotou hloubky drážky u upínací desky z polotovaru pásovina činí pouze 0,0087 mm. Tento rozdíl je zanedbatelný.

Vliv změny geometrie měl ale viditelný vliv na deformaci tenčího konce upínací desky. U upínacích desek z polotovaru pásovina s šířkou 50 mm (ČER) došlo k viditelně většímu zvlnění okraje v důsledku ztenčení než u upínacích desek z polotovaru výpalek s šířkou 51 mm (MOD). Porovnání vidíme na obrázku 10.2; ztenčení vede ke zhoršení kvality řezání sladkých řízků. Toto ztenčení a následné zvlnění lze vysvětlit úbytkem materiálu v důsledku tvorby drážek. Tyto sladké řízky následně vykazují větší hmotnostní podíl drtě, která způsobuje následné problémy v technologii extrakce sladké šťávy [16].



Obr. 36 Porovnání zvlnění na konci UD ČER a MOD



5 Závěr

Tato diplomová práce byla zpracována v cukrovaru společnosti Tereos, a.s., v Dobrovici. Praktická část probíhala na přelomu roku 2017 a 2018 během řepné kampaně, jak se nazývá období provozu cukrovaru.

Výroba cukru spočívá v extrakci sacharózy z cukrové řepy a následně krystalizaci čisté sacharózy. Aby byl tento proces možný, je třeba řady technologických kroků, jedním z těchto kroků je řezání cukrové řepy na sladké řízky v řepné řezačce. Praktická část této práce byla vypracována na řepné řezačce Putsch TSM 2200-22-600 S. S efektivním řezáním cukrové řepy souvisí i opotřebení jednotlivých částí řepné řezačky.

Hlavní cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv povlaku na životnost upínacích desek v řepné řezačce. Součástí řešení je porovnání originálních upínacích desek Putsch a alternativních upínacích desek.

Hlavní část porovnání se zakládala na měření hloubky drážek vzniklých na povrchu upínacích desek v důsledku přímého kontaktu s řepou během procesu řezání pomocí kontaktního měřicího zařízení HOMMEL-ETAMIC TURBO WAVE se snímačem WCD TA60 – 81444. Upínací desky, na kterých je nejmenší hloubka drážky, představují upínací desky s největší životností. Přesná geometrie povrchu upínací desky je důležitým faktorem při výrobě kvalitních sladkých řízků.

Z výsledků měření hloubky drážky bylo zjištěno, že vliv povlaku na životnost upínací desky je značný. Průměrná hloubka drážky je u upínacích desek s povlakem řádově menší než u upínacích desek bez povlaku. Povlak dovoluje v případě neporušení celistvosti výměnu upínacích desek za nové až po ukončení kampaně. Životnost takovýchto upínacích desek je tedy jedna kampaň. Druhá nejmenší průměrná hloubka drážek je u originálních upínacích desek bez povlaku, ale i ona je řádově větší než průměrná hloubka drážky u upínacích desek s povlakem. Na třetím a čtvrtém místě se umístily alternativní upínací desky. Tyto desky mají průměrnou hloubku drážky zhruba dvojnásobnou oproti originálním upínacím deskám bez povlaku. Rozdíl v průměrné hloubce drážek v případě alternativních upínacích desek může být způsoben odlišnou geometrií. Jediné nedostatky zaznamenávají upínací desky s povlakem v ceně a v odolnosti povlaku na hraně, kde dochází k častému kontaktu s tvrdými částicemi. Problém s odolností lze, na rozdíl od ceny, řešit přímo v cukrovaru. Jak již bylo zjištěno v předchozí bakalářské práci, odolnost a životnost řezačkových nožů je úzce spjata s kvalitou vyprání řepy. Souvislost s kvalitou vyprání řepy a odolností povlaku na hraně upínací desky byla zjištěna i v tomto případě [1].

Z výsledků ekonomického porovnání je vzhledem k ceně alternativních upínacích desek, která je zhruba třetinová oproti ceně originálních upínacích desek s povlakem, jasně patrné, že je lepší používat upínací desky alternativní, a to i za cenu jejich nízké životnosti, která vede k jejich nutné výměně během kampaně. Rozdíl v hloubce drážky a ceně vyřazuje z používání originální upínací desky bez povlaku, u kterých je zhruba dvojnásobná cena oproti alternativním deskám, ale rozdíl v hloubce drážky je oproti upínacím deskám s povlakem taktéž řádový.

Z výsledků geometrického vyhodnocení alternativních upínacích desek jasně je patrné, že zkrácení šířky lišty v důsledku použití polotovaru pásovina, vedlo k nepříjemnému zvlnění tenčích konců



desky, což má za následek zhoršení kvality sladkých řízků, konkrétně zvětšení produkce drtě. Dále je i samotná průměrná hloubka drážky u upínacích desek z polotovaru pásovina horší než u upínacích desek z polotovaru výpalek.

Diplomová práce prokázala významný vliv povlaku na životnost upínacích desek. Z testovaných upínacích desek se ukázaly právě upínací desky s povlakem jako ty s nejdelší životností. Pro dlouhou životnost upínacích desek a zároveň kvalitní provoz na stanici řezaček je důležitá vysoká čistota vstupující řepy.



6 Seznam použité literatury

- [1] GRACL, Filip. Porovnání trvanlivosti řezačkových nožů od různých dodavatelů, které se používají při řepné kampani ve společnosti Tereos TTD, a.s. a návrhy na zvýšení jejich trvanlivosti. [Bakalářská práce]. Liberec, TUL, 2016. 72 s.
- [2] BRETSCHNEIDER, Rudolf. *Technologie cukru (surovárna a rafinérie)*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1969. 401 s. ISBN-.
- [3] BÁTORA, Bohumil. *Obrobené povrchy: technologická dedičnost, funkčnost*. Trenčín: Trenčianska univerzita, 2000. ISBN 80-889-1419-1.
- [4] AUTOR NEUVEDEN. *Cukrovarnický kalendář 1996*. 1. vyd. Praha: VUC Praha, a.s., 1996. 260 s. ISBN -.
- [5] ASADI, Mosen. *Beet-sugar handbook*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2007. ISBN 978-047-1763-475.
- [6] PELIKÁN, Miloš, Luděk HŘIVNA a Josef HUMPOLA. *Technologie sacharidů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999. ISBN 80-715-7407-4.
- [7] PUTSCH GmbH & Co. KG, Hagen: *Návod k obsluze Provoz – Péče – Údržba*. [B. r.]. 55 s.
- [8] FRONĚK, Daniel. *170 let výroby cukru v Dobrovici*. 1. vyd. Praha: Cukrovar a rafinérie cukru Dobrovice TTD, 2001. 123 s. ISBN -.
- [9] CUKROVARY TTD, Dobrovice: *Cukrovary TTD – historie a současnost: 1831–2006*. 2006. 48 s
- [10] GEBLER, Jaroslav., aj. *Český cukrovarnický průmysl v době vstupu do EU*. 1. vyd. Praha: VUC Praha, a. s., 2004. ISBN -.
- [11] OTTO, Jan. *Ottův Slovník naučný: ilustrovaná encyklopedie obecných vědomostí. Dvacátýprvý díl*. 1. vyd. Praha: J.Otto, 1904. 1105 s. ISBN-.
- [12] AUTOR NEUVEDEN. *Cukrovarnický kalendář 1995*. 1. vyd. Praha: CURKSPOL PRAH - MODŘANY, a.s., 1995. 350 s. ISBN -.
- [13] AUTOR NEUVEDEN. *Dobrasemena.cz* [online]. [cit. 22.5.2016]. Dostupný na http://dobrasemena.cz/Cukrovka_306.html
- [14] DAŘOUREK, Karel. *Vybrané technologie povrchových úprav*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-168-8.
- [15] FOLTÝN, Michal. *Povlakované slinuté karbidy*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VUT.
- [16] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. Brno, 2006 [cit. 2017-10-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf. Studijní opory. VUT-FSI.
- [17] ČELKO, Ladislav. *Technologie žárových nástříků: Aplikace, kvalita povlaků a rizika při jejich výrobě*. *Konstrukce.cz* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, s.r.o, 2017, 2017 [cit. 2018-02-21].



Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/technologie-zarovych-nastriku-aplikace-kvalita-povlaku-a-rizika-pri-jejich-vyrobe/>

- [18] LÍBAL, Martin. *Stanovení hlavních parametrů ovlivňujících přilnavost a odolnost povlaků žárových nástřiků vytvořených elektrickým obloukem*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. ZCU.
- [19] Základní metody [online]. Brno: Plasmametal, 2017 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://www.plasmametal.cz/zakladni-metody>
- [20] BAYER, R. G. *Mechanical wear prediction and prevention*. New York: M. Dekker, 1994. Mechanical engineering (Marcel Dekker, Inc.), 91. ISBN 978-082-4790-271.
- [21] NOVÁKOVÁ, Ranada. *Povlakování střížných nástrojů ze slinutých karbidů*. Brno, 2015. Diplomová práce. VUT.
- [22] ČVUT Ústav Fyziky [online]. In Praha: ČVUT, - [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: http://lin202.fsid.cvut.cz/research/Povrchy/modifikace_3.pdf
- [23] Sputter Deposition. In: *RWTH AACHEN UNIVERSITY* [online]. Aachen: RWTH AACHEN, 2015 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.physik.rwth-aachen.de/cms/Physik/Die-Fachgruppe/Institute-und-Lehrstuehle/~fuiw/Institute/?lidx=1>
- [24] DOLEŽALOVÁ, Petra. *Vlastnosti povlaků řezných nástrojů ze slinutého karbidu*. Brno, 2013. Diplomová práce. VUT



7 Seznam příloh

Příloha A.1	-	Tabulky hloubky drážky pro UD typ MOD	53
Příloha A.2	-	Tabulky hloubky drážky pro UD typ ZEL	54
Příloha A.3	-	Tabulky hloubky drážky pro UD typ ŽLU	55
Příloha A.4	-	Tabulky hloubky drážky pro UD typ ČER	56
Příloha č.B	-	Výrobní výkres upínací desky	1 A3



Příloha A.1 Tabulky hloubky měření pro UD typ MOD

Typ UD	MOD
Číslo UD	1
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,018
2	0,019
3	0,008
4	0,019
5	0,015
6	0,007
7	0,010
8	0,014
9	0,020
10	0,020
11	0,008
12	0,020
13	0,020
14	0,013
15	0,018
Průměr	0,0153
Rozptyl	0,0048

Typ UD	MOD
Číslo UD	2
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,008
2	0,012
3	0,019
4	0,018
5	0,020
6	0,016
7	0,006
8	0,018
9	0,020
10	0,016
11	0,017
12	0,017
13	0,012
14	0,016
15	0,008
Průměr	0,0148
Rozptyl	0,0043

Typ UD	MOD
Číslo UD	1
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,016
2	0,006
3	0,010
4	0,007
5	0,007
6	0,018
7	0,016
8	0,011
9	0,020
10	0,006
11	0,012
12	0,012
13	0,017
14	0,018
15	0,009
Průměr	0,0123
Rozptyl	0,0046

Typ UD	MOD
Číslo UD	2
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,013
2	0,012
3	0,015
4	0,016
5	0,017
6	0,010
7	0,016
8	0,016
9	0,008
10	0,008
11	0,013
12	0,020
13	0,011
14	0,015
15	0,009
Průměr	0,0133
Rozptyl	0,0034

Typ UD	MOD
Číslo UD	1
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,017
2	0,010
3	0,013
4	0,016
5	0,019
6	0,020
7	0,014
8	0,008
9	0,008
10	0,010
11	0,018
12	0,010
13	0,018
14	0,010
15	0,020
Průměr	0,0140
Rozptyl	0,0044

Typ UD	MOD
Číslo UD	2
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,011
2	0,009
3	0,010
4	0,015
5	0,013
6	0,011
7	0,018
8	0,015
9	0,014
10	0,019
11	0,010
12	0,017
13	0,017
14	0,012
15	0,014
Průměr	0,0136
Rozptyl	0,0032



Příloha A.2 Tabulky hloubky měření pro UD typ ZEL

Typ UD	ZEL
Číslo UD	1
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,157
2	0,131
3	0,174
4	0,146
5	0,128
6	0,187
7	0,181
8	0,148
9	0,155
10	0,152
11	0,113
12	0,123
13	0,140
14	0,116
15	0,177
Průměr	0,1484
Rozptyl	0,0231

Typ UD	ZEL
Číslo UD	2
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,112
2	0,115
3	0,110
4	0,115
5	0,136
6	0,124
7	0,185
8	0,136
9	0,111
10	0,184
11	0,191
12	0,137
13	0,104
14	0,118
15	0,134
Průměr	0,1340
Rozptyl	0,0283

Typ UD	ZEL
Číslo UD	1
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,152
2	0,119
3	0,153
4	0,164
5	0,115
6	0,104
7	0,122
8	0,124
9	0,135
10	0,144
11	0,101
12	0,119
13	0,173
14	0,095
15	0,186
Průměr	0,1337
Rozptyl	0,0264

Typ UD	ZEL
Číslo UD	2
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,166
2	0,142
3	0,151
4	0,116
5	0,139
6	0,189
7	0,147
8	0,145
9	0,116
10	0,142
11	0,155
12	0,161
13	0,132
14	0,129
15	0,192
Průměr	0,1481
Rozptyl	0,0216

Typ UD	ZEL
Číslo UD	1
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,096
2	0,182
3	0,184
4	0,173
5	0,102
6	0,119
7	0,126
8	0,161
9	0,106
10	0,165
11	0,103
12	0,158
13	0,142
14	0,171
15	0,164
Průměr	0,1435
Rozptyl	0,0306

Typ UD	ZEL
Číslo UD	2
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,183
2	0,182
3	0,126
4	0,163
5	0,112
6	0,095
7	0,167
8	0,143
9	0,141
10	0,184
11	0,154
12	0,155
13	0,179
14	0,174
15	0,151
Průměr	0,1538
Rozptyl	0,0259



Příloha A.3 Tabulky hloubky měření pro UD typ ŽLU

Typ UD	ŽLU
Číslo UD	1
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,268
2	0,297
3	0,267
4	0,268
5	0,290
6	0,270
7	0,304
8	0,304
9	0,299
10	0,272
11	0,296
12	0,289
13	0,311
14	0,296
15	0,303
Průměr	0,2888
Rozptyl	0,0150

Typ UD	ŽLU
Číslo UD	2
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,286
2	0,285
3	0,304
4	0,269
5	0,271
6	0,273
7	0,283
8	0,304
9	0,303
10	0,268
11	0,284
12	0,290
13	0,285
14	0,296
15	0,295
Průměr	0,2864
Rozptyl	0,0120

Typ UD	ŽLU
Číslo UD	1
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,279
2	0,285
3	0,266
4	0,311
5	0,273
6	0,270
7	0,283
8	0,274
9	0,288
10	0,281
11	0,310
12	0,308
13	0,267
14	0,300
15	0,278
Průměr	0,2849
Rozptyl	0,0150

Typ UD	ŽLU
Číslo UD	2
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,285
2	0,291
3	0,310
4	0,285
5	0,311
6	0,279
7	0,298
8	0,296
9	0,290
10	0,298
11	0,296
12	0,273
13	0,271
14	0,312
15	0,273
Průměr	0,2913
Rozptyl	0,0132

Typ UD	ŽLU
Číslo UD	1
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,267
2	0,292
3	0,307
4	0,297
5	0,274
6	0,282
7	0,287
8	0,311
9	0,272
10	0,305
11	0,295
12	0,283
13	0,274
14	0,285
15	0,288
Průměr	0,2879
Rozptyl	0,0129

Typ UD	ŽLU
Číslo UD	2
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,271
2	0,293
3	0,276
4	0,283
5	0,293
6	0,277
7	0,279
8	0,294
9	0,278
10	0,304
11	0,311
12	0,299
13	0,281
14	0,293
15	0,270
Průměr	0,2867
Rozptyl	0,0120



Příloha A.4 Tabulky hloubky měření pro UD typ ČER

Typ UD	ČER
Číslo UD	1
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,323
2	0,326
3	0,317
4	0,281
5	0,328
6	0,286
7	0,317
8	0,310
9	0,283
10	0,303
11	0,319
12	0,289
13	0,311
14	0,287
15	0,269
Průměr	0,3033
Rozptyl	0,0183

Typ UD	ČER
Číslo UD	2
Číslo řezačky	2
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,314
2	0,313
3	0,326
4	0,280
5	0,287
6	0,292
7	0,305
8	0,275
9	0,291
10	0,280
11	0,298
12	0,293
13	0,317
14	0,296
15	0,324
Průměr	0,2993
Rozptyl	0,0157

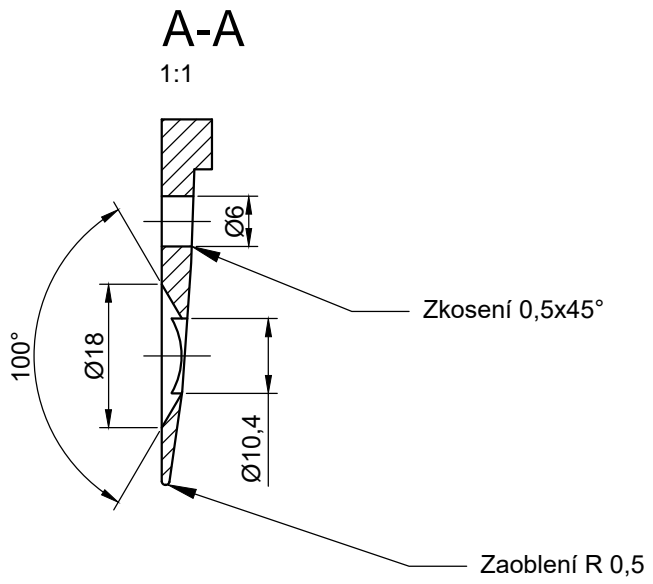
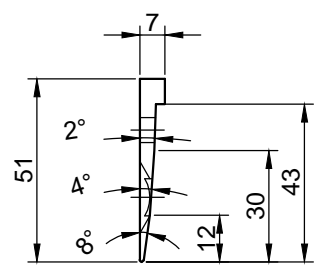
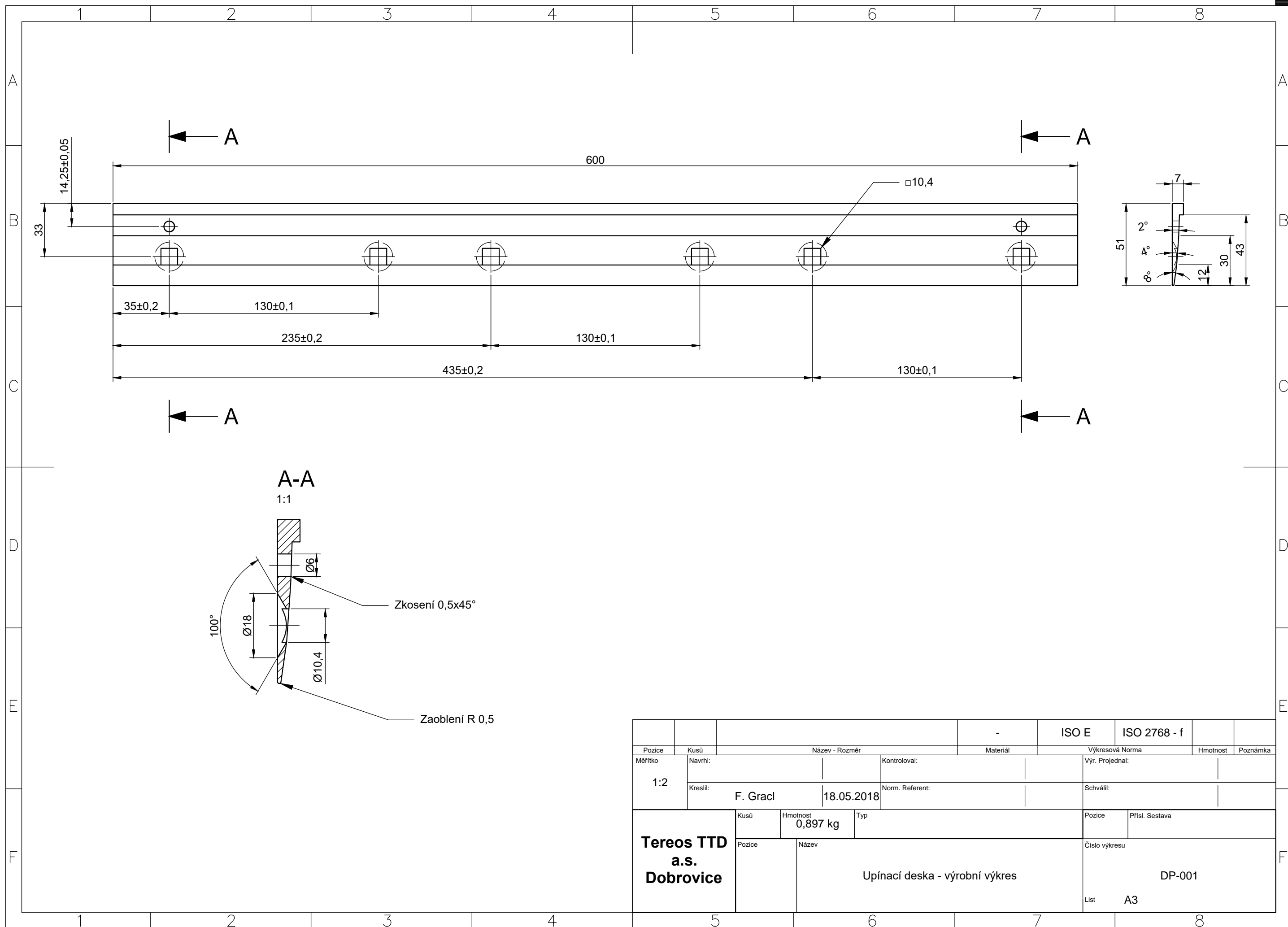
Typ UD	ČER
Číslo UD	1
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,290
2	0,296
3	0,329
4	0,277
5	0,298
6	0,313
7	0,315
8	0,291
9	0,315
10	0,288
11	0,272
12	0,287
13	0,272
14	0,294
15	0,281
Průměr	0,2945
Rozptyl	0,0163

Typ UD	ČER
Číslo UD	2
Číslo řezačky	3
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,304
2	0,324
3	0,313
4	0,294
5	0,287
6	0,277
7	0,292
8	0,277
9	0,271
10	0,312
11	0,288
12	0,327
13	0,299
14	0,275
15	0,274
Průměr	0,2943
Rozptyl	0,0177

Typ UD	ČER
Číslo UD	1
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,269
2	0,322
3	0,280
4	0,297
5	0,273
6	0,302
7	0,314
8	0,276
9	0,267
10	0,278
11	0,320
12	0,284
13	0,329
14	0,311
15	0,293
Průměr	0,2943
Rozptyl	0,0203

Typ UD	ČER
Číslo UD	2
Číslo řezačky	6
Drážka	Hodnota [mm]
1	0,271
2	0,281
3	0,272
4	0,267
5	0,300
6	0,309
7	0,291
8	0,314
9	0,266
10	0,315
11	0,312
12	0,310
13	0,295
14	0,296
15	0,285
Průměr	0,2923
Rozptyl	0,0170





				-	ISO E	ISO 2768 - f		
Pozice	Kusů	Název - Rozměr		Materiál	Výkresová Norma		Hmotnost	Poznámka
Měřítko	Navrhl:			Kontroloval:	Vyr. Projednal:			
1:2	Kreslil:	F. Gracl	18.05.2018	Norm. Referent:	Schválil:			
Tereos TTD a.s. Dobruvice	Kusů	Hmotnost	Typ	Pozice		Přísl. Sestava		
		0,897 kg						
	Pozice	Název		Číslo výkresu		DP-001		
		Upínací deska - výrobní výkres						
				List	A3			