



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

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





Comparison of durability of knives by various suppliers which are used during a beet campaign at Tereos TTD Ltd. and proposal of prolonging their lifetime

Bachelor thesis

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



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Filip Gracl**
Osobní číslo: **S14000379**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **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**
Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

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

1. Charakteristika technologií řezání cukrové řepy.
2. Popis řezací části bubnové řezačky TSM 2200-22-600 od výrobce Putsch Group.
3. Návrhy na zvýšení trvanlivosti řezačkových nožů a návrh metodiky hodnocení trvanlivosti nástrojů.
4. Realizace experimentů s nově navrženými řezačkovými noži a s nástroji od různých dodavatelů.
5. Hodnocení výsledků měření.
6. Závěrečné shrnutí a návrh opatření pro zvýšení efektivity řezání.

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


1. **BRETSCHNEIDER R.** *Technologie cukru (surovárna a rafinérie)*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1969. 401 s. ISBN -.
2. **VLACH, B., AJ.** *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha: SNTL 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
3. **VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J.** *Technológia obrábania a montáže*. 1.vyd. Bratislava: ALFA, 1991. 496 s. ISBN 80-05-00807-4.
4. **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.
5. **MÁDL, J., HOLEŠOVSKÝ, F.** *Integrita obrobených povrchů z hlediska funkčních vlastností*. Rec. K. Kocman, K. Jandečka. 1. vyd. Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, FVTM, 2008. 230 s. ISBN 978-80-7414-095-2.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Jersák, CSc.**
Katedra obrábění a montáže
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Kaláb**
Tereos TTD, a.s.

Datum zadání bakalářské práce: **1. března 2016**
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. srpna 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. března 2016

Anotace

Bakalářská práce se zabývá porovnáním nožů od různých dodavatelů pro řepnou řezačku bubnové konstrukce typu PUTSCH TSM 2200-22-600 S používanou v závodě společnosti Tereos TTD, a.s. v Dobrovici. Teoretická část ukazuje stručnou výrobu cukru, popis různých typů řezaček a princip řezání řepy na nich. Praktická část si klade za cíl porovnat nože od různých dodavatelů v reálných podmínkách řepné kampaně. Práce se také věnuje návrhu a porovnání různých zlepšení, která mají za účel zvýšení trvanlivosti ostří a delší životnost nože.

Klíčová slova

Bubnová řezačka, Putsch, nůž, trvanlivost, životnost

Annotation

The thesis is concerned with comparison of knives by various suppliers for a drum beet slicer PUTSCH TSM 2200-22-600 S, which is used by Tereos TTD Ltd. in their plant in Dobrovice. The theoretic part explains briefly sugar production, describes various kinds of slicers and their cutting principles. The practical part strives to compare knives by various suppliers within real conditions of a beet campaign. The dissertation also deals with proposal and comparison of various improvements whose aim is to prolong durability of knife edge and its longer lifetime.

Key words

Drum slicer, Putsch, knife, durability, lifetime

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1285**

Jméno a příjmení: **Filip G R A C L**

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
Konzultant: Ing. Jiří Kaláb

Počet stran: 74
Počet příloh: 2
Počet tabulek: 37
Počet obrázků: 360
Počet diagramů: 1

Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum: 8. července 2016

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za cenné rady a předmětné připomínky při vedení mé bakalářské práce. Dále velice děkuji Ing. Lukáši Voleskému za spolupráci při vyhodnocování praktické části a v neposlední řadě bych rád poděkoval společnostem Tereos TTD, a.s. a SHM, s.r.o. bez kterých by tato bakalářská práce nevznikla.

Tímto děkuji také celé své rodině za podporu a trpělivost projevanou v průběhu mého studia vysoké školy.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	12
Úvod	13
1 Stručná historie	14
1.1 Cukrovarnictví na území ČR.....	14
1.2 Cukrovar Dobruška.....	14
2 Stručný popis výroby řepného cukru	16
2.1.1 Doprava řepy do závodu.....	17
2.1.2 Praní a řezání řepy.....	17
2.1.3 Extrakce difúzní šťávy	18
2.1.4 Čištění šťáv, odpařování lehké šťávy	18
2.1.5 Vaření a odstředění cukroviny, rafinace surového cukru	19
2.1.6 Skladování krystalického cukru	20
3 Řezačka na řepu	21
3.1 Bubnová řezačka na řepu	21
3.2 Desková řezačka na řepu.....	22
3.3 Odstředivé řezačky na řepu.....	23
4 Řezačkové nože	24
4.1 Žlábkovité nože	24
4.1.1 Teoretický postup řezání bulvy žlábkovými noži.....	25
4.2 Šípové nože	26
4.3 Ostatní nože	26
5 Popis řezačky Putsch TSM 2200-22-600 S.....	27
5.1 Konstrukce a popis bubnové řezačky	27
5.2 Popis základních částí řezačky.....	28
5.2.1 Skříň stroje.....	28
5.2.2 Řezací buben	28
5.2.3 Nožové hlavy a nože.....	28
5.2.4 Dveře pro odběr cizích těles.....	28
5.2.5 Dvojitá výfuková tryska	29
5.2.6 Zařízení pro výměnu nožových hlav	29
5.2.7 Pohon	29
5.2.8 Hydraulická soustava.....	30
5.2.9 Elektrická řídicí jednotka	30

5.2.10	Bezpečnostní zařízení	30
5.3	Technické údaje.....	30
6	Návrh metodiky experimentu	32
7	Vlastnosti řezačkových nožů a možnosti jejich úprav	41
7.1	Mechanické a materiálové vlastnosti nože Putsch	41
7.2	Materiálový rozbor nože	41
7.3	Měření tvrdosti metodou HV1	41
7.4	Měření tvrdosti metodou HV5	42
7.5	Měření gradientu tvrdosti metodou HV0,2.....	42
7.6	Fotodokumentace stavu ostří	44
7.7	Návrhy na zvýšení trvanlivosti řezačkových nožů	44
8	Experimentální část řešení	46
8.1	Návrhy na zvýšení trvanlivosti zpracované v této bakalářské práci.....	46
8.1.1	Změna dodavatele nožů	46
8.1.2	Změna geometrie nože.....	51
8.1.3	Úprava povrchu nože	55
8.2	Návrhy na zvýšení trvanlivost technicky a ekonomicky realizovatelné	58
8.2.1	Optimalizace prací linky.....	59
8.2.2	Mokrý transportní cesta řepy do závodu.	60
8.2.3	Změna materiálu nože.....	60
8.3	Návrhy na zvýšení trvanlivosti technicky a ekonomicky nerealizovatelné.....	60
8.3.1	Třídění řepy před vstupem do závodu.	60
8.3.2	Změna tvaru nože a principu řezání sladkých řízků.....	61
8.3.3	Optimalizace transportu řepy od pěstitelů do závodu.....	61
8.3.4	Pěstování řepy v lehčích typech půd.....	61
8.4	Popis experimentu	61
8.4.1	Realizace experimentu	62
8.4.2	Příprava experimentu.....	63
9	Vyhodnocení experimentu	66
9.1	Vyhodnocení na základě návrhu metodiky vyhodnocení.....	66
9.2	Vyhodnocení na základě statistických metod normy ČSN ISO 8688-1.....	68
9.3	Vyhodnocení na základě mechanických vlastností	68
10	Závěr	70
11	Seznam použité literatury	72

12	Seznam příloh.....	74
----	--------------------	----

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratky:

BMA	Typ extraktoru dle dodavatele
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
HDD	Hard disk drive, pevný disk počítače
LED	Light Emitting Diode, dioda emitující světlo
M	Originální nůž Maguin
P	Originální nůž Hanmar
P	Originální nůž Putsch
P+3	Nůž Putsch s upraveným úhlem Alfa +3°
P-3	Nůž Putsch s povlakem Alwin
P-Cr	Nůž Putsch s upraveným úhlem Alfa -3°
RT	Typ extraktoru dle dodavatele
UP	Uživatelský program v prostředí LabView 14
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice

Jednotky:

HV0,2	[HV 0,2]	Tvrдость podle Vickerse
S	[px]	Relativní plocha otupení
S%	[px]	Procentuální relativní plocha otupení
α	[°]	Úhel nastavení pro řezačkový nůž



Úvod

Cukrovar v Dobrovici, patřící do společnosti Tereos TTD, a.s., řeší problém s velikostí spotřeby řezačkových nožů během řepné kampaně. Příčinou velké spotřeby řezačkových nožů v závodě je jejich častá výměna z důvodu otupení, poškození a opotřebování. Častá výměna opotřebovaných nožů je vedena snahou pracovníků obsluhy a vedoucího směny udržet kvalitu sladkých řízků, tak se nazývá výrobek řepné řezačky, na požadované úrovni. Kvalita sladkých řízků se významně podílí na plynulém provozu a technologické kvalitě dalších produktů cukrovaru. Kvalitou řízků se myslí jejich dostatečná velikost, čistota řezu, minimální otřepy. Kvalitu sladkých řízků ovlivňuje především kvalita vypraní řepy, odstranění cizích příměsí a stav řepy, kterou cukrovar vykupuje od pěstitelů.

V Dobrovickém závodě se především používají moderní řezačky německé značky Putsch, které mají vysoký řezný výkon a kvalitu řezu. Zkušenosti s těmito řezačkami z jiných evropských závodů ukázaly, že problém s velkým opotřebením nožů musí vycházet z místních podmínek, za kterých tyto řezačky v dobrovickém závodě pracují.

Hlavním cílem této bakalářské práce je porovnat řezačkové nože od různých dodavatelů, jak originálních pro řezačky Putsch, tak konkurenčních výrobců a dodavatelů na trhu při podmínkách reálného provozu cukrovaru při řepné kampani. Toto porovnání dále v závěru práce zhodnotit a navrhnout opatření na zvýšení efektivity řezání.

Díličí cíle jsou:

- rozbor mechanických a materiálových vlastností řezačkového nože Putsch, který se standardně používají v cukrovaru;
- nalezení metody pro praktické porovnání řezačkových nožů z hlediska jejich trvanlivosti;
- představení teoretických návrhů na zvýšení trvanlivosti řezačkových nožů, spolu s jejich rozбором proveditelnosti a zhodnocení jejich přínosu;
- navržení metodiky pro praktické porovnání řezačkových nožů od různých dodavatelů spolu s noži s navrženými změnami pro zvýšení trvanlivosti během reálného provozu;
- ověření přesnosti metody z pohledu statistického vyhodnocení výsledků;
- zjistit vliv geometrie ostří řezačkového nože na jeho trvanlivost;
- zjistit vliv povlaku na trvanlivost nože.

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



1 Stručná historie

1.1 Cukrovarnictví na území ČR

Cukrovarnictví má na území ČR dlouhou tradici, hlavně zásluhou příhodných klimatických podmínek a vhodné kvality půdy. V roce 1787 se ve zrušeném klášteře ve Zbraslavi u Prahy začalo s pokusnou výrobou cukru z cukrové třtiny. Později se ve Zbraslavi roku 1795 začal vyrábět cukr z cukrové řepy. Výrobu pomáhal zavádět F. K. Achard, německý chemik a spolupracovník A.S. Marggrafa, který byl vynálezce postupu získávání cukru z kořenů cukrové řepy. Tato pokusná výroba ve Zbraslavi je považována za začátek naší cukrovarnické tradice. Díky Napoleonské kontinentální blokádě dochází po roce 1806 k masivnímu růstu počtů cukrovarů na zpracování cukrové řepy u nás i v Evropě. Mezi lety 1811 a 1815 bylo na území ČR již 23 malých manufaktur na výrobu cukru. V roce 1829 byl založen cukrovar v Kostelní Vydří. Jednalo se o první průmyslový cukrovar na území ČR i celého tehdejšího Rakouska-Uherska. Počet cukrovarů vzrostl v roce 1840 na 73 a v roce 1850 až na 290 cukrovarů. V těchto letech, konkrétně roku 1831, byl založen cukrovar v Dobrovici. V roce 1843 byla v cukrovaru v Dačicích vyrobena první kostka cukru na světě. Obyčejná česká kostka cukru se rozšířila do celého světa a v roce 2007 byla zvolena jako symbol českého předsednictví v EU. V roce 1874 zavedl F. V. Goller v cukrovaru Královo Pole poprvé nože do řepné řezačky s trojúhelníkovým profilem, tzv. Gollerovy nože. V letech, kdy český cukrovarnický průmysl vzkvétal, se na našem území vyrábělo 7 %-8 % evropské produkce cukru. V roce 1921 začala krize cukrovarnického průmyslu, která trvala až do konce 2. světové války, na našem území až do roku 1990. Po válce bylo znárodněno 101 cukrovarů, v roce 1960 pracovalo 80 cukrovarů, v roce 1980 již jen 58 cukrovarů. Po roce 1990, kdy na území ČR proběhla privatizace průmyslu, zůstává v provozu pouze pár silných cukrovarů. V roce 2004 je při vstupu ČR do EU v provozu pouze 10 cukrovarů. Po roce 2007, kdy z ČR odchází společnost Eastern Sugar, zůstává v provozu pouze 7 cukrovarů, z toho 2 na území Čech a ostatních 5 na území Moravy. Mezi těmito 7 cukrovary vyniká s více jak 180 lety provozu cukrovar v Dobrovici [12] [13] [14].

1.2 Cukrovar Dobrovice

Cukrovar v Dobrovici, který se nachází blízko Mladé Boleslavi, patří s více jak 180 letou historií k nejdéle pracujícím cukrovarům v Evropě. Byl založen na popud knížete Karla Anselma Thurn-Taxise v roce 1831 v prostorách nevyužívaného zámku. Na počest zakladatele se používala značka TTD Dobrovice. V první kampani, jak se období provozu cukrovaru nazývá, bylo zpracováno 616 tun řepy. V 40. a 50. letech 19. století se začíná projevovat rychlý rozvoj cukrovaru, pro který je potřeba stavět nové provozní budovy a rekonstruovat původní. V tomto období pracuje v cukrovaru okolo 1600 dělníků. Řepa se dopravuje výlučně po železnici, tovární dvůr připomíná počtem výhybek, kolejí a točen velké nádraží. Doprava řepy po silnici, která trvá dodnes, začala převládat teprve ve druhé polovině 20. století. Od roku 1923 patřil dobrovický cukrovar do koncernu Ústecké rafinerie cukru. Díky tomu vzrostl počet zahraničních odbytišť, kam mohl cukrovar dodávat své výrobky, zejména pro proslulé kubesy – speciálně vařené a sekané kostky cukru s nezaměnitelným třpytem. V roce 1947 je



podle dekretu prezidenta republiky z roku 1945 podnik vyvlastněn a stává se součástí Kolínských cukrovarů, v této společnosti zůstává až do roku 1990. Období socialismu přečkal cukrovar jen díky skvělým technologiím z předválečných let, obrovské tradici a jménu, značným zahraničním trhům a řadě kvalitních pracovníků. Přesluhující zařízení bylo sice díky centrálně řízenému plánování měněno, ale v nedostatečném tempu. Z výrobků zbyl jen sypaný cukr a moka kostky. Na konci 80. let 20. století se cukrovar nacházel v havarijním stavu. Změna přišla v 1990 s pádem komunismu a nastolení cesty samostatnosti. O dva roky později vstupuje do společnosti francouzský investor Union SDA (nyní Tereos France) a v Dobrovici začíná období masivních investic a rekonstrukcí. Je postavena vápenka, dvě cukerná sila či chladící věže. Kompletně je předělán i příjem a zpracování řepy spolu s kotelnou a energocentrálou. V následujících letech se ke slovu dostala i ekologie, byla postavena čistírna odpadních vod, množství protihlukových stěn a nových komunikací. V roce 2004 má při vstupu ČR do EU cukrovar kapacitu 8 300 tun zpracované řepy denně. Opět se mění příjem řepy, varna, sušárna řízků, kotelna a nově je postaven extraktor typu BMA. V kampani v roce 2005/2006 bylo průměrně zpracováno 11 084 tun řepy denně. V této kampani bylo zpracováno poprvé v historii celkem přes 1 milion tun řepy. Pro ukázkou nárůstu kapacity cukrovaru je možné uvést údaj, kdy se v letech 1948 až 1991 zpracovalo v souhrnu 2,55 milionu tun řepy. Jedná se tedy o extrémní nárůst. V následujících letech roste kapacita zpracování až na 15 000 tun řepy denně. Dobrovice je dnes největším cukrovarem v České republice a ve střední a východní Evropě [12] [13].

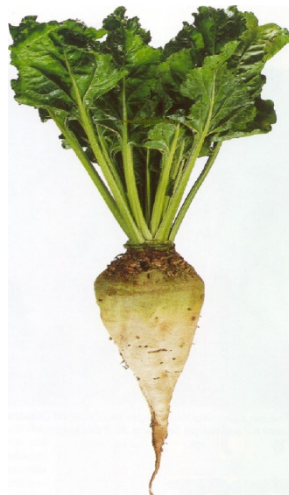


2 Stručný popis výroby řepného cukru

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

Cukr je z pohledu chemie sacharóza, jedná se tedy o disacharid složený z jedné molekuly fruktózy a jedné molekuly glukózy. Fruktóza a glukóza jsou monosacharidy a patří k jednoduchým cukrům. Fruktóza se vyskytuje nejčastěji v ovoci, naopak glukóza se vyskytuje v krvi živočichů a jejich produktech, např. medu. Sacharóza lze nalézt v mnoha rostlinách, kde plní funkci zásoby energie pro růst rostlin. Z průmyslového hlediska je pro získávání sacharózy nejlepší cukrová řepa (*Beta vulgaris* var. *altissima*) původem z Evropy, nebo tropická cukrová třtina (*Saccharum officinarum*). V omezeném množství se sacharóza získává například z datlí (*Phoenix dactylifera*), javoru (*Acer saccharum*) či čiroku (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum*) [7] [8].

V Evropě je základní surovinou pro výrobu cukru cukrová řepa (Obr. 2.1). Řepa je řazena mezi okopaniny. Je pěstována jeden rok. Hlavní částí je tzv. řepná bulva. Jedná se o zduřelý kořen rostliny, ve kterém jsou uskladněny živiny. Zelené olíštění rostliny se nazývá chrást a vyrůstá z bulvy. Tento chrást se při sklizni drtí a používá se jako hnojivo [7] [15].



Obr. 2.1 Cukrová řepa [17]

Postup výroby cukru v závodě Tereos TTD, a.s. v Dobrovici lze rozdělit do 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.



2.1.1 Doprava řepy do závodu

Řepa se sklízí pomocí řepných kombajnů. Při sklizni dochází k prvotnímu očištění řepy a seřiznutí chrástu, který se drtí. Řepa je do závodu transportována pomocí nákladních automobilů. Při vstupu do závodu je z každého nákladního automobilu odebrán vzorek řepy. Z tohoto vzorku se určuje kvalita řezu, cukernatost řepy a množství hlíny ulpělé na řepě. Tyto faktory pak určují cenu řepy, kterou zaplatí cukrovar zemědělcům. Řepa je z nákladního automobilu složena buď okamžitě na dopravní pás, který ji dopraví do prací linky, nebo je uskladněna na řepné ukládce. Řepná ukládka je místo se zpevněným povrchem přiléhající k dopravnímu pásu. Řepa na ukládce slouží jako zásoba pro noční provoz v cukrovaru, při kterém není možné používat zásobování cukrovaru nákladní dopravou. Řepa z ukládky je transportována kolovými nakladači na dopravníkový pás [23].

2.1.2 Praní a řezání řepy

Řepa je dopravována do prací linky pomocí dopravníkového pásu, tzv. suchou cestou. Použití suché cesty znamená, že se spolu s řepou do prací linky dostávají i veškeré nečistoty. Z dopravníkového pásu se řepa padá gravitačně přímo do bubnové pračky [23].

Bubnová pračka spolu s dvojitou hřeblových a jednou tryskovou pračkou tvoří třístupňovou prací linku. Prací linka začíná bubnovou pračkou, která slouží k odloučení ulpělých nečistot za mokra. Jedná se rotující buben, který lze rozdělit na 4 části. První část má plný plášť a slouží k odmočení zeminy. Ve druhé části, která má děrovaný plášť, dochází k oddělení odmočené zeminy. Ve třetí části, která je vybavena na vnitřní straně bubnu lopatkami, dochází k vlastnímu praní řepy. Řepa se zde o sebe tře v malém množství vody, tím je zajištěno intenzivní praní. Ve čtvrté části je řepa sprchována čistou vodou. Z bubnové pračky pokračuje řepa pomocí šnekových dopravníků do dvou paralelně umístěných hřeblových praček [16].

Hřeblová pračka slouží k oddělení těžkých (hlína, písek, kameny) a lehkých (chrást, plevele) nečistot od řepy. Hřeblová pračka je shora otevřený žlab s dvojitou rotujícími hřídely opatřených rameny (hřebly). Řepa se pomocí ramen přehazuje z prací části do dopírací části. Pračka pracuje s nízkým stavem vody, který napomáhá lepšímu vyprání řepy. V dopírací části jsou umístěny lapače lehčích nečistot. Z dopírací části je řepa vyhazována do tryskové pračky [16].

Trysková pračka plní funkci odlučovače vody a nečistot na povrchu řepy. K praní řepy dochází v první polovině délky, kde je řepa oplachována soustavou trysek s tlakem vody až 1,5 MPa. Ve druhé polovině je řepa zbavována vody. Pohyb řepy pračkou je řešen pomocí vibračního roštu. Vibrační rošt s řepou pohybuje, zvyšuje tak účinnost praní. Řepa z pračky gravitačně padá na dopravníkový pás, který ji přepravuje k řezačkám [16].

Řepa z dopravníkového pásu padá do zásobníku řepy nad řezačkami. Na cestě řepy od tryskové pračky k zásobníku řepy je umístěno několik elektromagnetů, které slouží k odstranění kovových nečistot z vyprané řepy. Pod zásobníkem je umístěno 6 řezaček z toho tři deskové a tři bubnové (viz kapitola 3 – Řezačka na řepu). Zásobník a řezačky jsou spojeny, řepa tedy gravitačně postupuje k řezačkám. Řezačky rozřežou řepu na sladké řízky. Tyto sladké řízky mají při řezání noži s trojúhelníkovým profilem ostří tvar stříšky. Pokud jsou kratší než 1 cm nebo tenčí než 1 mm, jsou



považovány za drť. Obsah drtě je ukazatelem kvality řezání řepy, tím i kvality sladkých řízků. Řezačky jsou rozděleny do dvou skupin, a to interně označovaných jako „RT“ a „BMA.“ Skupina „RT“ obsahuje dvě řezačky bubnové a jednu deskovou, oproti tomu skupina „BMA“ obsahuje jednu bubnovou a 2 deskové. Řezačky jsou takto rozděleny z důvodu rozdílných požadavků technologie BMA a RT na kvalitu řízků. Pod každou skupinou je pásový dopravník, který odebírá sladké řízky a transportuje je ke spařovacím mísidlům [16].

2.1.3 Extrakce difúzní šťávy

Spařovací mísidla jsou válce s vnitřními rotačními lopatkami, sladké řízky do nich volně padají. V těchto zařízeních dochází k míchání sladkých řízků se surovou šťávou. Tato činnost má za úkol ohřát řízky na teplotu 70-75°C v co nejkratším čase. Výsledná suspenze se přečerpává do extraktorů. V továrně jsou umístěny celkem tři; z toho jsou dva konstrukce RT a jeden konstrukce BMA.

Extraktory typu RT jsou velké válce s horizontální osou rotace uložené na rolkách. Pohon extraktoru je řešen přes ozubený věnec a převodovkou s elektromotorem. Velikost většího z válců je cca 50 m na délku o průměru 5 m. Menší má délku cca 30 m a průměr 3,5 m. Vnitřní vestavba válce je tvořena komorami, které tvoří dvojhodý dopravní šnek. Do extraktoru je protiproudě přiváděna extrakční kapalina a sladké řízky. Extrakční kapalina je vratná řízkolisová voda doplněná o čistou vodu. V extraktoru přechází cukr do extrakční kapaliny při teplotě maximálně 75°C. Z extrakční kapaliny obohacené o cukr se stává difúzní šťáva [16].

Extraktory typu BMA jsou také válce, avšak s vertikální osou. Rotuje zde pouze část vnitřní vestavby, plášť válce stojí. Vestavbu válce tvoří pohyblivá dutá hřídel s lopatkami sestavenými do dvojité šroubovice. Mezi lopatky zasahují ploché zadržovávky, které jsou umístěny na vnitřní straně pláště extraktoru. Pohyb řízků je totožný jako u extraktoru RT také protiproudě [16].

Pro zvýšení účinnosti extrakce jsou vyslazené řízky lisovány v řízkolisech, vylisovaná tekutina se nazývá řízkolisová voda. Řízkolisová voda se vrací do procesu extrakce. Řízkolis je vodorovný šnekový lis, jeho pohon je řešen elektromotorem, na který navazuje řemenový převod a převodovka napevno spojená se šnekem. Použití vylisovaných vyslazených řízků je dvojitý [16]. Prvním způsobem je použití na trvanlivé krmivo pro dobytek. V takovém případě se řízky suší a na peletovacím lisu se do nich přidává melasa, pak se lisují do formy peletového krmiva. Melasa je jedním ze zbytkových produktů cukrovaru, který vzniká při výrobě cukru, sama o sobě obsahuje až 50 % cukru, který je ale díky v melase obsaženým příměsím už nezískatelný. Použití nalézá jako surovina pro výrobu lihu. Popsaným způsobem se zpracovává většina vyslazených řízků [16]. Druhým způsobem, jak lze použít vyslazené řízky, je jako základní surovinu pro výrobu bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích. Případně je možné řízky použít okamžitě jako krmivo pro dobytek, nebo je konzervovat pomocí metody silážování.

2.1.4 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 vyloženým řízkům.

Epurace neboli čištění řepné šťávy je vícestupňový proces založený jak na fyzikálním, tak i chemickém principu. Tento proces je možné rozdělit na několik operací: předčeření, dočeření, 1. saturace, oddělení kalu, 2. saturace, filtrace a úprava šťávy před vstupem na odparku. Obecně lze konstatovat, že čištění šťáv má za úkol neutralizovat difúzní šťávu, odstranit co největší podíl necukrů z roztoku a zbavit difúzní šťávu všech nerozpuštěných látek. Tato operace se nejčastěji děje pomocí přidání vápenného mléka a oxidu uhličitého. Kal, který se odděluje mezi 1. a 2. saturací, se nazývá šáma. Šáma se používá nejčastěji jako zemědělské hnojivo s velkým obsahem vápna [18] [8] [1].

Šťáva, která vstupuje na odparku, má po epuraci světle hnědou barvu a je slabě alkalická; označuje se za lehkou šťávu. Úkolem odparky je přeměnit lehkou šťávu na těžkou šťávu, toho se docílí odpařením vody ze šťávy. Těžká šťáva má hnědou barvu, je slabě alkalická a také slabě zakalená. Těžká šťáva je tedy díky sníženému obsahu vody koncentrovanějším roztokem sacharózy. Šťáva se před vstupem do odpařovacích těles zahřívá pomocí páry v deskových výměnících. Páru si cukrovar vyrábí v kotelně, využívá se nejen k zahřátí šťávy, ale i k výrobě elektřiny v parních turbínách, ohřátí extraktorů, vytápění technologie. Díky této recyklaci, několikanásobnému použití páry, je spotřeba samotné odparky relativně nízká. Odpařovací tělesa mají válcovitý tvar a jsou řazena sériově za sebou, aby se dostatečně využilo teplo dodané párou. Šťáva se v každém z těles odpařuje jen v tenké povrchové vrstvě, proto šťáva v tělesech cirkuluje [18] [8] [1].

2.1.5 Vaření a odstředění cukroviny, rafinace surového cukru

Vaření cukru probíhá na varně. Cukrovarnická varna má logické uspořádání takové, aby se co nejvíce využil samospád. V horních patrech jsou umístěny nádrže na těžkou šťávu a ve spodních odstředivky a transportní dopravníky [18] [8] [1].

K vaření cukru se používají podtlakové zrnice, které přemění těžkou šťávu na cukrovinu. V zrnici dochází k dalšímu odpaření vody a vniku přesyceného roztoku tzv. cukroviny. Cukrovina je heterogenní roztok krystalů cukru a matečného sirobu (cukerný roztok obsahující cukr a necukry). K podpoření růstu krystalů se do cukroviny přidává očkovací záděl. Očkovací záděl se skládá z meziproductů při výrobě cukru, jako je sirob, těžká šťáva, nekvalitní (zadinový) cukr. Takto upravená cukrovina se vypouští do krystalizátorů, kde řízeně chladne a rostou v ní krystaly cukru. Po vychladnutí, které trvá řádově hodiny a závisí na čistotě cukroviny, je uvařená cukrovina připravena k odstředění. K odstředění se používají diskontinuální odstředivky. Odstředivky odstředí z uvařené cukroviny zbytky sirobu a vznikne vlhký krystalický cukr, který je nutný před skladováním vysušit [18] [8] [1].

Rafinace se používá ke zvýšení čistoty a kvality cukru. Jedná se o soubor operací, které mají za úkol odstranit nečistoty ze surového cukru. Základní operací rafinace je afinace surového cukru. Afinaci si lze jednoduše představit jako navlhčení surového cukru přečištěným sirobem, tímto postupem se získá záděl. Záděl je odstředěn na afinačních odstředivkách, kde dochází k odstředění sirobu a opláchnutí krystalů cukru vodou, z čehož vzniká afináda. Afináda se rozpouští v čisté vodě a



vzniká klér. Klér se filtruje, chemický čistí a opět vaří, aby se z něj stala opět cukrovina. Proces rafinace je časově a energeticky náročný [18] [8] [1].

2.1.6 Skladování krystalického cukru

Pro dlouhodobé skladování cukru ho je nutné před uložením vysušit, to se provádí v rotační bubnové sušičce. Sušička cukr zároveň zchladí na skladovací teplotu. Čerstvě vysušený cukr uvolňuje vázanou vlhkost, kterou je potřeba odvést, jinak dochází k hrudkování cukru. Tomuto procesu se říká stabilizace cukru a trvá řádově týden za normálních podmínek v síle s nucenou ventilací. V síle je udržována teplota vzduchu 20-22 °C a relativní vlhkost 50-60 %. Skladovaný cukr musí mít vlhkost 0,03-0,05 %, obsah popela max. do 0,02 %, obsah redukujících látek max. do 0,1 % a musí být dokonale odprášený, protože cukerný prach v síle by mohl způsobit výbuch[18] [19].

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



3 Řezačka na řepu

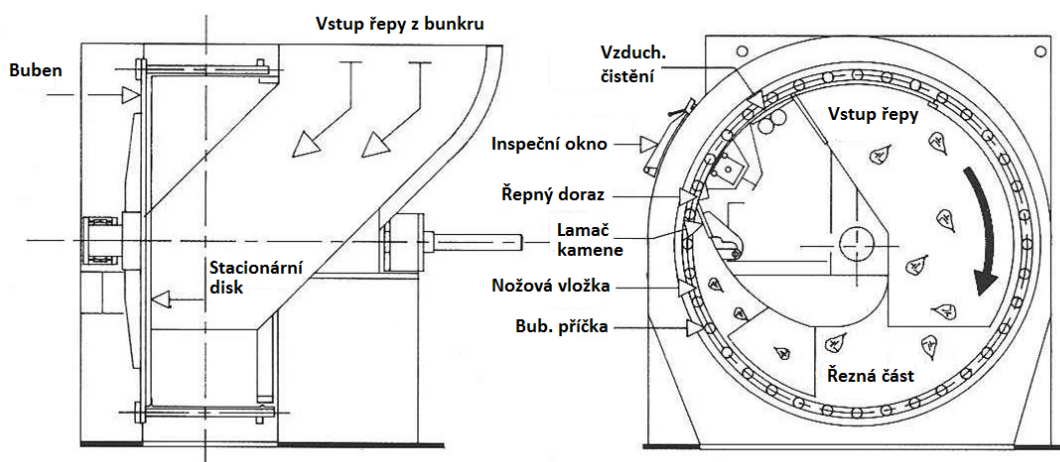
Řezačka řepy je zařízení na zpracování řepy na sladké řízky. Většinou se jedná o zařízení s rotující řeznou částí. Řezná část se skládá z nožové vložky a nožů v ní upnutých. Řezačky lze rozdělit podle způsobu rotace řezné části [6].

3.1 Bubnová řezačka na řepu

Princip bubnových řezaček byl patentován již v roce 1879. Jejich omezené rozšíření bylo způsobeno řadou nevýhod starších modelů. Z prostorových důvodů nebyly vybaveny separátory cizích těles, takže spotřeba nožů byla vysoká, výměna nožů (speciálního typu) byla náročná a kvalita řízků s rostoucím opotřebením nožů rychle klesala. U současných vysokovýkonných typů byly tyto nedostatky odstraněny, navíc mají bubnové řezačky oproti deskovým řezačkám řadu předností. Vysoký výkon při malé zastavěné ploše, možnost záměny za starší typy nízkého výkonu bez nutnosti rekonstrukce zásobníků řepy nad řezačkami, použití běžných královopolských nožů, snadná výměna nožových vložek, která je dnes běžně automatizovaná. Účinnější zařízení k separaci a odstranění vniklých cizích těles, účinné čistící zařízení nožů a nižší spotřeba energie [6].

Jak je patrné z Obr. 3.1, řeznou částí je rotující buben, který má na svém vnitřním obvodu nožové hlavy. Počet vložek závisí na velikosti řezačky. Menší řezačky s kapacitou 8000 tun řepy za den používají 22 hlav po 6 nožích ve dvou řadách, avšak větší modely s kapacitou 10 000 tun řepy za den používají 22 hlav po 9 nožích ve třech řadách. Řepa do řezačky vstupuje horem, kde se dostává do styku s noži, je vtlačována do řezné části tvaru ulity. Tento princip částečně omezuje závislost na výšce řepy v bunkru. Výměna opotřebovaných nožů se provádí mimo řezačku. Při odstávce se mění cele nožové vložky, tím je minimalizován potřebný čas. Velikost řízku lze upravovat velikostí mezery mezi bubnem a rámem stroje. Tato mezera je upravována příložnými pravítky [6].

Na výstupní hřídeli je v ose rotace bubnu elektromotor s rozběhovou spojkou. V praxi se můžeme setkat i s řemenovým převodem, variantu s řemenovým převodem používají řezačky značky Putsch [6].

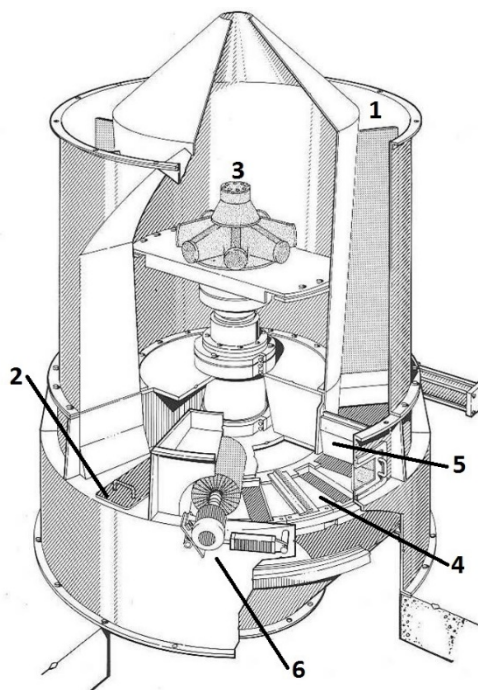


Obr. 3.1 Schéma bubnové řezačky dle [20]



3.2 Desková řezačka na řepu

Tento typ se využíval v minulosti v menších cukrovarech, nyní je již na ústupu. Řeznou částí je rotující deska, která je osazena řeznými vložkami s noži. Po otupení nožů se mění řezné vložky, výměna nožů probíhá mimo stroj. Na Obr. 3.2 je zobrazen schematický řez tímto typem řezačky. Bod 1 označuje vstup řepy do řezačky tzv. lub. Bod 2 označuje inspekční otvor, který slouží pro kontrolu stavu nožů. Bod 3 označuje místo, kde je umístěn pohon a převodovka. Bod 4 označuje řezací desku osazenou řeznými vložkami s noži. Bod 5 označuje protinož, tento protinož zajišťuje lepší kvalitu sladkých řízků, funguje jako pojistka proti zaseknutí cizího tělesa v desce. Bod 6 označuje čistící kartáč, tento kartáč odstraňuje z povrchu nožů ulpělou zeminu, plevele a i zbytky řepy [6].



Obr. 3.2 Schéma deskové řezačky, dle [20]

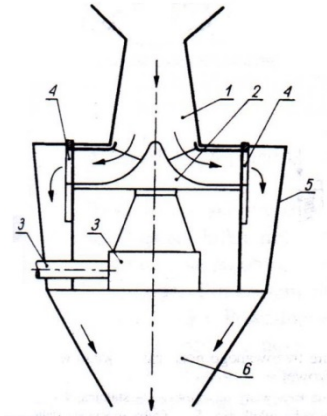
Mezi hlavní nevýhody (oproti bubnovým řezačkám) patří menší kapacita řezačky. Bubnové řezačky dokáží zpracovat až 10 000 tun řepy za den, naopak deskové mají maximální kapacitu okolo 3 000 tun řepy za den. Další nevýhodou je rozdílná obvodová rychlost desky na obvodu a ve středu. Aby byl řez na těchto řezačkách kvalitní, je nutné zajistit ideální přítlak řepy, přítlak je vyvozen vahou řepy nad řezací deskou. Výška pro optimální vlastnosti sladkého řízku je zhruba 3 až 4 metry. Při větší výšce řepy v zásobníku nad řezačkou dochází k drcení řepy [6].

3.3 Odstředivé řezačky na řepu



3.3 Odstředivé řezačky na řepu

Na Obr. 3.3 je zobrazen schematický řez řezačkou odstředivého typu. Bod 1 označuje vstup řepy do řezačky, bod 2 označuje oběžné kolo s lopatkami, které uvádí řepu do pohybu a vrhají ji proti stojícímu plášti, na kterém jsou umístěny nožové vložky. Bod 3 označuje hnací hřídel a převodovku. Bod 4 označuje plášť, který je osazen řeznými vložkami s noži. Bod 5 označuje vnější plášť řezačky, který slouží k zachytávání sladkých řízků. Bod 6 označuje výstupní místo sladkých řízků [6].



Obr. 3.3 Schéma odstředivé řezačky dle [24]

Hlavní výhodou tohoto typu řezačky je možnost sledovat a upravovat práci jednotlivých nožů; v případě potřeby i nože měnit během provozu stroje. Kvalita výstupních řízků je velmi dobrá. Hlavní nevýhodou proti ostatním typům řezaček nutnost dodat na zpracování stejného množství řepy o 20-30 % více energie [6].

Tento typ se v dnešní době již nepoužívá. Je zde uveden pouze pro doplnění. V minulosti tvořil necelých 10 % trhu. [6].

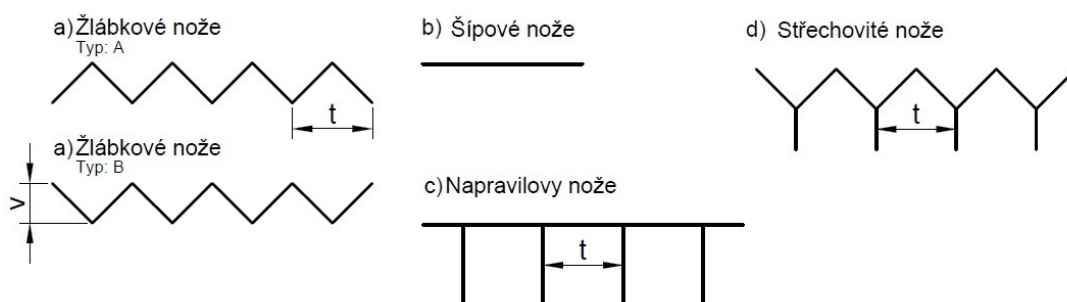


4 Řezačkové nože

Typ a parametry zasazení řezačkových nožů v nožových hlavách řezaček rozhodují o tvaru vyrobených řízků a o jejich tloušťce; to znamená o jejich měrné ploše. Tato veličina rozhoduje o rychlosti, s níž cukr přejde z řízků do extrakční kapaliny, rozhoduje tedy o nutné době extrakce řízku k docílení žádaného stupně extrakce. Kvalita nožů ovlivňuje i obsah drtě ve sladkých řízcích. Zvýšený obsah drtě způsobuje horší tok extrakční tekutiny vrstvou extrahovaných řízků. Drť, která projde do extrakční kapaliny, zhoršuje kvalitu šťávy, a to hlavně z důvodu rozkladu drtě během čření. Důsledkem těchto rozkladných dějů se zhoršuje filtrovatelnost šťávy, barva lehké a zejména těžké šťávy, dochází ke zpomalení krystalizace cukru. Správná volba řezačkových nožů, bezvadná kvalita ostří nožů a přesné upevnění nožů do nožové hlavy mají základní význam pro extrakci cukru z řepy [6].

Otupené ostří na řezacím noži je obnoveno pomocí několika operací na jednoúčelovém stroji na obnovování ostří, tyto stroje mají různou konstrukci podle typu nože. Poškozené nože, které nelze opravit, se likvidují jako šrot.

U řezačkových nožů je důležitou charakteristikou tvar jejich ostří. Některé tvary ostří jsou schématicky zachyceny na Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Tvar ostří některých řezacích nožů dle [6]

Kóta v označuje výšku nože, kóta t označuje dělení nože, tato hodnota vyjadřuje vzdálenost mezi hroty zubů (rozteč) řezačkových nožů s trojúhelníkovým ostřím.

4.1 Žlábkovité nože

Žlábkové nože se používají na výrobu sladkých řízků, z nich část má žlábkový průřez a tedy větší měrný povrch. Tyto nože se vyrábějí frézováním z plechů silných 7 mm (frézované neboli královopolské) nebo lisováním z plechů o síle asi 0.7 mm (lisované neboli Gollerovy nože). Lisované nože jsou v porovnání s frézovanými levnější a jejich provozní doba do nového broušení činí nejméně 6 h, tato doba závisí na kvalitě řepy, jejich životnost je nejméně 60 h. Nevýhodou je deformovatelnost lisovaných nožů ve srovnání s tuhými frézovanými noži. Během jejich provozu dochází ke zmenšování přesazení nožů, to znamená řezání tenčích řízků a současně pokles výkonu

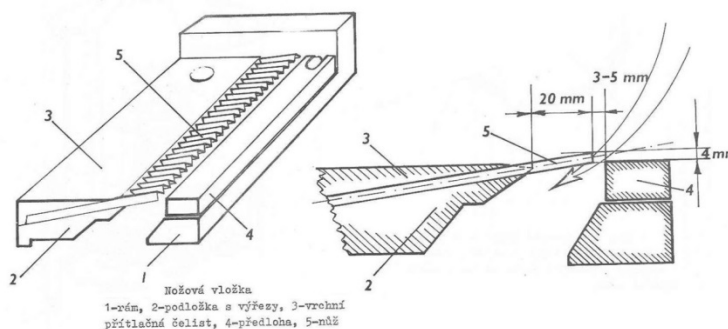


řezačky, čímž dochází ke změně tloušťky řízků během užívání jedné sady nožů. To má vliv na průtočnost vrstvy extrahovaných řízků a na rychlost extrakce. Tento nedostatek nemají frézované nože, takže jsou z technologického hlediska výhodnější. Jejich využití však předpokládá zajištění co nejdokonalejšího čištění řepy, zejména od hrubších těžkých nečistot, aby se nože chránily před větším poškozením. Frézované nože jsou oproti lisovaným dražší [6].

Nože se v deskových řezačkách se upevňují do nožových vložek (viz Obr. 4.2) po dvou kusech, proto se nazývají též nože půlené. Nože v bubnových řezačkách se upevňují do vložek po třech kusech, a proto se jim říká třetinové nože [6].

Vložky s noži se ukládají do otvorů v řezací desce či bubnu (dle konstrukce řezačky). Do většiny řezaček na území ČR se vkládá 16 nebo 22 vložek. Střídají se vložky s noži A (tzv. lichými), které začínají stoupáním nožů (viz Obr. 4.1), s noži B (tzv. sudými), které začínají klesáním zubů. Má-li se žlábkovým nožem oddělit řízek od bulvy, je třeba dvou řezů. Proto se nože s trojúhelníkovým ostřím nazývají polořezné, ostatní jsou celořezné (plnořezné) [6].

Bez ohledu na konstrukci řezačky lze kvalitních řízků docílit jen tehdy, jsou-li řezací deska, buben a nožové vložky v dokonalém technickém stavu. Ve všech vložkách jsou nože stejných parametrů (dělení, seřízení, atd.) Nože jsou nasazeny ve správném pořadí (tím se myslí střídání vložek s noži typu A a B) [6].



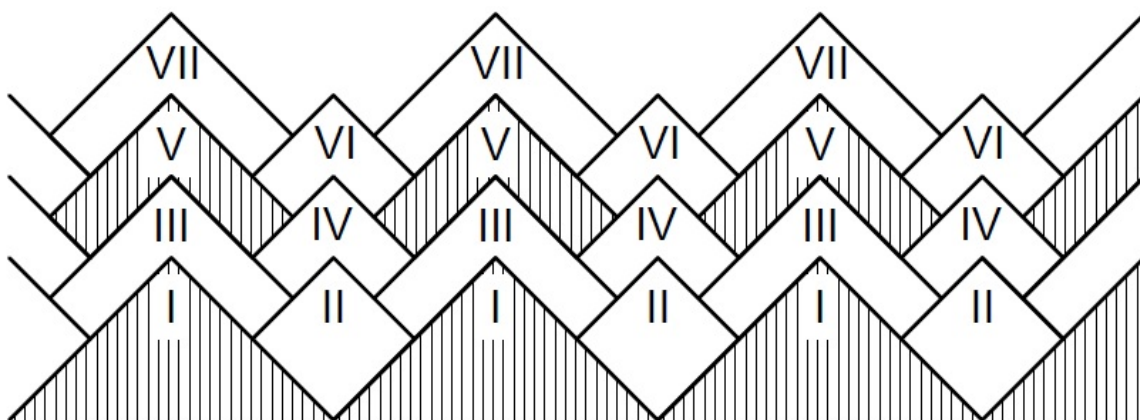
Obr. 4.2 Nožová vložka, dle [20]

4.1.1 Teoretický postup řezání bulvy žlábkovými noži

V ideálním případě probíhá řezání Gollerovými nebo královopolskými noži tímto způsobem (viz Obr. 4.3): vrchní špičky nožů první vložky vyřezávají z řepy řízky trojúhelníkového tvaru (I). Řepa po prvním řezu zůstává na ve stejné výšce. Následuje řez noži druhého typu (B), jejíž horní špičky jsou posuny o půl zubu, takže tam, kde nože prvního typu mají horní špičku, mají nože druhé vložky dolní špičku a vyřezávají z trojúhelníkového tvaru kosočtverce (II). Po druhém řezu klesá řepa o polovinu výšky nože. Následuje třetí řez, který provedou nože prvního typu (A), čímž se z kosočtverce vyřízne řízek žlábkovitého tvaru (III). Následujícími řezy vznikají řízky označené na Obrázku 4.3 jako (IV), (V) atd.; vznikají sladké řízky vesměs žlábkovitého tvaru průřezu. Přitom jsou sladké řízky ze sudých řezů tlustší než řízky z lichých řezů [6].



Je tedy zřejmé, že při tomto procesu vznikají sladké řízky, které mají průřez nejen žlábkovitý, ale i trojúhelníkový, kosočtverečný. Reálný tvar průřezu řízku se však liší v důsledku posunu řepy během řezu, kdy se řepa posouvá nejen ve svislém směru ale i vodorovně. Taktéž v důsledku otupení ostří. Při ideálním průběhu řezání vznikne až 65 % žlábkovitých řízků, v praxi se jich však vyskytuje méně než 30 % [6].



Obr. 4.3 Tvar ostří některých řezacích nožů, dle [6]

4.2 Šípové nože

V minulosti bylo méně obvyklé požívání plochých (hladkých) nožů šípového tvaru pro deskové řezačky. Pro šípové nože lze snadno upravit Gollerovy nožové vložky. Nůž je vyroben z ocelového plechu tloušťky 3 mm a v délce 205,5 mm, úhel zkosení 6 až 8°, úhel ostří 14 až 17°. Šípový nůž je tvořen dvěma zrcadlově shodnými částmi, které se vkládají do upravených Gollerových nožových vložek tak, že jejich ostří spolu svírá úhel 166°. Vzniklou mezerou tvaru nízkého trojúhelníku mezi stěnou a předlouhou vypadávají vyrobení plátkové řízky; jde o plnořezné nože. Plátkové řízky mají nepravidelný okraj podle polohy bulvy vůči noži v okamžiku řezu. Plátkové řízky vykazují dobré vlastnosti pro použití ve věžových extraktorech.

Použití těchto nožů se doporučuje v případě, že je řepa silně znečištěná dřevnatými lodyhami plevelů nebo zmrzlým chrástem. Tyto nože se oproti Gollerovým snáze brousí.

4.3 Ostatní nože

Střechovité nože, někdy označovány jako Herbstovy nože, byly navrženy k řezání sladkých řízků s čtvercovým průřezem. Napravidlové nože byly navrženy k výrobě sladkých řízků s obdélníkovým průřezem (tzv. stužkových řízků).[6]

Nože popsané v kapitole 4.3 se již nepoužívají. Dnešní trend v řezání řepy je používat výhradně bubnové řezačky a královopolské nože.



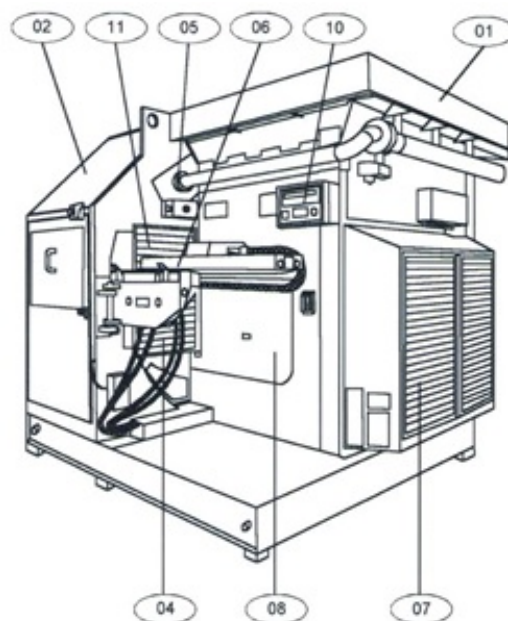
5 Popis řezačky Putsch TSM 2200-22-600 S

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

5.1 Konstrukce a popis bubnové řezačky

Bubnová řezačka se skládá z několika základních částí (Obr. 5.1).

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



Obr. 5.1 Základní části řezačky Putsch [9]



5.2 Popis základních částí řezačky

V této kapitole jsou podrobněji popsány jednotlivé základní části řezačky.

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 04 (Obr. 1). 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 které je řepa řezána, probíhá pod úhlem 180°. V řezném záběru je vždy 11 z 22 nožových hlav [9].

5.2.2 Řezací buben

Řezací buben je vyroben z oceli a kruhových tyčí z chromové oceli. Buben je letmo uložen ve skříňí stroje pomocí naddimenzovaných válečkových ložisek. Řezací buben nepodléhá abrazivnímu opotřebením, protože je po vnějším obvodu pokryt a chráněn nožovými hlavami [9].

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 opotřebených dílů se provádí mimo bubnovou řezačku. V nožové hlavě jsou připevněny 3 x 3 nože pomocí upínací desky se speciálními šrouby se zápustnými 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 [9].

Uspořádání Putsch se střídavými řadami nožů A a B (viz Obr. 5.2) představuje značnou výhodu oproti běžnému uspořádání. Díky tomuto uspořádání se při každé výměně nástrojů přesně nastaví nůž B za nožem A. Přibývající opotřebením 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 požadovaný výšky řezu. Pomocí otočných nastavitelných tyčí lze seřizovat upínací desky při nastavení výšky řezu. Použití běžných královopolských nožů umožňuje používání stejné ostříčky nožů, které se používají také u deskových řezaček [9].

5.2.4 Dveře pro odběr cizích těles

Patentované dveře pro odběr cizích těles 04 (Obr. 1) šetří bubnovou řezačku a zejména nože. Dveře se otevřou u cizích těles do tloušťky 150 mm a mají šířku otevření 590 mm. Pro odstranění



případných větších těles lze pod dveřmi pro odběr cizích těles demontovat inspekční otvor. Dveře pro odběr cizích těles jsou ve skříni 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, 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 různé velké otevírací tlaky [9].

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
B	B	B	
A	A	A	

Obr. 5.2 Střídání řad nožů v hlavách dle [9]

5.2.5 Dvojitá výfuková tryska

Bubnová řezačka je vybavena dvojitou výfukovou tryskou 05 (Obr. 1), 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 [9].

5.2.6 Zařízení pro výměnu nožových hlav

Bubnová řezačka je vybavena hydraulicky poháněným zařízením pro výměnu nožových hlav (06) (Obr. 5.1). Pro toto zařízení je bubnová řezačka vybavena pomocným elektrickým pohonem (polohování), který bubnem otočí přesně o rozteč nožové hlavy. Polohování pracuje 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 [9].

5.2.7 Pohon

Pohon řezacího bubnu je zajištěn třífázovým motorem s frekvenčním měničem 07 (Obr. 1). Rotační pohyb motoru se převádí pomocí klínového řemenu na planetovou převodovku přímo připojenou k hnací hřídeli, přes ni pak k řezacímu bubnu [9].



5.2.8 Hydraulická soustava

Ovládání dveří pro odběr cizích těles, zařízení pro výměnu nožových hlav a uvolňování nožových hlav je zajištěno hydraulicky. Potřebný tlak zajišťuje hydraulická soustava, která se skládá z axiálního pístového hydrogenerátoru s elektromotorem, olejové nádrže a bloku ventilů [9].

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 hydraulický systém.

Na skříni stroje jsou umístěny ovládací prvky a ovládací terminál (10) s textovým displejem (pro obsluhu stroje a stavová hlášení), pomocí kterého lze ovládat jednotlivé programy [9].

5.2.10 Bezpečnostní zařízení

Plechový kryt otvoru pro výměnu nožových hlav je zajištěn bezpečnostním zámkem [9].

Dveře pro odběr cizích těles jsou zajištěny kontaktním spínačem, navíc ještě koncovým vypínačem [9].

Dveře pro zajištění oblasti otvoru dveří pro odběr cizích těles jsou zajištěny bezpečnostním spínačem [9].

5.3 Technické údaje

Hlavní technické údaje o řezačce jsou shrnuty v přehledné Tabulce 5.1. V tabulce je uveden i řezací výkon řezačky, který je garantovaný pouze se standardními noži PUTSCH® o dělení 19. Tyto nože musí mít výškovém nastavení 5 mm a vzdálenost od upínací desky 7-8 mm [9].



Rozměry	[mm]
Délka stroje	2775
Šířka stroje	2600
Výška stroje	2610
Počet nožových hlav	22
Velikost nožové hlavy	670 x 350
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. 5.1 Technické údaje



6 Návrh metodiky experimentu

Experiment probíhal na přelomu roku 2015/2016 během cukrovarské kampaně. Pro experiment byla zvolena řezačka číslo 6 (interní označení), jedná se bubnovou řezačku značky Putsch TSM 2200-22- 600 S, která řeže řízky pro extraktor (difuzi) typu BMA, a to z důvodu zachování jednotných podmínek pro celý experiment. Tímto byl eliminován vliv různého opotřebení řezaček, které jsou v závodě. V experimentu byly zastoupeny nože různých značek a úprav, druh nožů byl stejný, královopolský.

Soupis všech úprav

Značky nožů

- Putsch
- Hanmar
- Maguin

Povrchové úpravy

- Bez úpravy
- Cr povlak (Alwin)

Geometrické úpravy

- Bez úpravy geometrie
- Úhel Alfa -3°
- Úhel Alfa $+3^\circ$

Přesněji se jednalo o nože značky Putsch, Maguin, Hanmar. Nože značky Putsch jsou v závodě používány jako standardní. Díky tomu je jich v závodě velká zásoba. Pro povrchové a geometrické úpravy byly proto zvoleny pouze nože značky Putsch. Úpravou povrchu se rozumí nanášení povlaku s obchodním názvem ALWIN pomocí technologie PVD. Tento povlak byl zvolen díky velké odolnosti proti otěru a vyznačuje se velkým množstvím chromu. Tento povlak doporučila firma SHM Šumperk, u které byl u vybraný povlak aplikován. Dále byla na nožích upravena jejich geometrie, a to ze standardního nastavení nožů $\alpha=90^\circ$ používaného jako univerzálního nastavení na nastavení na měkkou a tvrdou řepu. Toto nastavení se odlišuje v použití úhlu 87° na tvrdou a úhlu 93° na měkkou řepu (Obr. 6.17) Tato úprava nastavení byla provedena na továrních bruskách a frézách, které jsou v závodě přítomné běžně jako zařízení na renovaci ostří nožů. Tyto úpravy byly navrženy a použity v souladu s návodem k zařízení, na kterém se experiment uskutečnil.

Experiment se prováděl během reálného provozu cukrovaru, a tak byly nože, které byly součástí experimentu, barevně odlišeny (Tab. 6.1) oproti obyčejným nožům, které měly šedou (kovovou) barvu. Tímto bylo zajištěno, že se nože nezamění s obyčejnými noži, kterých se experiment netýkal. Obyčejné nože, které se používají během provozu cukrovaru, jsou tvarově a materiálově stejné jako nože typu P s tím rozdílem, že mají za sebou různý počet operací obnovování ostří. To znamená, že jejich životnost vzhledem k novým nožům, kterých se experiment týkal, je odlišná.



Popis nože	Barva nože	Typ nože
Originální nůž Putsch	Modrá	P
Originální nůž Maguin	Oranžová	M
Originální nůž Hanmar	Růžová	H
Nůž Putsch s povlakem Alwin	Bíla	P-Cr
Nůž Putsch s upraveným úhlem Alfa +3°	Žlutá	P+3
Nůž Putsch s upraveným úhlem Alfa -3°	Zelená	P-3

Tab. 6.1 Označení nožů během experimentů.

K barevnému odlišení nožů posloužil klasický akrylový lak ve spreji aplikovaný v upínací části na přední i zadní straně nože (Obr. 6.1) a (Obr. 6.2). Během experimentu byly nože, kterých se experiment týkal, sdružovány do tzv. testovacích souborů. Testovací soubor se skládá z nožové hlavy osázené noži typu P, nožové hlavy osázené noži typu M, nožové hlavy osázené noži typu H, nožové hlavy osázené noži typu P-Cr, nožové hlavy osázené noži typu P+3, nožové hlavy osázené noži typu P-3. Testovací soubor tedy obsahoval 6 nožových hlav, které jsou osázeny příslušnými typy nožů.

Nože použité pro experiment byly nové, pouze u nožů s úpravou geometrie se jednou obnovovalo ostří z důvodu otupení během úpravy geometrie. Zkušební doba experimentu byla zvolena na 12 hodin; dobu jedné směny. V případě špatné kvality výstupních řízků nebo přetížení extraktoru BMA se experiment ukončil dřív. Experiment byl pro každý typ a druh úpravy nože opakován 12x z důvodu zajištění vysoké přesnosti měření a vyloučení vlivu náhodných anomálií. V takovém případě bylo nutné provést experiment během 12 směn, při kterých by se řezačka osadila právě jedním testovacím souborem, které by trvaly $12 \cdot 12 = 144$ hodin pracovního času. Protože při jedné směně je možné řezačku osadit až 3 testovacími soubory, byl experiment rozdělen do 4 směn, ve kterých vzniklo požadovaných 12 opakování experimentu. Nutná doba experimentu se zkrátila ze 144 hodin na 48 hodin, což zásadní měrou přispělo k proveditelnosti experimentu. Rozdělení typů nožů do jednotlivých nožových hlav bylo dle obrázku s tabulkou (Obr 6.3).

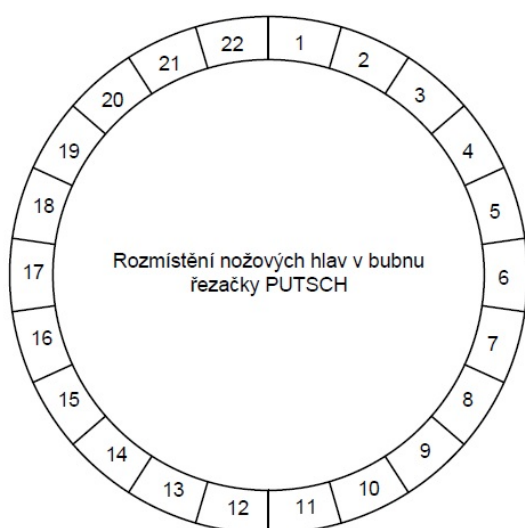


Obr. 6.1 Ukázka značení na noži P - přední strana.





Obr. 6.2 Ukázka značení na noži P - zadní strana.



Nožová hlava č.	Typ nože
1	P
2	M
3	H
4	P-Cr
5	Obyčejný
6	P+3
7	P-3
8	P
9	M
10	H
11	P-Cr
12	Obyčejný
13	P+3
14	P-3
15	P
16	M
17	H
18	P-Cr
19	Obyčejný
20	P+3
21	P-3
22	Obyčejný

Obr. 6.3 Rozmístění nožů v nožových hlavách bubnu řezačky.

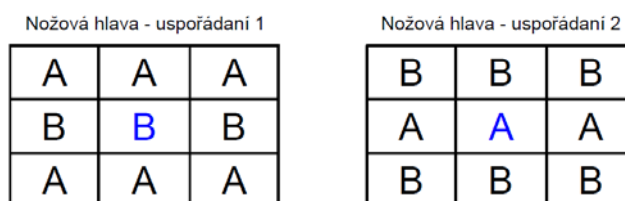
Pro požadovaný počet 12 opakování byly počty použitých nožů podle podrobného rozpisu v Tabulce 6.1. Jak je zřejmé z Obrázku 6.4., každá nožová hlava obsahovala 9 typově stejných nožů.



Počet jednotlivých druhů nožů			
Počet opakování	Počet nožů v nožové hlavě	Počet nožů celkem	Typ nože
12	9	108	P
12	9	108	M
12	9	108	H
12	9	108	P-Cr
12	9	108	P+3
12	9	108	P-3

Tab. 6.1 Počet jednotlivých druhů nožů.

Nože v nožové hlavě byly řazeny podle doporučení výrobce Putsch a to tak, že se střídá řada nožů druhu A a řada nožů druhu B. Královopolský nůž druhu A začíná klesáním profilu ostří, tvoří pomyslné písmeno V, avšak nůž druhu B začíná stoupáním profilu ostří, tvoří pomyslnou stříšku (viz kap. 4.1) (Obr. 4.1). Uspořádání 1 je platné pro liché nožové hlavy a uspořádání 2 je platné pro sudé nožové hlavy (Obr. 6.6). Při experimentu bylo použito celkem 648 nožů. Tento počet nožů pro je expertizu příliš rozsáhlý. Proto byl zvolen postup, při kterém vznikl statisticky významný počet vzorků (nožů podrobených k expertíze), avšak takový, který bylo možné proměřit v laboratořích. Pro proměření se volil nůž z 2. vodorovné řady a 2. svislého sloupce (Obr. 6.6). Nůž byl odebírán pokaždé ze stejného místa a stejné nožové hlavy. Tímto způsobem odebírání nožů z nožové hlavy bylo dosaženo dostatečně přesných výsledků. Takto bylo při každé směně řezačky vybráno z nožové hlavy 18 nožů. Celkem bylo odebráno během 4 směn z nožových hlav 72 nožů (Tab. 6.2).



Vybrané nože

Obr. 6.4 Schéma výběru nožů pro měření

Počet nožů-vzorků	Typ nože
12	P
12	M
12	H
12	P-Cr
12	P+3
12	P-3
72	Celkem

Tab. 6.2 Počet nožů pro měření

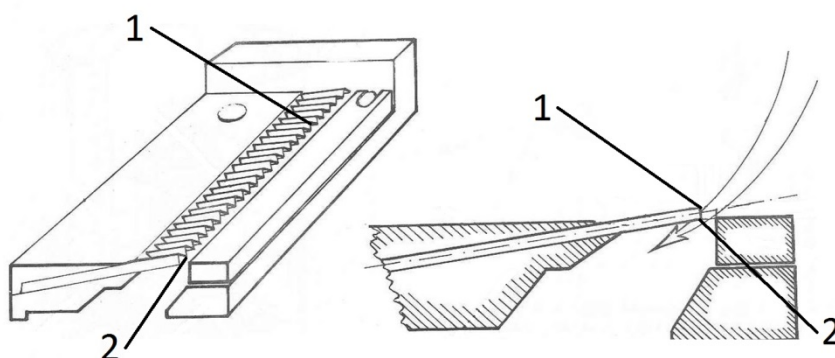
Vyhodnocování experimentu probíhalo bezprostředně po skončení praktické části experimentu. Vyhodnocení experimentu se zakládalo na porovnání míry otupení na nových nožích a na nožích, které byly použity při experimentálních směnách. Celkem bylo během vyhodnocení použito 78 nožů (Tab. 6.3) z toho 72 použitých a 6 nových.



Pro vyhodnocení byl zvolen postup vyfotografování ostří na mikroskopu STEMI DV4 ZEISS, při zvětšení 8x, který disponuje kamerou a možností připojení k počítači. Mikroskop má rozsah zvětšení 8x až 32x, které se nastavuje v krocích. Hodnota 8x byla zvolena z důvodu, aby fotografie zobrazila co největší plochu ostří. Fotografie byly pořízeny v rozlišení 1024 x 768 pixelů (Obr. 6.3). Každý nůž má 25 zubů a ostří nože bylo vyfotografováno zub po zubu z pohledu na náběžnou a nenáběžnou hranu (Obr. 6.5). Náběžná hrana (1) je hrana nože, která přichází jako první do kontaktu s řepou a je nejvíce postižena abrazí od příměsí v řezané řepě (písek, hlína). Nenáběžná hrana (2) je hrana, která je zatížena vlastním řezem řepy. Celkem tedy vzniklo $2 \cdot 25 \cdot 78 = 3900$ fotografií. Pro kvalitní zobrazení vzorku byl použit nasvícení pomocí LED světla, které je standardní součástí použitého mikroskopu. Při tomto druhu nasvícení nejlépe vynikne struktura otupení nože.

Počet nožů- vzorků	Typ nože
12	P
12	M
12	H
12	P-Cr
12	P+3
12	P-3
1	P - Nový
1	M - Nový
1	H - Nový
1	P-Cr -Nový
1	P+3 - Nový
1	P-3 - Nový
78	Celkem

Tab. 6.3 Počet nožů pro měření.



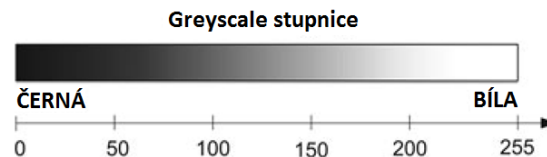
Obr. 6.5 Hrany nože dle [20]

Hodnocení samotného otupení nože bylo provedeno pomocí programu LabView 14 a v něm vytvořeném uživatelském programu (UP). Hodnocení bylo zaměřeno na strojový výpočet velikosti



plochy otupené oblasti. Otupená oblast reagovala na osvit LED světlem tvorbou přeexpozice na fotografii.

Otupená plocha je díky abrazi jemných částic vyleštěna do vysokého lesku (Obr. 6.7), tato lesklá plocha odráží více světla než ostří a vytváří již zmíněnou přeexpozici. Přeexponovaná plocha obsahuje jen jednu barvu, v tomto případě bílou barvu. Bílá barva vyjádřená v grayscale spektru má hodnotu 255, naopak černá má hodnotu 0. Ostatní hodnoty pro odstíny šedi lze odečíst z Obrázku 6.6 [25] [26].

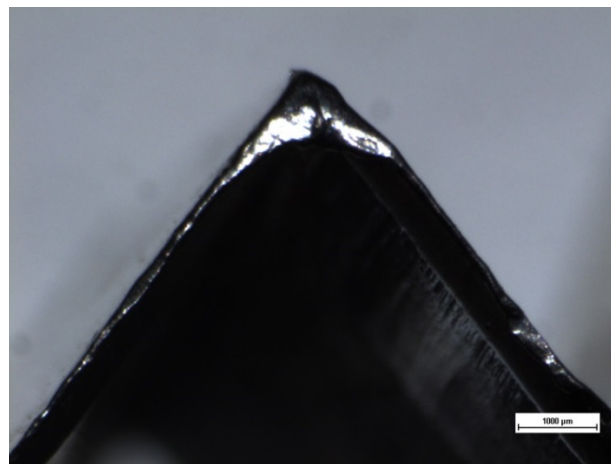


Obr. 6.6 Greyscale stupnice dle [27]

UP (Obr. 6.8) byl vytvořen tak aby spočetl počet pixelů odpovídající nastavenému intervalu světlosti ve vyznačené oblasti (Obr. 6.9), vyznačená oblast je rovnoramenným trojúhelníkem s délkou ramen 3,5 mm a úhlem rozevření ramen 80°. Pro zjednodušení je původně barevný obrázek do UP načítán v grayscale spektru. Greyscale spektrum zjednodušuje model RGB, kde je barva určena třemi hodnotami v rozmezí 0 až 255 na jedinou hodnotu v rozmezí 0 až 255. Stupnice označená jako threshold low a threshold high, která je patrná na ovládacím panelu UP (Obr. 6.16) nastavuje rozmezí intervalu světlosti.

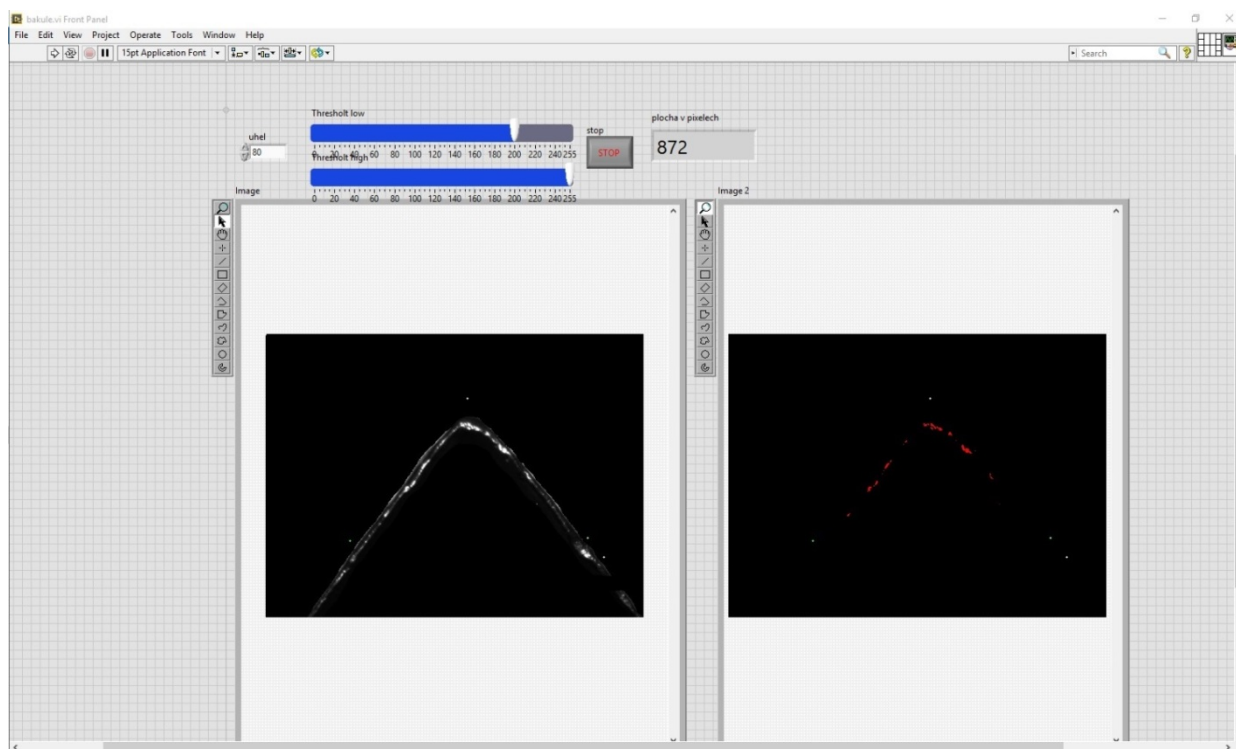
Hodnoty threshold low, threshold high a úhel rozevření ramen lze nastavovat i v průběhu měření. Při optimalizaci vyhodnocování se ukázalo, že ideální nastavení hodnot je interval světlosti 200 až 255 a úhel rozevření ramen 80°, délka ramen 3,5 mm je pevně zadaná v UP.

Určená délka ramen vychází z faktu, že na všech fotografiích je zobrazena plocha ostří, která vyplní minimálně vyznačenou oblast tvaru rovnoramenného trojúhelníka. Úhel 80° byl nastaven z důvodu zachycení případných deformací na ostří, rozevření pomyslného písmena A je z výroby 72°. Protože z pohledu na Obrázek 6.7 lze říci, že otupená oblast není pouze bílá, ale i jemně šedá, byl zvolen právě rozsah světlosti 200 až 255.

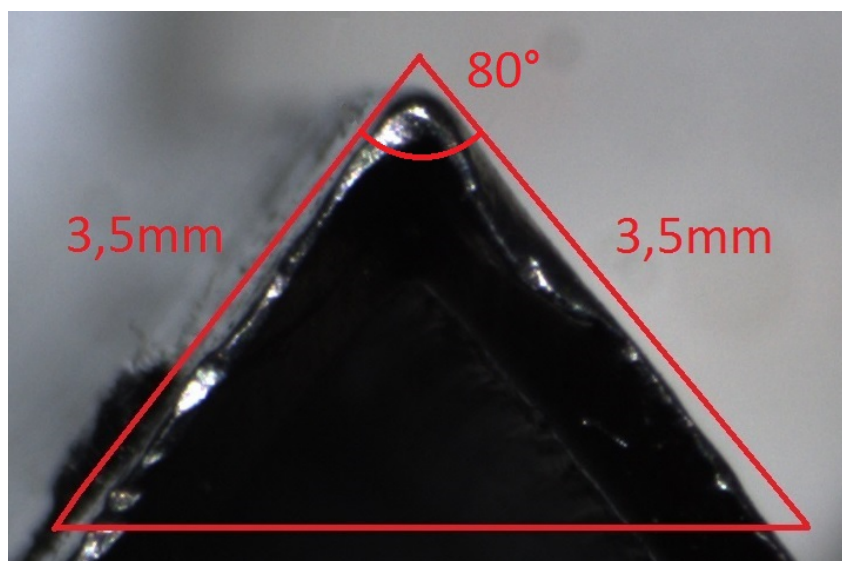


Obr. 6.7 Fotografie otupěného ostří nože Putsch $\alpha = 93^\circ$





Obr. 6.8 Prostředí UP v LabView 14



Obr. 6.9 Vybraná oblast pro měření

Hodnoty vypočtené pomocí UP byly zapsány do tabulkového souboru v programu Microsoft Excel. Tabulky použité při vyhodnocování jsou schematicky popsány v následujících odstavcích.

První z používaných tabulek pro vyhodnocování je tabulka 6.4. Do sloupce S [px] této tabulky byla zapisována hodnota relativního otupení nože. Tato hodnota byla získána pomocí UP. Výpočet mediánu provedl software. Medián je statistický ukazatel který rozdělí soubor hodnot tak že 50 % hodnot je menších a 50 % větších než medián. Medián zvolen z důvodu, že jeho hodnotu neovlivňují případné extrémní hodnoty v souboru čísel. Pozice „Typ hrany“ označuje typ hrany (Náběžná, Nenáběžná). Tabulka 6.4 není v práci uvedena a je součástí přílohy.



Sada nožů	
Typ hrany	
Typ nože	
Hodnoty	S [px]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Medián	

Tab. 6.4 Schéma zápisové tabulky

Druhou z používaných tabulek pro vyhodnocování je souhrnná tabulka 6.5. Do pozic tabulky byly zapisovány příslušné hodnoty mediánů ploch relativního otupení z tabulky 6.4. Pozice „Typ hrany“ označuje typ hrany (Náběžná, Nenáběžná). Tabulka 6.5 je součástí kapitoly 9 - Vyhodnocení experimentu.

Typ hrany						
S [px]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh - 3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Nový nůž						
1. směna						
2. směna						
3. směna						
4. směna						

Tab. 6.5 Schéma souhrnné vyhodnocovací tabulky

Třetí používanou tabulkou pro vyhodnocování je procentuální tabulka 6.6. Jedná se o upravenou tabulku 6.5, kde hodnoty S jsou nahrazeny hodnotami S%. Pro výpočet procent se použil vzorec (Obr. 6.10), kde jako základ (100 %) posloužil rozdíl minimální a maximální velikosti otupené plochy v pixelech vypočtené pomocí UP. Pozice „Typ hrany“ označuje typ hrany (Náběžná, Nenáběžná). Tabulka 1.22 je součástí kapitoly vyhodnocení experimentu.

$$S_{\%}[\%] = S[px] \times \frac{MAX \text{ hodnota } S[px] - MIN \text{ hodnota } S[px]}{100}$$

Obr. 6.10 Vzorec pro výpočet procentuální hodnoty

Předposlední používanou tabulkou je celková součtová tabulka 6.7. Hodnoty v této tabulce součty hodnot z tabulky 6.6 pro náběžnou a nenáběžnou hranu, sčítá se 1., 2., 3., 4. směna náběžné hrany a 1., 2., 3., 4. směna nenáběžné hrany příslušného typu nože. Z tohoto sčítání byla vyjmuta hodnota nového nože pro náběžnou a nenáběžnou hranu z důvodu minimálního otupení na začátku experimentu. Existence minimálního otupení již na začátku testu je způsobeno nevhodnou manipulací s nožem během transportu od výrobce do cukrovaru. Nože se do cukrovaru transportují na paletě po 50 baleních. Nože jsou balené po 20 v lepenkové krabici. Tato tabulka byla použita i jako zdroj dat pro Obr. 8.1.



Typ hrany						
S _% [%]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh - 3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Nový nůž						
1. směna						
2. směna						
3. směna						
4. směna						

Tab. 6.6 Schéma procentuální vyhodnocovací tabulky

S _% [%]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh -3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Celkem						

Tab. 6.7 Schéma součtové tabulky

Z důvodu posouzení správnosti použité metodiky byly výsledky dosažené při experimentu posouzeny i z hlediska statistiky. Pro toto posouzení se vypočetl statistický interval spolehlivosti, pomocí metody statistického zpracování dat, postup na výpočet je uveden v technické normě ČSN ISO 8688-1, při výpočtu se použila 95 % úroveň spolehlivosti. K prezentaci dat se použila Tab. 6.8., která zobrazuje střední velikost otupené plochy v pixelech spolu s konfidenčním intervalem (kon. int), a to z pohledu na náběžnou a nenáběžnou hranu pro každou směnu a nový nůž [28].

S [px]	Putsch	kon. int. P	Hanmar	kon. int. H	Maguin	kon. int. M
Nový nůž						
1. směna						
2. směna						
3. směna						
4. směna						
S [px]	Putsh -3°	kon. int. P-3	Putsh +3°	kon. int. P+3	Putsch-Cr	kon. int. P-Cr
Nový nůž						
1. směna						
2. směna						
3. směna						
4. směna						

Tab. 6.8 Schéma vyhodnocovací tabulky 4



7 Vlastnosti řezačkových nožů a možnosti jejich úprav

Na stanici řezaček je umístěno 6 ks řezaček; z toho 3 deskové řezačky značky Putsch a 3 bubnové značky Putsch. Deskové řezačky mají oproti bubnovým zhruba třetinový výkon, podílejí se na celkovém výkonu stanice řezaček minimálně. Z tohoto důvodu není předmětem řešení této bakalářské práce problematika trvanlivosti nožů, které se používají v deskových řezačkách. V bubnových řezačkách se používají nože značky Putsch s označením 1-T-200-25-7-B-V a 1-T-200-25-7-A-V. Standardní doba použití nožů v bubnové řezačce je 8-9 hodin, nože v řezačce jsou tedy měněny během dvanáctihodinové směny jednou až dvakrát. Na nožích vyjmutých z řezačky je nutné obnovit ostří. Těchto obnovovacích cyklů prodělá nůž zhruba 100. Poté je již výška nože příliš malá na to, aby šel upnout do řezné hlavy. Ve výjimečných případech může být obnovovacích cyklů i podstatně méně, zejména pokud dojde k silnému poškození nože v důsledku kontaktu ostří s kamenem, případně s jinými nestandardními materiály (dřevo, atd.).

Otupené nože jsou renovovány na jednoúčelovém stroji na obnovování ostří. Tento stroj obnovuje v několika krocích. První krok je rovnání ostří ve speciálním přípravku, který má požadovaný tvar ostří, dalším krokem je odbroušení vlastního otupení, posledním krokem je vyfrézování přesného tvaru ostří. Krátké nebo zničené nože se vyřazují z oběhu a jsou likvidovány jako šrot [2] [3] [4] [5].

7.1 Mechanické a materiálové vlastnosti nože Putsch

Nůž byl při přípravě návrhů na zlepšení podroben řadě zkoušek. Tyto zkoušky pomohly přesněji určit návrhy na zvýšení jejich trvanlivosti.

7.2 Materiálový rozbor nože

Nůž byl podroben materiálovému rozboru v laboratořích společnosti FERONA, a.s. Steel Servis Centrum ve spolupráci s firmou HORA MONT s.r.o (Obr 6.1). Materiálový rozbor ukázal, že se jedná a běžnou ocel, které odpovídá česká třída ocelí (ČSN) 12 XXX, viz Obr. 6.1. Množství uhlíku ve vzorku je na spodní hranici prokalitelnosti materiálu.

7.3 Měření tvrdosti metodou HV1

Měření tvrdosti proběhlo v laboratořích Katedry materiálů na Technické univerzitě v Liberci. Měření bylo provedeno na semimikrotvrdoměru značky ZWICK 3212 metodou HV1. Písmena HV označují Vickersovu zkoušku tvrdosti. Jedná se o vnikací zkoušku. Zkušebním tělískem je čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem stěn 136°. Tato zkouška je výhodná z toho důvodu, že výsledná hodnota tvrdosti je nezávislá na zatížení. Zatížení určuje číslo za písmeny HV. V případě HV1 je tedy zatížení 1 kg, což odpovídá 9,82 N [10][11]. Výsledná hodnota tvrdosti v místě upnutí nože je 203,1 HV1, což dále ukazuje na běžný materiál.



Feron, a.s. SSC										
Vážní 847, 501 12 Hradec Králové										
Laboratoř pro chemické a mechanické zkoušky kovů										
tel: 498 514 005, fax: 498 514 000										
Protokol o zkoušení č: 510/ZLF/2015										
Zákazník	HORA MONT s.r.o. Vážní 891, 500 03 Hradec Králové									
Označení vzorku	nůž označení PUTSCH									
Druh zkoušky	Chemický rozbor	Zkouška tvrdosti								
Zkušební zařízení	SpectroMAXx LMX08	Tvrdoměr HPO 250								
Číslo objednávky	p.Vondráček Jiří			Číslo KS / zakázky			KS 106879			
Datum přijetí zakázky	24.9.2015			Datum zkoušky			25.9.2015			
Teplota (°C)	21,5			Vlhkost (%)			46,7			
Počet vzorků	Chemický rozbor	Tahová zkouška	Zkouška tvrdosti	Drsnost povrchu	Tloušťka povrchu					
	1	0	1	0	0					
Výsledky zkoušek										
Chemické složení - průměr (%)										
Označení	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
510	0,300	0,2900	0,8440	0,0100	0,0050	0,2070	0,0720	0,2500	0,0410	0,0030
1	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As	Zr	N
	0,1490	0,0010	0,033	0,003	< 0,005	< 0,001	0,006	0,008	< 0,001	0,011
										Fe
										97,730
Zkouška tvrdosti podle Brinella ČSN EN ISO 6506-1 (HBW 2,5 / 62,5)										
Označení	510									
Výsledek	161									
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)					Košínář Jozef					

Obr. 7.1 Protokol o zkoušení nože Putsch

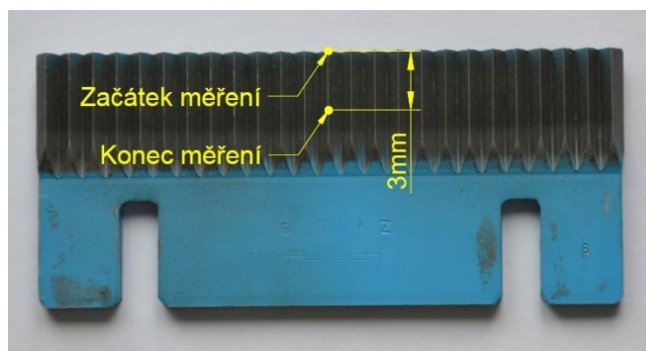
7.4 Měření tvrdosti metodou HV5

Měření tvrdosti proběhlo v laboratořích Katedry materiálů na Technické univerzitě v Liberci. Toto bylo měření provedené na semimikrotvrdoměru značky ZWICK 3212 metodou HV5. V místě ostří na novém dosud nepoužitém noži byl medián tvrdosti 577,1 HV5, u nože na konci životnosti je medián tvrdosti ostří 231,4 HV5. Z výsledků je tedy zřejmé, že nový nůž je zakalen a v průběhu používání dochází k jeho postupnému popouštění takřka až na tvrdost základního materiálu. Na základě znalosti procesu popouštění bylo rozhodnuto, že při používání nože k tomuto procesu nemůže dojít, vývin tepla není dostačující. K popouštění musí docházet při obnovování ostří nože na továrních strojích.

7.5 Měření gradientu tvrdosti metodou HV0,2

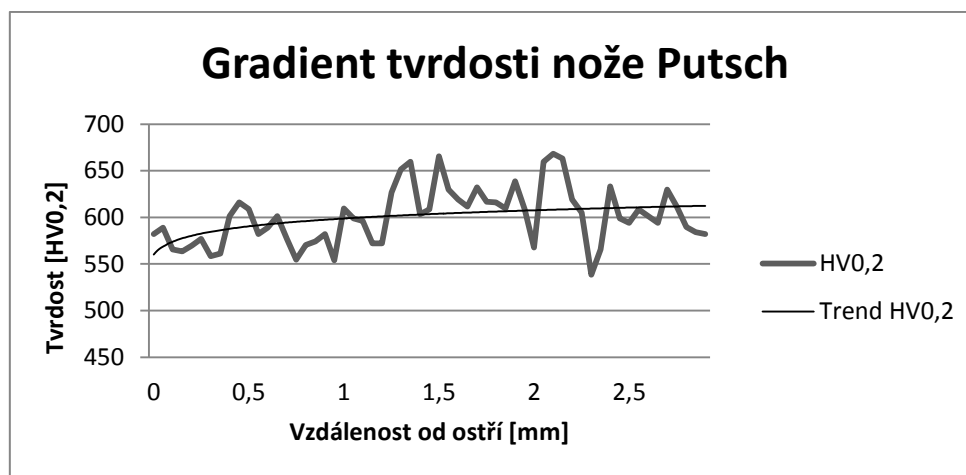
Gradient tvrdosti byl změřen na novém noži na školním laboratorním mikrotvrdoměru značky LICO M-400 H1 metodou HV0,2 na metalografickém výbrusu. Měřil se gradient tvrdosti od zvoleného bodu na ostří do hloubky 3 mm od tohoto bodu, viz Obr 6.2.





Obr. 7.2 Oblast měření

Zjištěný průběh gradientu tvrdosti je zobrazen v Grafu 6.1.



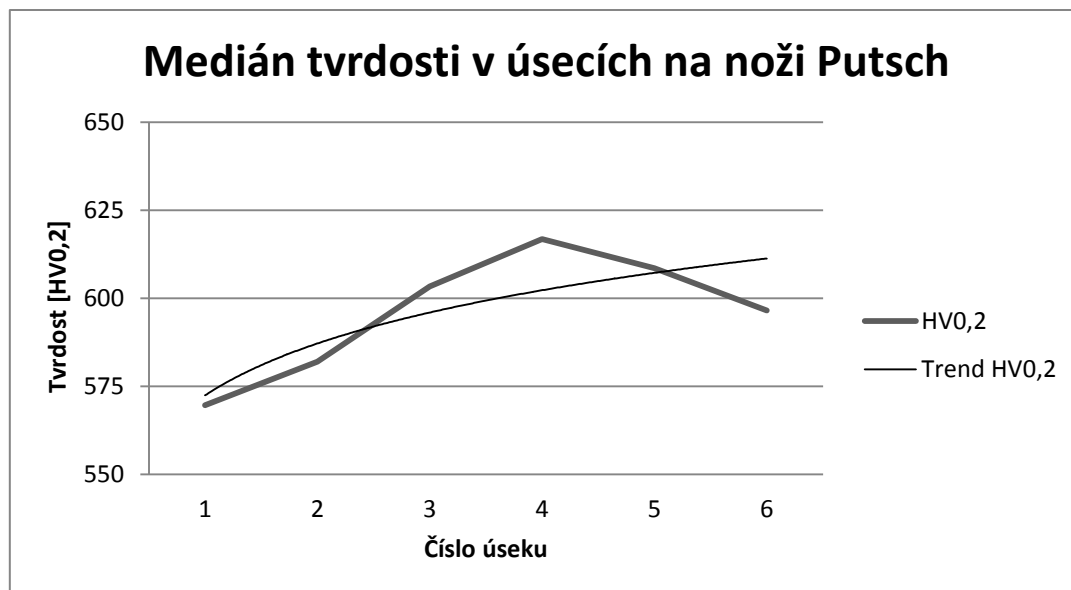
Graf 7.1 Gradient tvrdosti nože Putsch

Pro lepší zachycení skutečnosti jsem získaný gradient tvrdosti rozdělil do 6 intervalů po 0,5 mm. Medián hodnot tvrdosti v každém z intervalů je uspořádán do přehledné tabulky a grafu (Tab. 6.1 a Graf 6.2).

Úsek	Rozsah úseku [mm]	Medián tvrdost [HV0,2]
1	0 až 0,5	569,6
2	0,5 až 1	582,0
3	1 až 1,5	603,3
4	1,5 až 2	616,8
5	2 až 2,5	608,5
6	2,5 až 3	596,5

Tab. 7.1 Mediány hodnot tvrdosti v úsecích





Graf 7.2 Medián tvrdosti v úsecích na noži Putsch

Ze zjištěných hodnot vyplývá, že oblast prvního a druhého úseku je pod úrovní 600HV_{0,2}, úseky tři až šest se drží nad nebo v těsné blízkosti hodnoty 600HV_{0,2}. Lze tedy usuzovat, že nůž PUTSCH je kalen na hodnotu okolo 600 HV_{0,2}. To znamená, že první dva úseky měřeného nože jsou částečně popuštěny díky teplotnímu ovlivnění vzniklého při tvorbě ostří u dodavatele.

7.6 Fotodokumentace stavu ostří

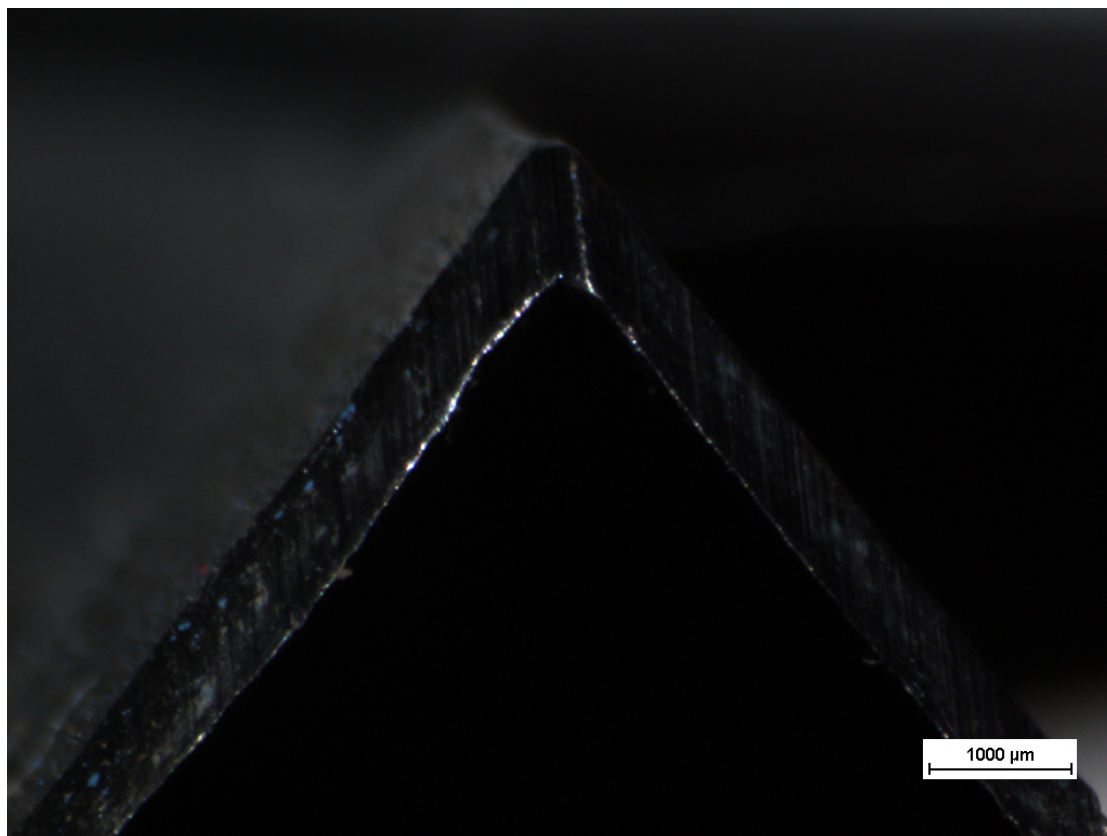
Pro úplnost byl nový nůž nafocen na mikroskopu STEMI DV4 ZEISS, tento mikroskop má zvětšení 8x až 32x, a to nastavované po krocích. Pro fotografování jsem zvolil nejmenší možné zvětšení (8x) z důvodu největšího možného zobrazení fotografované objektu, tedy profilu ostří. Pro ukázkou přikládám náhodně vybraný snímek hrany ostří (Obr. 6.3). Jedná se o snímek nenáběžné hrany, která nepřichází do přímého kontaktu s řepou a nečistotami.

7.7 Návrhy na zvýšení trvanlivosti řezačkových nožů

Zde uvedené návrhy mají pouze informativní charakter a některé jsou technicky a ekonomicky nerealizovatelné. Jedná se tedy o návrhy teoretické. Tyto návrhy se zakládají na teoretických informacích z dostupné literatury, jakož to i na praktických zkušenostech pracovníků cukrovaru.

- Změna dodavatele nožů;
- Změna geometrie nože;
- Úprava povrchu nože;
- Optimalizace prací linky;
- Mokrý transportní cesta řepy do závodu;
- Změna materiálu nože;
- Třídění řepy před vstupem do závodu;
- Změna tvaru a principu řezání sladkých řízků;
- Optimalizace transportu řepy od pěstitelů do závodu;
- Pěstování řepy v lehčích typech půd.





Obr. 7.3 Fotografie ostří nože Putsch



8 Experimentální část řešení

8.1 Návrhy na zvýšení trvanlivosti zpracované v této bakalářské práci

V této podkapitole jsou uvedeny návrhy zpracované v této bakalářské práci.

8.1.1 Změna dodavatele nožů

První možnost, kterou jsem řešil ve své bakalářské práci, je změna dodavatele nožů. Pro porovnání s nyní používanými noži Putsch byly vybrány nože značek Maguin a Hanmar. Maguin je francouzská společnost, která se svou velikostí a kvalitou know-how vyrovná výrobci Putsch. Maguin se zabývá i dodáváním nožů do konkurenčních řezaček. Společnost Hanmar je polskou firmou zabývající se výrobou spotřebních dílů, např. nožů a nožových hlav do řezaček jiných firem, nejčastěji firmy Putsch. Dále provádí i renovace a opravy příslušenství k těmto strojům.

U firem Maguin a Hanmar byly poptány nože kompatibilní s řezačkami Putsch TSM 2200-22-600 S. U výběru kompatibilních nožů byl kladen důraz na zachování stejného řezacího výkonu, jako mají řezačky s noži Putsch. To bylo dodrženo požadavkem na nože se stejným dělením a šířkou jako nože značky Putsch. Dělením se rozumí vzdálenost mezi hroty zubů (rozteč) řezačkových nožů s trojúhelníkovým ostřím.

Hanmar 1-T-200-25-7A-V a 1-T-200-25-7B-V


Maguin 200*89 EBD/TPA 25A-DA a 200*89 EBD/TPA 25B-DA

Zde uvedené nože byly dodány firmami Hanmar a Maguin jako vhodná náhrada za originální nože. I tyto nože byly podrobeny základním zkouškám materiálových a mechanických vlastností, podobně jako nože značky Putsch. Z výsledků materiálových rozborů vypracovaných ve spolupráci s firmou HORA MONT s.r.o. v laboratořích společnosti FERONA, a.s. Steel Servis Centrum je zřejmé, že i nože dodavatelů Hanmar a Maguin jsou z běžné ocele odpovídající české třídě ocelí (ČSN) 12 XXX, viz Obrázek 6.1 a 6.2. Množství uhlíku v obou hodnocených nožích je na spodní hranici prokalitelnosti materiálu. Z výsledků měření vyplývá, že u nože Hanmar je větší obsah uhlíku, konkrétně 0,364 % oproti 0,26 % uhlíku u nože Maguin; i tvrdost v upínací části nože Hanmar je větší, konkrétně pak 201 HB oproti 186 HB.


Na nožích značky Hanmar a Maguin byl dále měřen gradient tvrdosti metodou HV 0,2. Gradient tvrdosti byl změřen na nových nožích na školním laboratorním mikrotvrdoměru značky LICO M-400 H1 metodou HV 0,2 na metalografickém výbrusu. Měřil se gradient tvrdosti od začátku ostří do vzdálenosti 3 mm od ostří, viz Obrázek 6.2 Zjištěný průběh gradientů tvrdosti je zobrazen v grafech 6.1 a 6.2.

Pro lepší zachycení skutečnosti jsem získaný gradient tvrdosti opět rozdělil do 6 úseků po 0.5 mm. Medián hodnot tvrdosti v každém z intervalů je uspořádán do přehledné tabulky a grafu (Tab. 8.1, 8.2, Graf 8.3, 8.4).



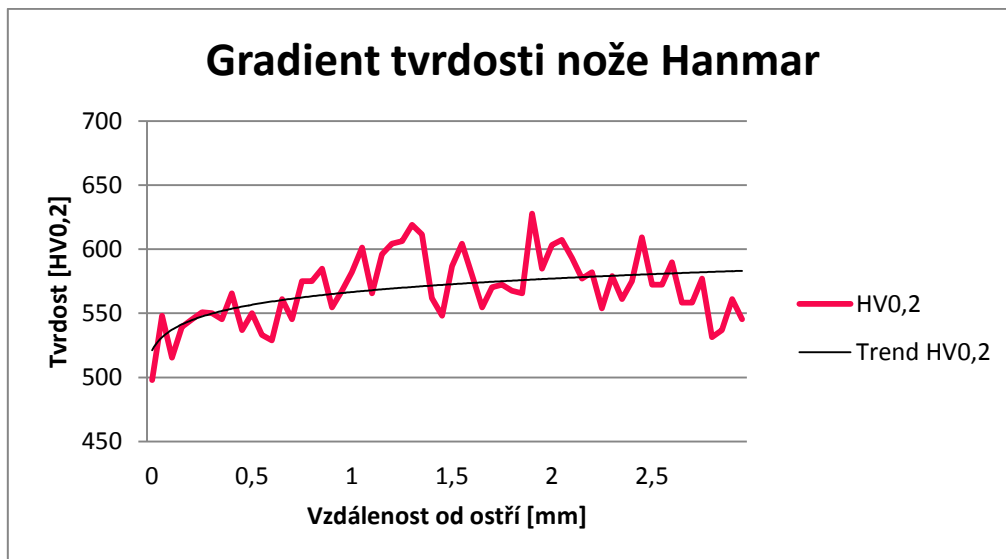
Feron, a.s. SSC											
		Vážní 847, 501 12 Hradec Králové Laboratoř pro chemické a mechanické zkoušky kovů tel: 498 514 005, fax: 498 514 000									
Protokol o zkoušení č: 509/ZLF/2015											
Zákazník	HORA MONT s.r.o. Vážní 891, 500 03 Hradec Králové										
Označení vzorku	nůž označení HANMAR A 25										
Druh zkoušky	Chemický rozbor	Zkouška tvrdosti									
Zkušební zařízení	SpectroMAXx LMX06	Tvrdoměr HPO 250									
Číslo objednávky	p.Vondráček Jiří				Číslo KS / zakázky			KS 106879			
Datum přijetí zakázky	24.9.2015				Datum zkoušky			25.9.2015			
Teplota (°C)	21,5				Vlhkost (%)			46,7			
Počet vzorků	Chemický rozbor	Tahová zkouška	Zkouška tvrdosti	Drsnost povrchu	Tloušťka povrchu						
	1	0	1	0	0						
Výsledky zkoušek											
Chemické složení - průměr (%)											
Označení	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	
509	0,364	0,2450	0,6630	0,0080	0,0280	0,1340	0,0570	0,1880	0,0013	0,0090	
1	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As	Zr	N	Fe
	0,1990	< 0,0010	0,000	0,006	< 0,005	< 0,001	0,019	0,010	< 0,001	0,008	98,030
Zkouška tvrdosti podle Brinella ČSN EN ISO 6506-1 (HBW 2,5 / 62,5)											
Označení	509										
Výsledek	201										
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)						Košinář Jozef					

Obr. 8.1 Protokol o zkoušení nože Hanmar

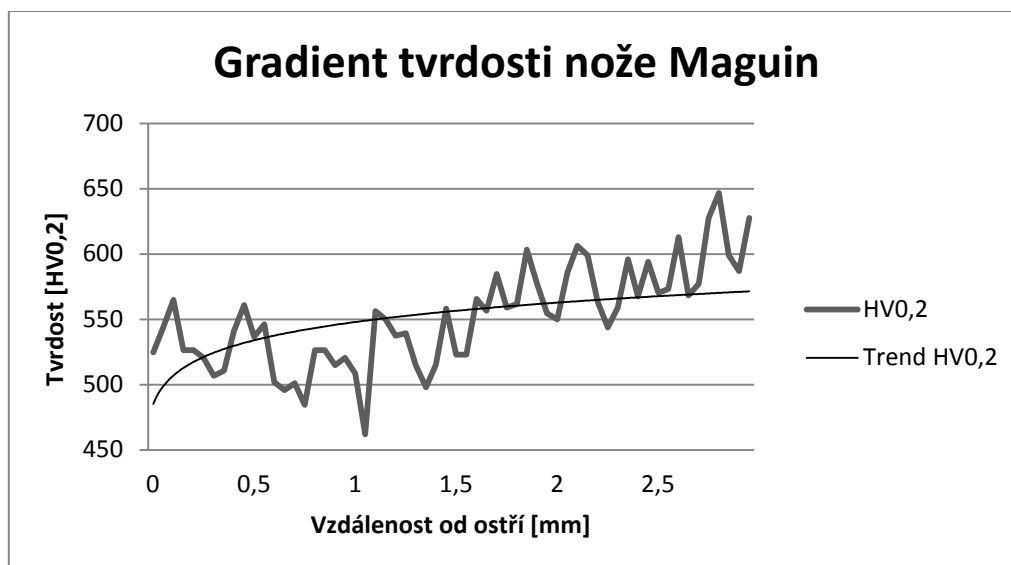
Feron, a.s. SSC											
		Vážní 847, 501 12 Hradec Králové Laboratoř pro chemické a mechanické zkoušky kovů tel: 498 514 005, fax: 498 514 000									
Protokol o zkoušení č: 511/ZLF/2015											
Zákazník	HORA MONT s.r.o. Vážní 891, 500 03 Hradec Králové										
Označení vzorku	nůž označení MAGUIN 25A 0322										
Druh zkoušky	Chemický rozbor	Zkouška tvrdosti									
Zkušební zařízení	SpectroMAXx LMX06	Tvrdoměr HPO 250									
Číslo objednávky	p.Vondráček Jiří				Číslo KS / zakázky			KS 106879			
Datum přijetí zakázky	24.9.2015				Datum zkoušky			25.9.2015			
Teplota (°C)	21,5				Vlhkost (%)			46,7			
Počet vzorků	Chemický rozbor	Tahová zkouška	Zkouška tvrdosti	Drsnost povrchu	Tloušťka povrchu						
	1	0	1	0	0						
Výsledky zkoušek											
Chemické složení - průměr (%)											
Označení	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	
511	0,260	0,2290	0,7670	0,0120	0,0210	0,2880	0,0160	0,1060	0,0259	0,0080	
1	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As	Zr	N	Fe
	0,1500	< 0,0010	0,024	0,007	< 0,005	< 0,001	0,009	0,010	< 0,001	0,009	98,020
Zkouška tvrdosti podle Brinella ČSN EN ISO 6506-1 (HBW 2,5 / 62,5)											
Označení	511										
Výsledek	186										
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)						Košinář Jozef					

Obr. 8.2 Protokol o zkoušení nože Maguin





Graf. 8.1 Gradient tvrdosti nože Hanmar



Graf. 8.2 Gradient tvrdosti nože Maguin

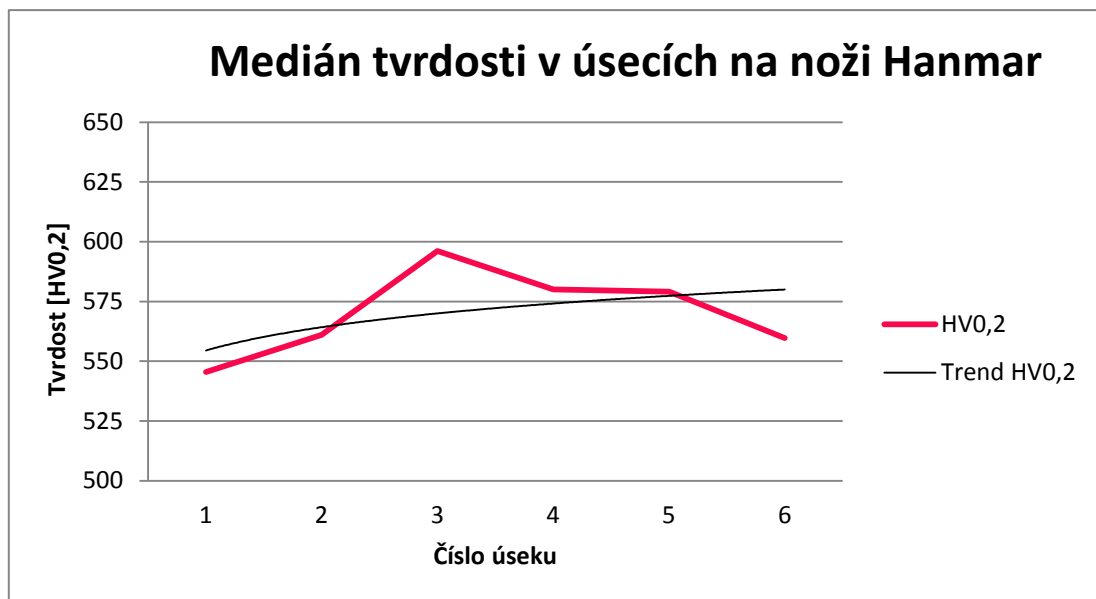
Úsek	Rozsah úseku [mm]	Medián tvrdost [HV0,2]
1	0 až 0,5	545,5
2	0,5 až 1	561,0
3	1 až 1,5	596,1
4	1,5 až 2	580,0
5	2 až 2,5	579,1
6	2,5 až 3	559,7

Tab. 8.1 Mediány hodnot tvrdosti v úsecích nože Hanmar

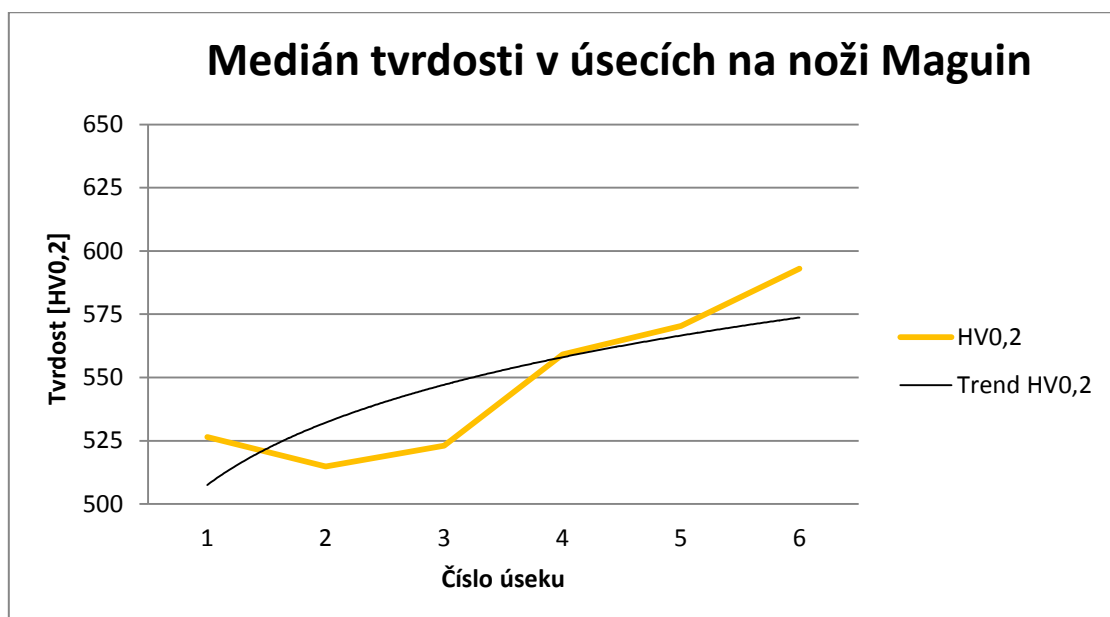


Úsek	Rozsah úseku [mm]	Medián tvrdost [HV0,2]
1	0 až 0,5	526,5
2	0,5 až 1	514,8
3	1 až 1,5	523,0
4	1,5 až 2	559,1
5	2 až 2,5	570,4
6	2,5 až 3	592,9

Tab. 8.2 Mediány hodnot tvrdosti v úsecích nože Maguin



Graf. 8.3 Medián tvrdosti v úsecích na noži Hanmar

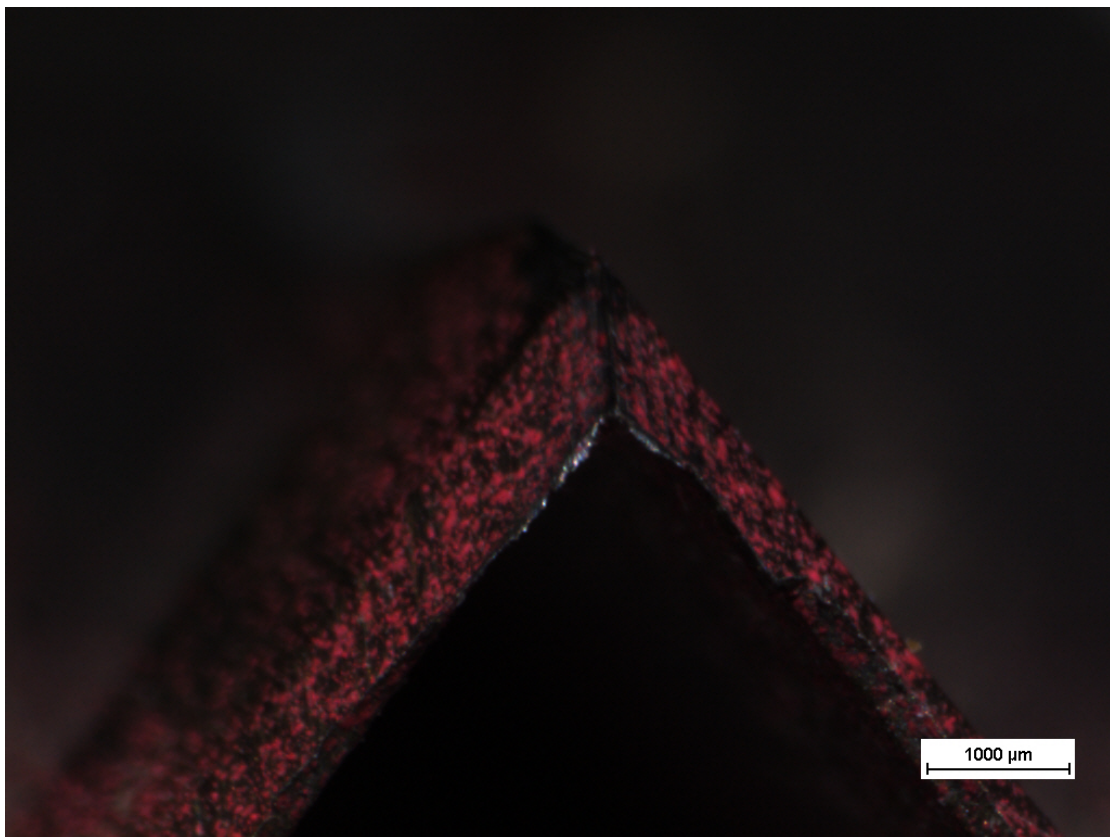


Graf. 8.4 Medián tvrdosti v úsecích na noži Maguin



Ze zjištěných hodnot vyplývá, že oblast prvního a druhého úseku u nože Hanmar je pod úrovní 575 HV_{0,2}; úseky tři až šest se drží nad nebo v těsné blízkosti hodnoty 575 HV_{0,2}. Lze tedy usuzovat, že nůž HANMAR je kalen na hodnotu okolo 575 HV_{0,2}. To znamená, že první dva úseky měřeného nože jsou částečně popuštěny, a to díky teplotnímu ovlivnění vzniklému při tvorbě ostří u dodavatele. Tvrdost nože Maguin se pohybuje v oblasti prvního, druhého a třetího úseku okolo hodnot 525 HV_{0,2}, u ostatních úseků je znatelný postupný nárůst tvrdosti. Nelze tedy přesně odhadnout hodnotu, na kterou je nůž kalen. Lze ale usuzovat, že první tři úseky jsou značně popuštěny, a to díky teplotnímu ovlivnění vzniklému při tvorbě ostří u dodavatele.

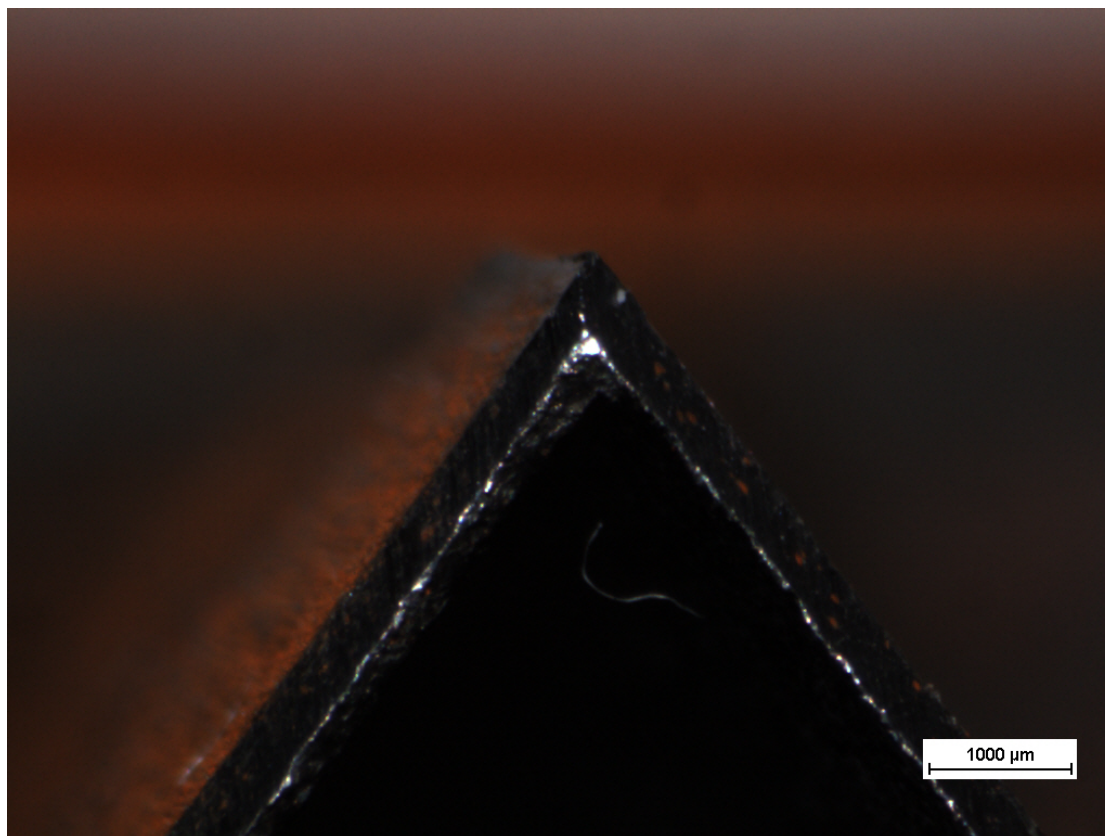
Pro úplnost byl profil ostří nože Hanmar i Maguin nafocen na mikroskopu STEMI DV4 ZEISS při zvětšení 8x. Fotografie se zaměřovaly na ostří. Pro ukázkou přikládám náhodně vybraný snímek hrany ostří (Obr. 8.3, 8.4). Jedná se o snímky nenáběžné hrany, která nepřichází do přímého kontaktu se řepou a nečistotami.



Obr. 8.3 Fotografie ostří nože Hanmar

Při porovnání fotografií materiálových rozborů měření gradientu tvrdosti ostří bylo zjištěno, že nože Putsch jsou lepší než nože Maguin, Hanmar. Při pohledu na fotografie je zřejmé, že ani v jednom případě nedosahuje kvalita ostří nových nepoužitých nožů špičkové kvality. U všech fotografií je znatelné drobné otupení ostří spolu s deformací. Tato deformace je důsledkem transportu nožů, nože se transportují hromadně na paletě a jsou baleny po 20 kusech. Nože v balení nejsou mezi sebou zajištěny a může docházet k jejich vzájemnému dotyku. Z pohledu materiálového rozboru jsou si nože podobné a mají obdobné složení. Největší rozdíl mezi noži je v průběhu gradientu tvrdosti ostří. Nůž Putsch dosahuje tvrdosti okolo 600HV_{0,2} naproti tomu nože Hanmar a Maguin této tvrdosti nedosahují. Tyto nože dosahují tvrdosti okolo 550-575HV_{0,2}.





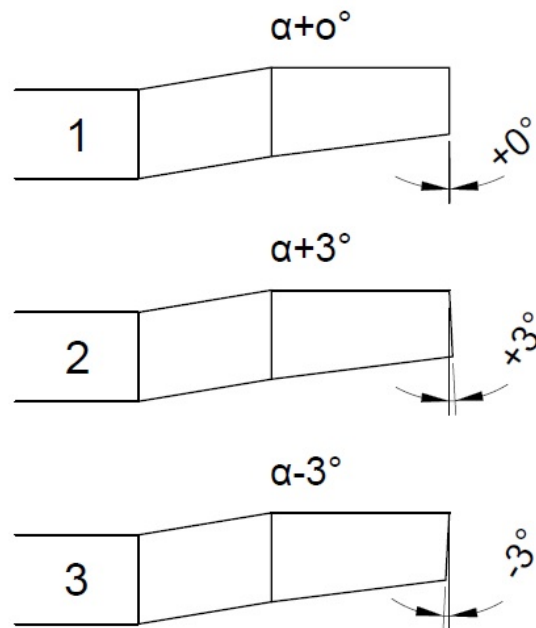
Obr. 8.4 Fotografie ostří nože Maguin

8.1.2 Změna geometrie nože

Druhou možností, jak zvýšit trvanlivost řezačkových nožů, kterou jsem řešil ve své bakalářské práci, je úprava geometrie ostří nože. Změna geometrie a různé úhly nastavení mají při obrábění kovů velký vliv na životnost nástroje, proto byla tato úprava použita i zde. Po prostudování návodu na obsluhu bubnové pračky a konzultaci s pracovníky na stanici řezaček bylo rozhodnuto, že úprava geometrie bude spočívat v úpravě úhlu nastavení. Z návodu k bubnové řezačce a vlastního měření bylo zjištěno, že úhel standardního nastavení je $\alpha = 90^\circ$. Tento úhel mají všechny nože značky Putsch, které se v cukrovaru používají, stejně jako pro test objednané nože značek Hanmar a Maguin. Tento úhel není v průběhu obnovování ostří měněn. Dále je v návodu zmíněno použití upravených nožů s různými velikostmi úhlu α . Pro použití nožů na měkkou řepu se doporučuje změna úhlu α až na 93° . Pro použití nožů na tvrdou řepu až 84° . Pro potřeby své bakalářské práce jsem zvolil použití úhlu $\alpha = 93^\circ$ na měkkou řepu, na tvrdou $\alpha = 87^\circ$ (Obr. 8.5). Hlavní důvod pro tyto hodnoty byla možnost použití továrního zařízení na obnovu ostří. Upraveny byly pouze nože značky Putsch, kterých je v závodě velká zásoba. Tyto volby snížily ekonomické nároky mé bakalářské práce.

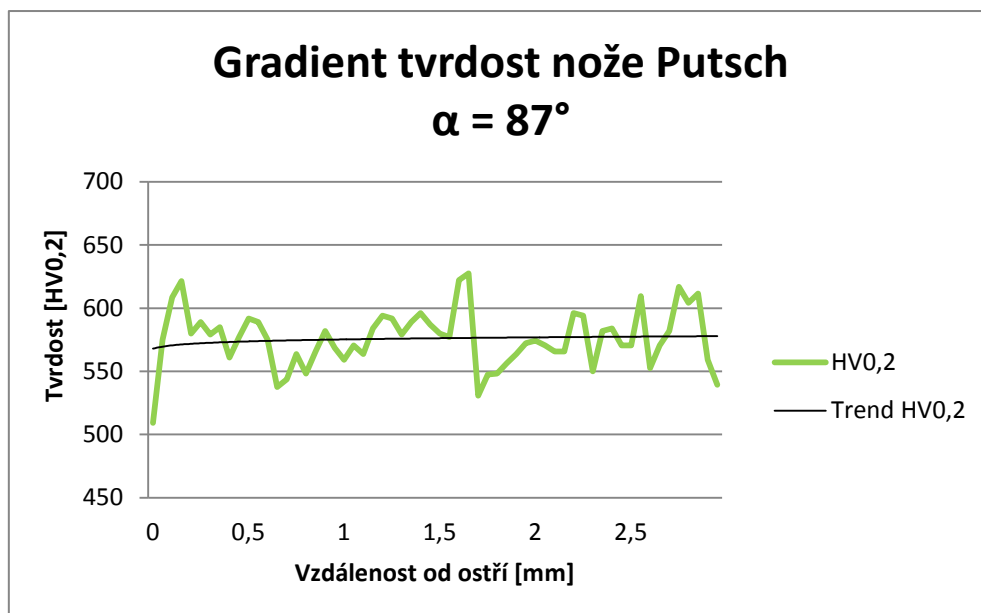
Vzhledem k faktu, že se experimentální část bakalářské práce odehrávala na přelomu prosince a ledna, lze předpokládat, že řepa byla již poškozená mrazem. Takové řepě se říká alternovaná řepa. Alternovaná řepa rychle ztrácí obsah sacharózy a měkne.





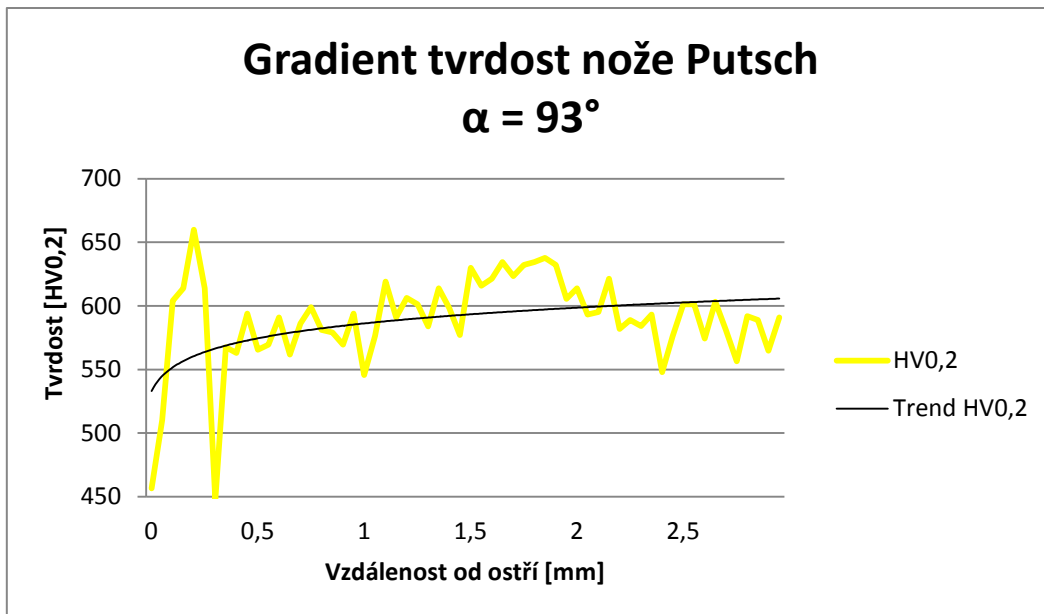
Obr. 8.5 Boční pohled na nože s různým nastavením úhlu α : 1-standardní, 2-měkká řepa, 3-tvrdá řepa

Upravené nože byly podrobeny několika měřením z důvodu porovnatelnosti s ostatními noži. Na nožích s úhlem $\alpha = 87^\circ$ a $\alpha = 93^\circ$ byl změřen gradient tvrdosti metodou HV 0,2. Gradient tvrdosti byl změřen na upravených nožích na školním laboratorním mikrotvrdoměru značky LICO M-400 H1 metodou HV 0,2 na metalografickém výbrusu. Měřil se gradient tvrdosti od začátku ostří do vzdálenosti 3 mm od ostří, viz Obrázek 6.2. Zjištěný průběh gradientů tvrdosti je zobrazen v grafech 8.5 a 8.6.



Graf. 8.5 Gradient tvrdosti nože Putsch $\alpha = 87^\circ$





Graf. 8.6 Gradient tvrdosti nože Putsch $\alpha = 93^\circ$

Pro lepší zachycení skutečnosti jsem získaný gradient tvrdosti opět rozdělil do 6 úseků po 0,5mm. Medián hodnot tvrdosti v každém z intervalů je uspořádan do přehledné tabulky a grafu (tab. 8.4, 8.5, graf. 8.7, 8.8).

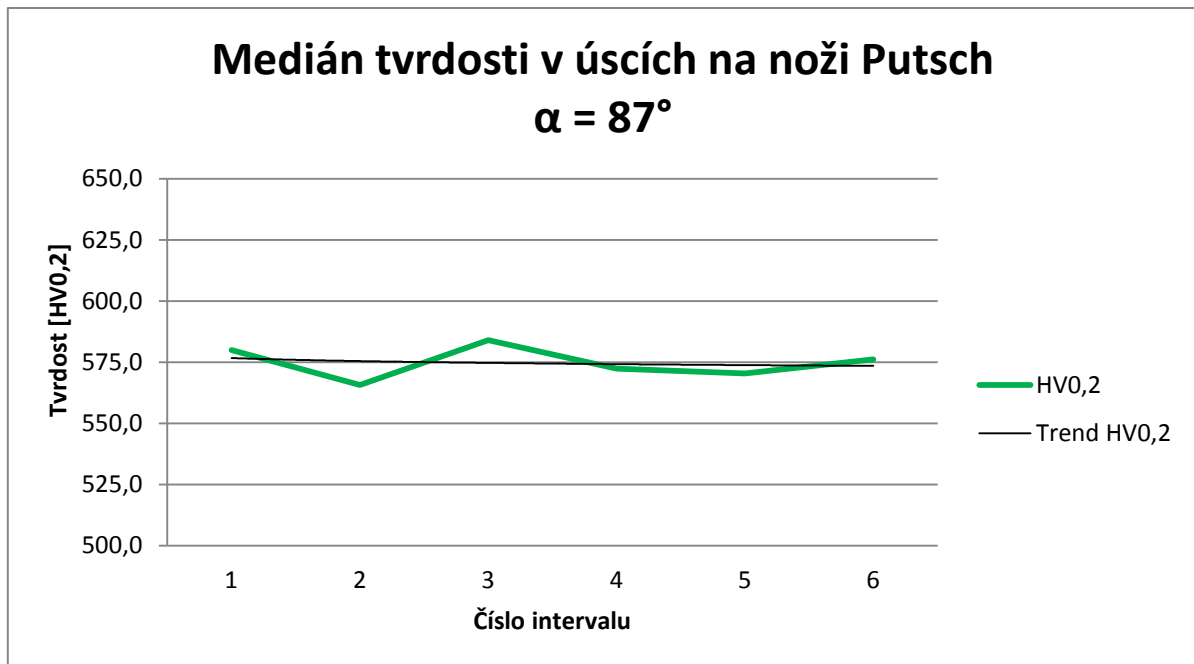
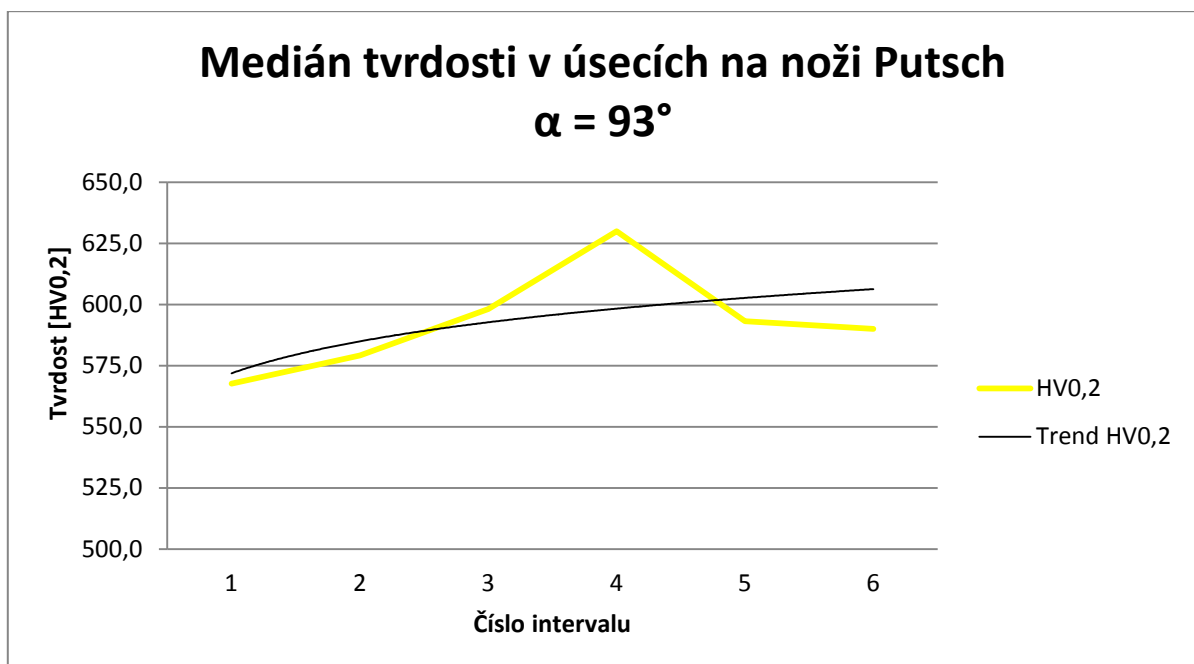
Úsek	Rozsah úseku [mm]	Medián tvrdost [HV0,2]
1	0 až 0,5	580,0
2	0,5 až 1	565,7
3	1 až 1,5	584,0
4	1,5 až 2	572,3
5	2 až 2,5	570,4
6	2,5 až 3	576,2

Tab. 8.4 Mediány hodnot tvrdosti v úsecích nože Putsch $\alpha = 87^\circ$

Úsek	Rozsah úseku [mm]	Medián tvrdost [HV0,2]
1	0 až 0,5	567,6
2	0,5 až 1	579,2
3	1 až 1,5	598,2
4	1,5 až 2	629,9
5	2 až 2,5	593,1
6	2,5 až 3	590,0

Tab. 8.5 Mediány hodnot tvrdosti v úsecích nože Putsch $\alpha = 93^\circ$

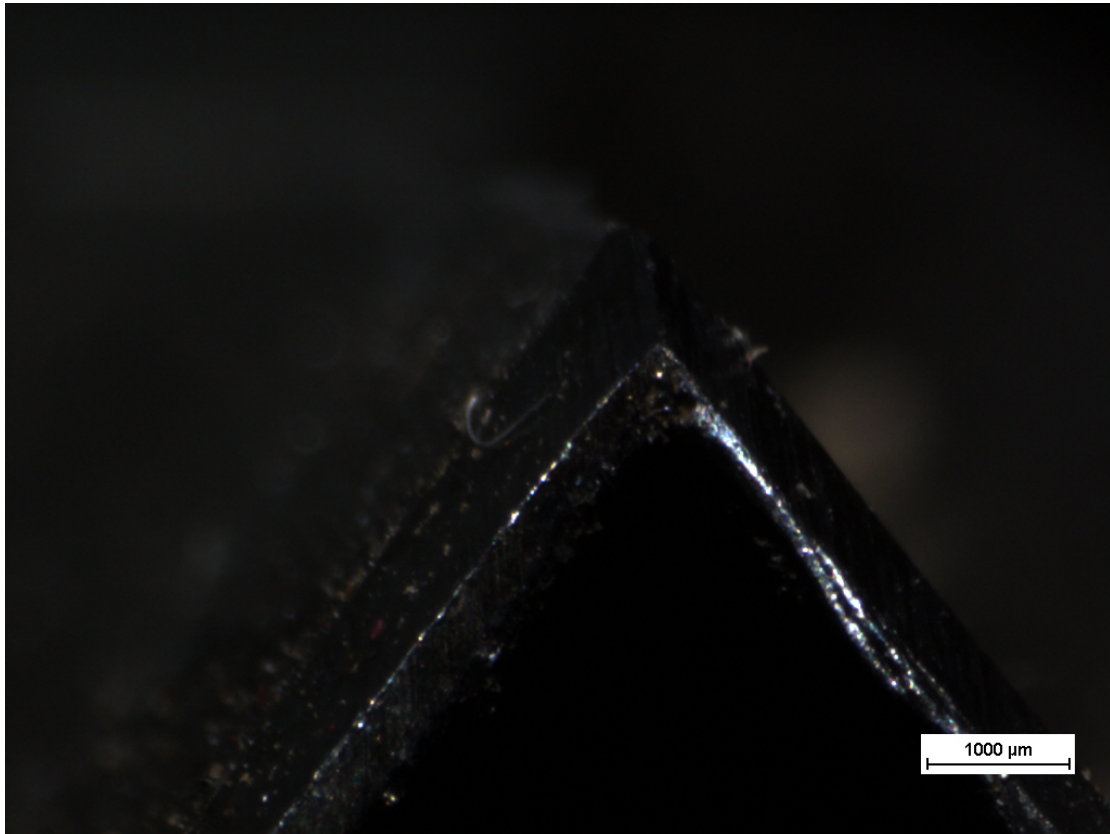


Graf. 8.7 Medián tvrdosti v úsecích na noži Putsch $\alpha = 87^\circ$ Graf. 8.8 Medián tvrdosti v úsecích na noži Putsch $\alpha = 93^\circ$

Ze zjištěných hodnot vyplývá, že se mediány tvrdosti ve všech 6 úsecích na noži Putsch $\alpha = 87^\circ$ nalézají okolo hodnot 575 HV0,2. Mediány tvrdosti v prvním až čtvrtém úseku na noži Putsch $\alpha = 93^\circ$ rostou, konkrétně z hodnot okolo 575 HV0,2 až na hodnoty okolo 625 HV0,2. V pátém a šestém úseku nože Putsch $\alpha = 93^\circ$ hodnoty mediánu tvrdosti klesají, trend je ale celkově rostoucí. Při porovnání s hodnotami neupraveného nože Putsch je z grafu patrné, že v obou případech došlo k teplotnímu ovlivnění materiálu, který je částečně popuštěn. Nůž Putsch $\alpha = 87^\circ$ byl značně ovlivněn v celé délce měřeného gradientu. Nůž Putsch $\alpha = 93^\circ$ byl ovlivněn jen v prvních dvou úsecích.



Pro úplnost byl profil ostří nože Putsch s úhlem $\alpha = 87^\circ$ a $\alpha = 93^\circ$ nafocen na mikroskopu STEMI DV4 ZEISS při zvětšení 8x. Fotografie se zaměřovaly na ostří. Pro ukázkou přikládám náhodně vybraný snímek hrany ostří (Obr. 8.6, 8.7). Jedná se o snímky nenáběžné hrany, která nepřichází do přímého kontaktu s řepou a nečistotami.



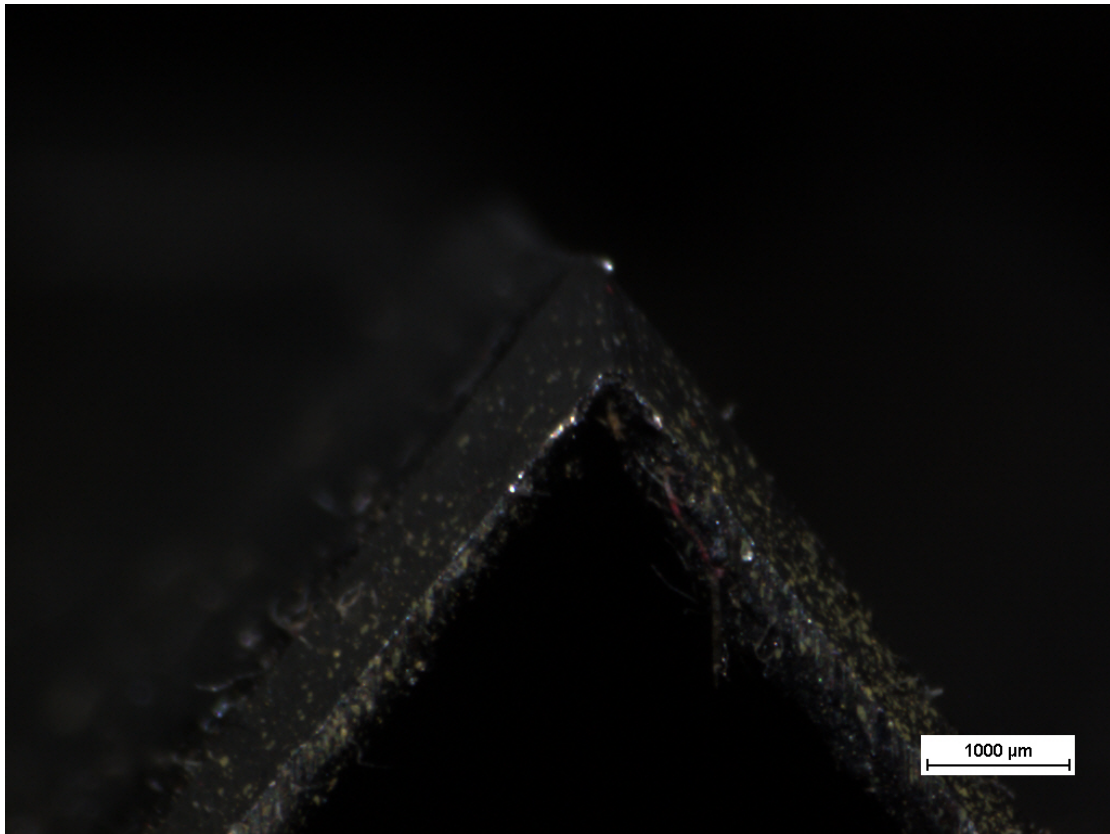
Obr. 8.6 Fotografie ostří nože Putsch $\alpha = 87^\circ$

Při porovnání fotografií je vidět, že je na noži Putsch $\alpha = 87^\circ$ ztelná deformace po úpravě ostří, na fotografii ostří Putsch $\alpha = 93^\circ$ se taková deformace nevyskytuje. Při porovnání výsledků měření gradientu tvrdosti na standardních a upravených nožích Putsch je vidět, že měla úprava nastavení ostří v obou případech negativní vliv na průběh tvrdosti ostří. Protože operace obnovování ostří se provádí na stejném zařízení a za stejných technologických podmínek (posuv, rychlost řezu) jako se prováděla úprava ostří lze konstatovat že velké teplotní ovlivnění zakaleného materiálu nožů je důsledkem obnovování ostří. důsledky týkající se velkého teplotního ovlivnění zakaleného materiálu nožů při obnovování ostří. Jedním z návrhu na zvýšení trvanlivosti rezačkových nožů je tedy snížení teplotního ovlivnění při obnovování ostří; například lepším chlazením místa úběru materiálu, snížením rezné rychlosti, snížením posuvu nástroje.

8.1.3 Úprava povrchu nože

Poslední návrh na zlepšení trvanlivosti ostří, který jsem řešil ve své bakalářské práci, je úprava povrchu nástroje. Úpravou povrchu nástroje je myšlena aplikace povlaku na celou pracovní část nástroje. Povlakování rezné části nástrojů tenkou vrstvou kovů je dnes progresivní metodou, která zlepšuje vlastnosti obráběcích nástrojů.





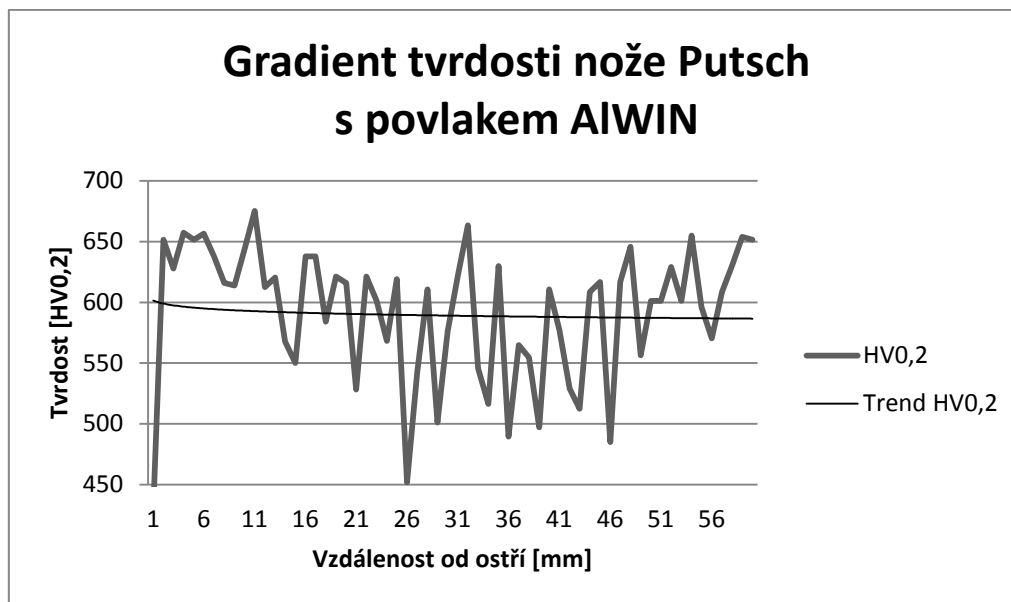
Obr. 8.7 Fotografie ostří nože Putsch $\alpha = 93^\circ$

V dnešní době existují dvě metody nanášení ořezavých povlaků na řezné části nástrojů. Metoda CVD (chemická depozice z plynné fáze) a metoda PVD (nanášení odpařením z pevné fáze). Metoda CVD není použita pro řešení této bakalářské práce, a proto se jí nevěnuji. Metoda PVD je založena na principu nanosení (odpaření, odprášení) pevné látky v řízené atmosféře. Teplotní rozpětí, při kterém nanášení probíhá, je v rozmezí 180 - 600°C, tloušťka povlaku se pohybuje mezi 2-6 μm . Výhodou této metody je nízká teplota procesu, nedochází k teplotnímu ovlivnění základního materiálu. Nevýhodou je všem nedostatečná adheze na základní materiál, pokud se nanášený materiál liší od základního svými chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Samotnou technologii je možné dále rozdělit čtyři základní metody. Vakuové obloukové napařování, reaktivní magnetronové napařování, iontové plátování, reaktivní magnetronová depozice. [22]

Díky znalostem z předchozích kapitol (kapitola č. 6 – Vlastnosti řezačkových nožů), jako je tvrdost materiálu, tepelné zpracování nože, chemické složení materiálu, bylo zřejmé, že nůž by se při aplikaci povlaku metodou CVD poškodil. Byla zde možnost, že zakalení na tvrdost okolo 600 HVO₂ by se popustilo a řezná část by byla příliš měkká. Po konzultaci s firmou SHM, s.r.o. byl zvolen povlak s obchodním názvem ALWIN aplikovaný technologií PVD, jehož technologie nanášení spolu s přesným chemickým složením obchodním tajemstvím firmy SHM, s.r.o. Tento povlak je upravenou variantou povlaku s obchodním názvem TripleCoatings³, jedná se o modifikaci povlaku na bázi CrAlSiN. Obecně lze konstatovat, že povlak ALWIN se vyznačuje velkým množstvím chromu. Má velkou odolnost proti otěru a houževnatost. Díky těmto vlastnostem si snáze poradil s abrazivním působením vyprané řepy než základní materiál nože PUTSCH. [21]



Samotné mechanické vlastnosti povlaku ALWIN nebyly změřeny a měření se zaměřovalo na gradient tvrdosti metodou HV 0,2, který měl ukázat, o kolik klesla tvrdost během aplikace povlaku ALWIN. Gradient tvrdosti byl změřen na upravených nožích na školním laboratorním mikrotvrdoměru značky LICO M-400 H1 metodou HV 0,2 na metalografickém výbrusu. Měřil se gradient tvrdosti od začátku ostří do vzdálenosti 3 mm od ostří, viz Obrázek 6.2. Zjištěný průběh gradientů tvrdosti je zobrazen v Grafu 8.9.



Graf 8.9 Gradient tvrdosti nože Putsch s povlakem

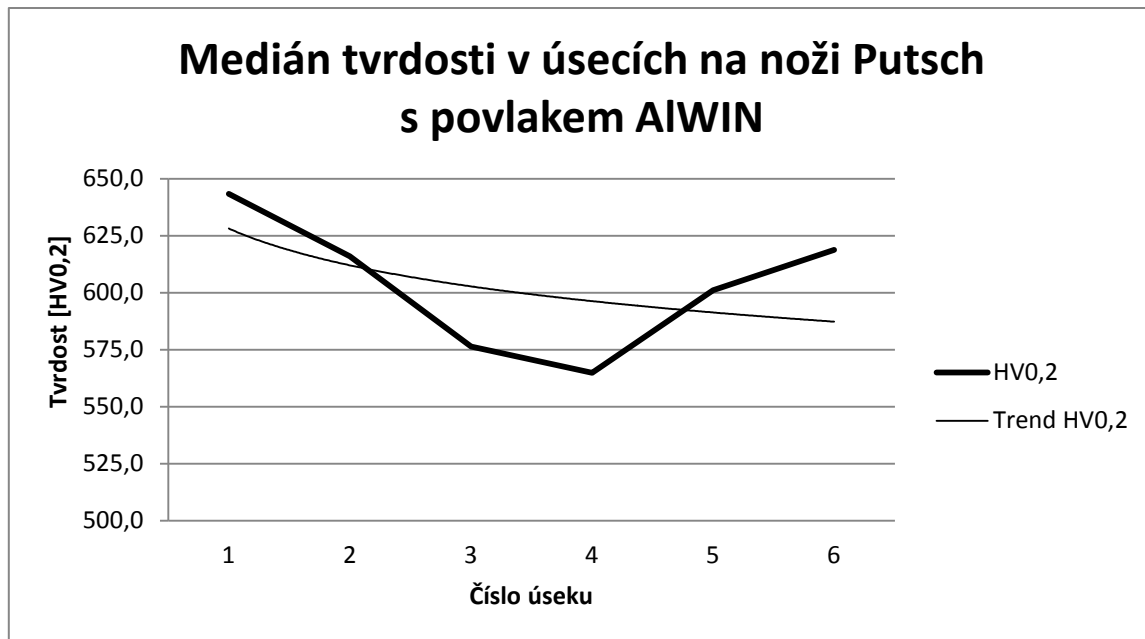
Pro lepší zachycení skutečnosti jsem získaný gradient tvrdosti opět rozdělil do 6 úseků po 0.5mm. Medián hodnot tvrdosti v každém z intervalů je uspořádán do přehledné Tabulky 8.6 a grafu 8.10.

Úsek	Rozsah úseku [mm]	Medián tvrdost [HV0,2]
1	0 až 0,5	643,4
2	0,5 až 1	616,0
3	1 až 1,5	576,3
4	1,5 až 2	564,9
5	2 až 2,5	601,2
6	2,5 až 3	618,8

Tab. 8.6 Mediány hodnot tvrdosti v úsecích nože Putsch s povlakem

Z grafu 8.9 je jasně patrné, že rozsah hodnot při měření gradientu je rozkolísaný, trend hodnot ale ukazuje jisté celkové snížení tvrdosti pod hodnotu 600 HV0,2. Toto snížení tvrdosti avšak není nikterak výrazné, technologie PVD se ukázala jako optimální pro nanášení povlaku na materiál nože Putsch. Při pohledu na graf 6.28 je patrné, že tvrdost v prvním až třetím úseku klesá z hodnot nad 600 HV0,2 pod hodnoty 600 HV0,2. Ve třetím až čtvrtém úseku lze označit medián tvrdosti za konstantní, od čtvrtého do šestého tvrdost opět roste nad hodnoty 600 HV0,2. Teplotní ovlivnění během povlakování mělo za následek eliminaci popuštěných úseků v důsledku tvorby ostří u dodavatele.





Graf 8.10 Medián tvrdosti v úsecích na noži Putsch s povlakem

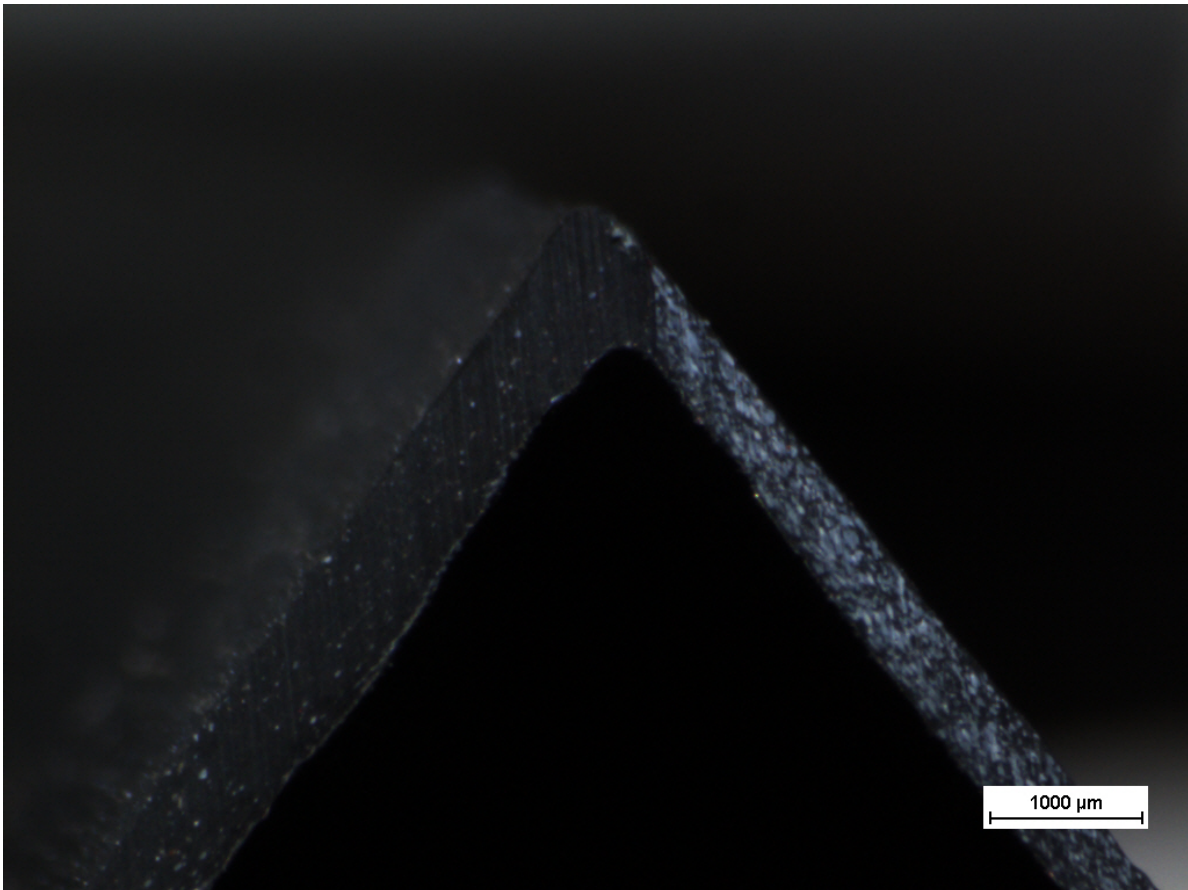
Pro úplnost byl profil ostří nože Putsch s povrchem ALWIN nafocen na mikroskopu STEMI DV4 ZEISS při zvětšení 8x. Fotografie se zaměřovaly na ostří. Pro ukázkou přikládám náhodně vybraný snímek hrany ostří Obrázek 8.8. Jedná se o snímky nenáběžné hrany, která nepřichází do přímého kontaktu s řepou a nečistotami.

Při porovnání fotografií (Obr. 6.29 a Obr. 6.6) ostří nože Putsch s povlakem a bez povlaku je zřejmé, že operace, které byly na noži z důvodu přípravy na povlakování (broušení, leštění, ostření, otryskávání), měly za následek zlepšení vizuální kvality ostří, u nože Putsch s povlakem není patrné otupení, které je na nožích Putsch přítomné již při dodání. Z gradientu (Tab. 6.28, Tab. 6.5) tvrdosti nože Putsch s povlakem a bez povlaku vyplývá, že výrazné snížení tvrdosti v prvních úsecích, které se vyskytuje na nožích Putsch bez povlaku je zde díky teplotnímu ovlivnění během nanášení povlaku eliminováno. Nože Putsch s povlakem mají z pohledu měření a fotodokumentace příznivější vlastnosti než nož Putsch bez povlaku.

8.2 Návrhy na zvýšení trvanlivost technicky a ekonomicky realizovatelné

V této podkapitole jsou uvedeny návrhy, které nebylo možno realizovat v této bakalářské práci. Návrhy zde uvedené jsou technicky realizovatelné ale ekonomicky neproveditelné z důvodů velkého zásahu do rozpočtu.





Obr. 8.8 Fotografie ostří nože Putsch s povlakem

8.2.1 Optimalizace prací linky

Podstatou návrhu je kapacitní optimalizace prací linky jako celku. V dobrovickém závodě se používá prací linka, která se skládá z bubnové, dvou hřeblových a jedné tryskové pračky. Praní řepy trvá zhruba 10 minut. I přes používání intenzivních technologií praní řepy (tryskovou pračkou), je tato doba nedostatečná pro odmočení ulpělé zeminy z řepné bulvy. Bubnová a trysková pračka pracují na hranici své kapacity. Hřeblové pračky pracují s vysokým stavem vody, i když jsou konstrukčně řešeny jako pračky s nízkým stavem vody, jsou tedy přetěžovány. Na tuto skutečnost ukázal průběh kampaně 2015/2016, kdy v první části kampaně průměrné denní zpracování kleslo z obvyklých 15 000 tun řepy za den na pouhých 12 000 tun řepy za den, kvalita vyprání řepy byla na vysoké úrovni. Optimalizací se rozumí připojení další bubnové pračky do série před již stávající bubnovou pračkou a rozšíření kapacity hřeblových praček pomocí instalace obdobného zařízení s větší kapacitou. Prostor pro zástavbu nového zařízení v závodě je dostatečný.

Problémem tohoto návrhu je vysoká finanční náročnost spojená se špatně definovatelnou návratností projektu. Z technického hlediska je ovšem návrh proveditelný a řešení spočívající v instalaci dvou bubnových praček v sérii za sebou. Toto řešení je v praxi ozkoušené, například závody společnosti Tereos France ve Francii.



8.2.2 Mokrý transportní cesta řepy do závodu

V dobrovickém závodě se používá suchá plavací cesta řepy. Při této metodě transportu přichází řepa do kontaktu s vodou až v práci lince. Jak bylo řečeno v minulém návrhu, délka praní je nedostatečná, čas, který řepa stráví v kontaktu s vodou, je nedostatečný. V minulosti se v závodě používala mokrá pracovní cesta, která spočívá v transportu řepy z ukládky řepy pomocí proudu vody. Tato mokrá transportní cesta má výhodu, že se řepa při cestě v proudu vody odmočí a třením o sebe se i předmyje. Kvalita řepy vstupující do prací linky je lepší, řepa je zbavena těžkého (hlína, kameny) i lehkého (chrást, plevele) znečištění. Díky tomuto předmytí je účinnost prací linky vyšší a k řezačkám se dostává čistší řepa.

Hlavním problémem návrhu je technická proveditelnost. Maximální konstrukční kapacita mokré transportní cesty je obvykle udávána okolo 10 000 tun řepy za den, tato transportní cesta je vhodná pro menší závody. Pro dobrovický závod by se musela postavit zdvojená transportní cesta. Proto je tento návrh ekonomicky nerealizovatelný. S přihlédnutím k moderním trendům v cukrovarnictví i cestou zpět [22].

8.2.3 Změna materiálu nože

Vzhledem k tomu, že z popisu stávajícího stavu, konkrétně rozborů materiálů nože Putsch, je zřejmé, že materiál nože je běžná ocel a ve strojírenství se taková ocel na nástroje nepoužívá, používají se materiály s lepšími mechanickými vlastnostmi. Návrh počítá s použitím jakostní ocele, tento materiál by zaručil lepší vlastnosti z pohledu trvanlivosti nástroje.

8.3 Návrhy na zvýšení trvanlivosti technicky a ekonomicky nerealizovatelné

V této podkapitole jsou uvedeny návrhy, které nebylo možno v praxi realizovat. Technická a ekonomická náročnost těchto návrhů je příliš velká.

8.3.1 Třídění řepy před vstupem do závodu

Během řezání řepy se v řezané řepě objevují velké nečistoty, které brání klidnému chodu stroje, například části kořenů, části silničních patníků, kovové části. Prací linka není schopná odstranit 100 % nečistot. Podstatou návrhu je zbudovat třídící stanici, která by třídila veškerou řepu, jež putuje do závodu, odstranila z ní nestandardní částice tak, aby prací linka odstraňovala jen ulpělou zeminu na řepě.

Hlavním problémem tohoto návrhu je nalezení vhodného principu třídění velkého množství řepy, kterou závod spotřebuje pro svůj provoz. Dalším problémem je ekonomická stránka věci.



8.3.2 Změna tvaru nože a principu řezání sladkých řízku

Dnešní technologie pracují se stříškovým profilem sladkého řízku. Podstatou návrhu je optimalizace tvaru sladkého řízku za účelem zvětšení jeho plochy, přes kterou může dodávek k extrakci sacharózy.

Pro provádění experimentů s novým tvarem ostří a principem řezání sladký řízku není během provozu cukrovarů prostor. Provádění experimentů během řepné kampaně by mohlo negativně ovlivnit výsledky kampaně. Ideálním prostředím pro experimenty s novým tvarem ostří jsou výrobci technologií, které cukrovary používají pro svůj provoz a zároveň mají pro vývoj technologií postavené laboratoře.

8.3.3 Optimalizace transportu řepy od pěstitelů do závodu

Při transportu řepy do závodu dochází ke značnému mechanickému namáhání řepné bulvy. Vyorání řepy, ukládka na poli, nakládka řepy na nákladní vozidla, transport do závodu, tyto všechny operace a jejich časová náročnost mají vliv na stav řepné bulvy a množství sacharózy v ní obsažené. Podstatou návrhu je optimalizace harmonogramu sklizně řepy, odstranění ukládky řepy na poli.

Problémem návrhu je ekonomická náročnost z pohledu obnovy strojového parku zemědělců, organizace dostatečného počtu řepných kombajnů, které by vyorávaly řepu v čase, kdy dozrává a ne podle volné kapacity kombajnů.

8.3.4 Pěstování řepy v lehčích typech půd

Tento návrh vychází ze zkušeností z provozu stanice řezaček v cukrovarech skupiny Tereos ve Francii, které používají řepu pěstovanou v písčité půdě. V České republice se řepa pěstuje především v oblastech s úrodnou hlinitou půdou, která dobře poutá vodu a živiny. Problémem hlinité půdy je, že dobře ulpívá na řepné bulvě, naproti tomu se písčité půda lehce odmočí při praní a řepa obsahuje méně nečistot. Méně nečistot v řezané řepě má za následek delší trvanlivost řezačkového nože. Podstatou návrhu je nalezení optimálních prostor pro pěstování řepy v písčité půdě.

Hlinitopísečné půdy, které by byly výhodnější pro pěstování řepy, se v České republice nacházejí v oblasti Českomoravské vrchoviny. Hlavním problémem by bylo nalezení prostoru pro pěstování a dlouhá dopravní vzdálenost z místa sklizně do cukrovar.

8.4 Popis experimentu

Praktická část experimentu probíhala ve dnech 28.12.2015 (1.směna), 30.12.2015 (2.směna), 3.1.2016(3.směna) a 4.1.2016 (4.směna). Vyhodnocovací část probíhala neprodleně po zakončení praktické části.



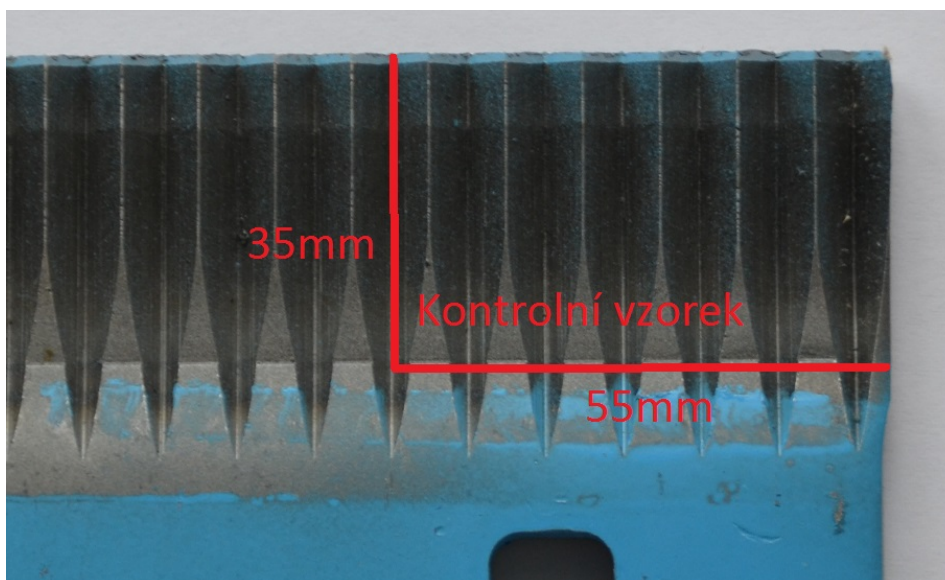
8.4.1 Realizace experimentu

Oproti navržené metodice bylo nutné při praktickém provedení experimentu provést několik úprav. Během experimentu se nevyklytly závažnější problémy.

Za prvé se z důvodu ceny technologie a materiálu nepovedlo uskutečnit nanosení povlaku na všech 108 nožů připravených k úpravě povrchu. Přistoupilo se k nutnému minimum, a to k 12 upraveným nožům a 2 rezervním, které sloužily jako výchozí stav pro porovnání. Těchto 12 nožů se vkládalo do nožových hlav na pozici vzorku pro pozdější expertízu. To znamená pozici ve 2. vodorovné řadě a 2. svislém sloupci nožové hlavy (Obr. 8.6). Ostatní místa v nožové hlavě byla osazena obyčejnými noži, kterých se experiment netýkal, tedy noži, které se běžně používají v závodě a mají oproti testovaným nožům odlišnou zbývající životnost. Pro takto sesazené nožové hlavy platil stále postup uspořádání řad nožů druhu A a druhu B podle doporučení výrobce Putsch (Obr. 8.6) .

Za druhé navržená zkušební doba 12 hodin byla dodržena jen v případě 3. a 4. směny experimentu. V těchto dvou směnách experimentu byla kvalita řízků a hladina zatížení extraktoru BMA v normálních stavech, které jsou běžné pro normální provoz závodu. Při 1. směně byla zkušební doba vzhledem k dostačující kvalitě sladkých řízků prodloužena o 2 hodiny na konečných 14 hodin, tato úprava se dělá na příkaz ředitele závodu. Ve 2. směně byla naopak zkušební doba zkrácena z důvodu přetížení extraktoru BMA, což ohrožovalo bezpečnost provozu závodu, na výsledných 8 hodin.

Za třetí byl, z důvodu velkých rozměru nože a nemožnosti upnout nož do přípravku, z každého nože odebrán vzorek o velikosti 35 mm x 55 mm (Obr. 8.10). Kontrolní vzorek obsahoval právě 6 zubů. Kontrolní vzorek takovéto velikosti se již vešel do přípravku a bylo ho možno vyfotografovat.



Obr. 8.10 Velikost kontrolního vzorku.

Za čtvrté nemohlo být z časových důvodů hodnoceno všech 3900 zubů nožů, bylo by nutné hodnotit 3900 fotografií. Pro představu, zpracování jednoho snímku a jeho vyhodnocení (operace výběru vzorku, úprava vzorku, úprava fotografie zubu, hodnocení v UP) trvá v průměru 5 min, což při



počtu 3900 snímků dá výsledných 195 000 minut (13,5 dne čistého času). Bylo zpracováno 6 fotografií z každého vzorku. Celkem bylo tedy zpracováno 360 fotografií (Tab. 8.9).

Počet	Popis
5	Počet sad (Nové, 1. směna, 2. směna, 3. směna, 4. směna)
6	Počet druhů úprav v sadě (P, M, H, P-3, P+3, P-Cr)
2	Počet hran nože (Náběžná, Nenáběžná)
6	Počet snímků každé hrany
360	Celkem

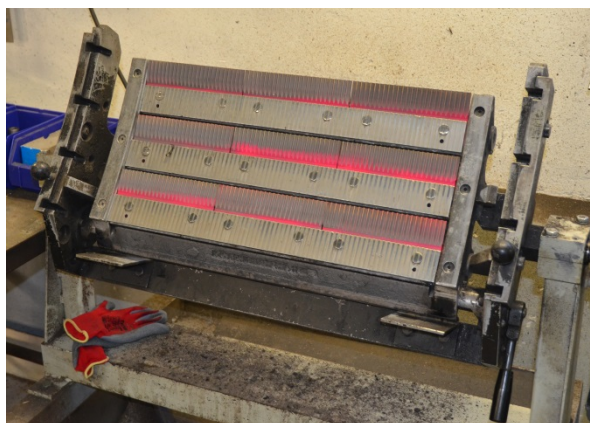
Tab. 8.9 Počet snímků nožů.

Nůž, ze kterého se odebíral kontrolní vzorek, byl vybírán pomocí metody náhodného výběru. Při každém opakování experimentu, tedy při každé pracovní směně, vznikly tři kusy opotřebovaných nožů (testovaných vzorků) od každého druhu dodavatele a úpravy (P, M, H, P+3, P-3, P-Cr), z těchto tří nožů se vybíral pouze jeden, ze kterého se odebíral kontrolní vzorek (viz kapitola 6 – Návrh metodiky experimentu).

8.4.2 Příprava experimentu

Před zahájením samotného experimentu bylo nutné provést níže popsané operace, které měly za účel připravit nože na použití v řezačce. Tyto operace se opakovaly při každé přípravě experimentální směny.

Nože byly vkládány do nožových hlav pomocí speciálního manipulátoru a utahovány v ní pomocí pneumatické utahovačky (Obr. 8.11).



Obr. 8.11 Nožová hlava s noži Hanmar v otočném manipulátoru

Poté byly nožové hlavy vloženy do manipulačního vozíku, kde byly ponechány do plánované výměny. Výměna nožových hlav probíhá pomocí hydraulicky poháněného zařízení na výměnu nožových hlav během odstávky řezačky (viz kapitola 5.2.6) (Obr. 8.12).





Obr. 8.12 Nožová hlava během výměny

Když byla výměna nožových hlav hotová, špinavé a otupené nožové hlavy se pomocí manipulačního vozíku a jeřábu přenesly do vany, kde byly zbaveny ulpělých částic řepy a nečistot pomocí proudu horké vody a stlačeného vzduchu (Obr. 8.13).



Obr. 8.13 Čištěný nožových hlav

Takto vyčištěné nožové hlavy byly převezeny ke speciálnímu stolu. Na tomto stole proběhla demontáž opotřebovaných nožů. Prázdné nožové hlavy byly naloženy opět do vozíku a převezeny k manipulátoru, kde čekaly na opětovné naplnění ostrými noži (Obr. 8.14). Nože vyjmuté z hlavy byly očištěny a dosušeny. Obvyčné nože byly naloženy do manipulačního vozíku a předány pracovníkovi, který na nich provedl operaci obnovy ostří. Nože, kterých se experiment týkal, byly roztříděny podle barvy a uloženy k pozdější expertíze v laboratořích.

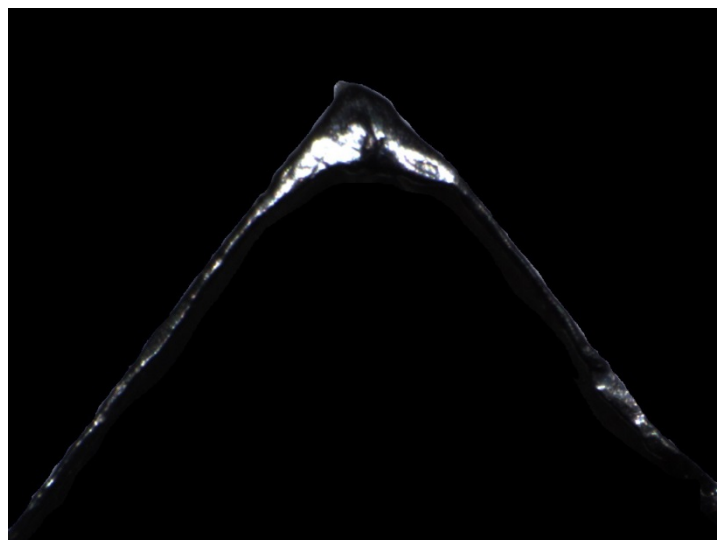
Nože vybrané k expertíze se převezly do laboratoří, kde samotná expertíza probíhala. Prvním krokem v laboratořích bylo dočištění nožů pomocí tekoucí vody a jejich roztřídění podle druhu a pracovní směny. Následovalo získání kontrolního vzorku, nože byly řezány na laboratorní pile STRUERS SECOTOM 50, nastavení pily (druh kotouče, otáčky kotouče) odpovídalo předepsaným hodnotám pro materiál tvrdší než 500 HV. Poté se kontrolní vzorek upnul a vyfotografoval mikroskopem STEMI DV4 ZEISS při zvětšení 8x. Na každém kontrolním vzorku bylo vyfotografováno 6 zubů z pohledu na náběžnou hranu a 6 zubů z pohledu na nenáběžnou hranu. Z každého kontrolního vzorku vzniklo celkem 12 snímků.





Obr. 8.14 Prázdné nožové hlavy ve vozíku

Postup popsáný v tomto odstavci se opakoval pro každý ze 360 snímků. Po vyfotografování snímku zubu se fotografie opatřila měřítkem, popisem a uložila na HDD pracovního počítače, který byl připojený k mikroskopu. Fotografie se přenesla pomocí USB flash disku na počítač se softwarem LabView 14. Kvůli nutnosti přesnosti měření musela být každá fotografie upravena v prostředí programu Malování pro Windows. Tato úprava spočívala v odběru pozadí fotografie, které působilo rušení a nahrazení tohoto pozadí černou barvou (Obr. 8.15). Tato operace pomohla přesněji definovat oblast pozadí a oblast břitu nože. Takto upravená fotografie se načetla do UP, pomocí myši se vybrala vybraná oblast pro měření a spustil se výpočet. Vypočtená hodnota byla zapsána do souboru v programu Microsoft Excel. Pomocí tohoto programu se provedlo grafické zobrazení naměřených hodnot, které jsou v závěru práce shrnuty do výsledků.



Obr. 8.15 Upravená fotografie ostří



9 Vyhodnocení experimentu

Cílem bakalářské práce bylo porovnat trvanlivost nožů od různých dodavatelů spolu s návrhem opatření pro zajištění lepší trvanlivosti nožů. Experiment probíhal na originálních nožích značek Putsch, Maguin, Hanmar. Značka Putsch je i výrobcem řezačky, na které byl experiment realizován. Konkrétně se jedná o řezačku Putsch TSM 2200-22-600 S. Výrobce Maguin je konkurenční francouzský výrobce řepných řezaček, dodavatel Hanmar je polský výrobce nožů. Návrhy realizované v této bakalářské práci je možno shrnout do dvou oblastí, a to úpravy nastavení nože, úprava povrchu nože.

Trvanlivost nožů byla hodnocena navrženou metodikou na základě porovnání otupení před použitím nožů a po použití během jedné pracovní směny. Hodnotila se míra vzniklých lesklých plošek, které dobře odrážely světlo pomocí strojového porovnání fotografií (viz kapitola 7.4). Míru otupení vyjadřovala velikost lesklé plochy v pixelech. Pro porovnání vzniklo i vyhodnocení dat z měření na základě ČSN ISO 8688-1, přesněji výpočet statistického intervalu spolehlivosti. Tento interval určuje s pravděpodobností 95 % skutečnou velikost plochy otupení v pixelech pro jednotlivé typy nožů během jednotlivých směn [28].

Experiment se provedl podle návrhu metodiky z kapitoly 7.4. Při praktickém provedení experimentu bylo nutno změnit několik dílčích parametrů z důvodu nepředpokládaných okolností (cena technologie, přetížení extraktoru BMA, časová náročnost přípravy kontrolního vzorku)

Z naměřených hodnot se vytvořilo celkem 37 tabulek, z toho 30 je součástí Přílohy č. 2 a zbylých 7 je obsaženo v kapitole 9 – Vyhodnocení experimentu. Pro lepší přehlednost výsledků bylo vyhodnocení rozděleno na vyhodnocení pomocí mnou vymyšlené metodiky a metodiky podle ČSN ISO 8688-1.

9.1 Vyhodnocení na základě návrhu metodiky vyhodnocení

Při měření navrženou metodikou bylo dosaženo hodnot, které jsou uvedeny v Tab. 9.1 a 9.2.

Náběžná hrana						
S [px]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh -3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Nový nůž	17,5	22,5	297	128	293,5	0
1. směna	1358	1255,5	774,5	1305	799	1749,5
2. směna	872,5	1528	1201,5	931	1712	1513
3. směna	742	1158,5	465,5	988	347,5	103,5
4. směna	698	1154,5	503	843,5	586,5	189,5

Tab. 9.1 Souhrnná vyhodnocovací tabulka – Náběžná hrana



Nenáběžná hrana						
S [px]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh -3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Nový nůž	128	15	159	29	662	0,5
1. směna	1984,5	817	783,5	1022,5	1261	4147
2. směna	1029,5	1832	1145	376,5	3048,5	2659
3. směna	617,5	1011,5	581,5	958,5	3662,5	544
4. směna	562	1147,5	838	1100	2492	1117

Tab. 9.2 Souhrnná vyhodnocovací tabulka – Nenáběžná hrana

Hodnoty z Tab. 9.1 a 9.2 byly následně přepočítány podle vzorce (Obr. 6.10) do procentuálních hodnot, které jsou uvedeny v Tab. 9.3 a 9.4.

Náběžná hrana						
S _% [%]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh -3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Nový nůž	1,00	1,29	16,98	7,32	16,78	0,00
1. směna	77,62	71,76	44,27	74,59	45,67	100,00
2. směna	49,87	87,34	68,68	53,22	97,86	86,48
3. směna	42,41	66,22	26,61	56,47	19,86	5,92
4. směna	39,90	65,99	28,75	48,21	33,52	10,83

Tab. 9.3 Procentuální vyhodnocovací tabulka – Náběžná hrana

Nenáběžná hrana						
S _% [%]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh -3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Nový nůž	3,09	0,36	3,83	0,70	15,97	0,00
1. směna	47,86	19,70	18,90	24,66	30,41	100,00
2. směna	24,83	44,18	27,61	9,08	73,52	64,13
3. směna	14,89	24,39	14,02	23,12	88,33	13,12
4. směna	13,55	27,67	20,21	26,53	60,10	26,94

Tab. 9.4 Procentuální vyhodnocovací tabulka – Nenáběžná hrana

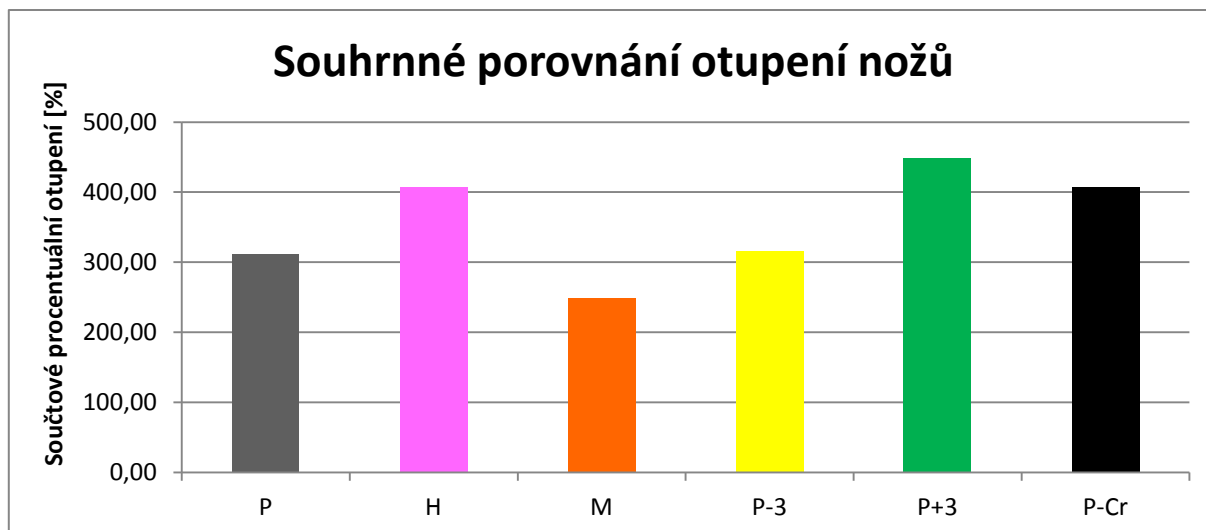
Pro lepší interpretaci výsledků byly Tab. 9.3 a 9.4 sečteny podle návrhu metodiky (viz kap. 7.4), hodnoty součtu byly převedeny na Tab. 9.5, ze které byl vytvořen i Obr. 9.1.

S _% [%]	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh -3°	Putsh +3°	Putsch-Cr
Celkem	310,94	407,27	249,05	315,88	449,27	407,41

Tab. 9.5 Součtová tabulka

Z naměřených hodnot je jasně patrné, že během experimentu je otupení nožů Maguin nejmenší, kdežto otupení standardně používaného nože Putsch je zhruba o ¼ větší. Úpravy na nožích Putsch neměly příznivý efekt na nárůst trvanlivosti, tím i na snížení opotřebování nože. V případě úpravy P+ 3 bylo dokonce opotřebení nejhorší ze všech testovaných nožů. Povlak Alwin na noži P-Cr neměl patřičný efekt na zvýšení trvanlivosti. Stav povrchu nože P-Cr po experimentálních směnách byl vynikající.





Obr. 9.1 Souhrnné porovnání otupení nožů

9.2 Vyhodnocení na základě statistických metod normy ČSN ISO 8688-1

Při hodnocení dosažených hodnot se vycházelo ze zápisových tabulek, které jsou součástí přílohy. Získané statistické intervaly spolehlivosti jsou uspořádány do Tabulky 9.6 a 9.7.

Z vypočtených středních hodnot a konfidenčních intervalů lze určit, že výsledky dosažené navrženou metodikou a statistickým porovnáním se značně rozcházejí. Z tabulek lze určit, že nůž typu P-Cr má jako nový nůž nejkvalitnější ostří. Při porovnání během testovacích směn vychází, že nože P-Cr, M a P-3 měly shodně dvakrát nejnižší hodnotu otupení.

Problémem tohoto řešení je malá vypovídací hodnota z důvodu příliš velkého konfidenčního intervalu, velikost tohoto intervalu značně zkresluje výsledky.

9.3 Vyhodnocení na základě mechanických vlastností

Během přípravy praktické části bakalářské práce byla provedena řada mechanických zkoušek na standardních nožích, nožích od jiných dodavatelů a nožích s úpravou pro zvýšení trvanlivosti. Z těchto zkoušek vyplynulo, že nůž Putsch (P) má největší hodnotu tvrdosti v místě ostří a i jeho gradient tvrdosti ve vzdálenosti od ostří má nejlepší průběh. Naopak nůž Putsch s úpravou povrchu povlakem Alwin (P-Cr) má největší kvalitu ostří vzhledem k otupení a deformacím před použitím v řepné řezačce (viz. tabulky 9.3 a 9.4). Tento fakt je vychází se skutečností, že před nanesením povlaku byly na nožích vykonány operace jako broušení, leštění, čištění, které měly za následek zlepšení kvality ostří před samotným testem.



Náběžná hrana						
S [px]	Putsch	Kon. Int. P	Hanmar	Kon. Int. H	Maguin	Kon. Int. M
Nový nůž	28	± 39	30	± 21	340	± 245
1. směna	1 462	± 491	1 176	± 486	952	± 859
2. směna	2 472	± 3442	1 374	± 624	1 116	± 455
3. směna	842	± 732	1 553	± 1802	539	± 412
4. směna	716	± 514	1 136	± 858	527	± 349
S [px]	Putsh -3°	Kon. Int. P-3	Putsh +3°	Kon. Int. P+3	Putsch-Cr	Kon. Int. P-Cr
Nový nůž	122	± 106	278	± 184	2	± 5
1. směna	1 305	± 730	877	± 662	1 528	± 584
2. směna	947	± 253	3 117	± 4385	1 667	± 536
3. směna	1 606	± 2059	507	± 556	133	± 100
4. směna	1 375	± 1538	811	± 664	227	± 190

Tab. 9.6 Statistická tabulka – Náběžná hrana

Nenáběžná hrana						
S [px]	Putsch	Kon. int. P	Hanmar	kon. int. H	Maguin	Kon. int. M
Nový nůž	134,0	± 68	65,0	± 111	189,2	± 104
1. směna	2 160,3	± 1682	1 132,3	± 715	908,5	± 580
2. směna	1 444,3	± 940	1 655,8	± 1126	1 073,7	± 405
3. směna	710,2	± 533	931,7	± 580	620,8	± 326
4. směna	509,7	± 342	1 073,7	± 586	1 290,7	± 1484
S [px]	Putsh -3°	Kon. int. P-3	Putsh +3°	Kon. int. P+3	Putsch-Cr	Kon. int. P-Cr
Nový nůž	29,9	± 33	778,7	± 539	2,2	± 5
1. směna	1 047,3	± 747	1 407,7	± 455	3 814,3	± 2193
2. směna	552,2	± 617	2 864,3	± 1000	2 431,7	± 1537
3. směna	1 160,8	± 985	3 603,8	± 2042	832,8	± 650
4. směna	1 233,0	± 458	2 847,0	± 1824	1 887,8	± 2818

Tab. 9.7 Statistická tabulka – Nenáběžná hrana



10 Závěr

Bakalářská práce byla zpracována v cukrovaru společnosti Tereos a.s. v Dobrovici. Praktická část probíhala na přelomu roku 2015 a 2016 během řepné kampaně, jak se nazývá období provozu cukrovaru.

Výroba cukru spočívá v extrakci sacharózy z cukrové řepy a následné 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 řezáním řepy úzce souvisí i technologie čištění řepy od hlíny, písku a jiných příměsí, jinak řečeno praní řepy. Protože řezáním kvalitně očištění řepy lze dosáhnout dlouhé trvanlivosti řezačkových nožů a kvalitních řízků.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo porovnání trvanlivosti nožů do řezačky řepy. Porovnání probíhalo během reálného provozu cukrovaru. Součástí řešení bylo navrhnutí úprav nožů za účelem zvýšení jejich trvanlivosti. Byly porovnávány nože tří výrobců v několika úpravách.

Byla použita metodika strojového vyhodnocování snímku ostří. Nože s nejzachovalejším ostřím představují nože s nejdelší trvanlivostí, což je pro kvalitní výrobu sladkých řízků nejdůležitější. Pomocí statistických metod bylo zjištěno, že výsledky dosažené navrženou metodikou nejsou dostatečně přesné. Přesněji konfidenční interval odpovídal dvojnásobku střední hodnoty. Z této skutečnosti lze konstatovat, že opotřebenosti jednotlivých zubů řezačkového nože, jakožto i celých nožů, není dostatečně pravidelné. Tento problém vzniká v důsledku nedostatečně očištěné řepy a kolísání kvality řepy přijímané do závodu. Tato metodika byla použita poprvé a nepodařilo se dohledat výzkum, který by se zabýval podobnou problematikou pro zpřesnění navržené metodiky. Zpřesnění výsledků by mohlo být dosaženo například hodnocením většího kontrolního vzorku zubů, zajištěním vyrovnané kvality a čistoty řepy. Rozšíření metodiky i o vliv očištění řepy a kvality výstupních sladkých řízků.

Jak již bylo uvedeno v úvodu práce, rozhodujícím faktorem trvanlivosti řezačkových nožů je čistota řezané řepy. Během experimentů byla prokázána souvislost mezi kvalitou očištění řepy a trvanlivostí řezačkových nožů a to na základě průběhu experimentu vzhledem k době trvání experimentu. Dále bylo zjištěno že, plavící linka, technologický úsek cukrovaru zodpovědný za čištění řepy, je dlouhodobě přetěžován, konkrétně bubnová a trysková pračka jsou na nominální kapacitě. Dvojice hřeblových praček je dokonce provozována v rozporu s technologickými parametry výrobce zařízení. Tímto je myšlena změna frekvence frekvenčního měniče elektromotoru, která má za následek zvýšení otáček hřídele a docílení zvýšení pracovní kapacity stroje. Další z možností, jak zlepšit trvanlivost řezačkových nožů, je zlepšit chlazení při obnovování ostří, anebo snížení řezné rychlosti při obnovování ostří na továrních bruskách.

Z porovnání dodavatelů řezačkových nožů podle navržené metodiky vyšel s nejmenším součtovým procentuálním otupením výrobce Maguin. Nože značky Putsch měly oproti noži Maguin zhruba o 60 % větší součtové otupení a umístily na druhém místě. Nože značky Hanmar měly oproti noži Maguin zhruba o 150 % větší součtové otupení a umístily na třetím místě.



Z návrhů na zlepšení trvanlivosti řezačkových nožů byly provedeny návrhy týkající se změny geometrie ostří a úpravy povrchu nože povlakem. Tyto úpravy neměly v porovnání s výchozím stavem nože značky Putsch kladný dopad na trvanlivost. Konkrétně úprava geometrie spočívající v zvětšení úhlu α o 3° způsobila výrazně nižší trvanlivost, zhoršení kvality ostří oproti výchozímu noži Putsch. Druhá úprava geometrie, znamenající zmenšení úhlu α o 3° v porovnání s výchozím nožem Putsch nepřinesla výraznou změnu trvanlivosti, opotřebenosti upraveného nože vzrostlo pouze o 5 % v součtovém měřítku. Úprava nože povlakem měla s porovnání s výchozím nožem Putsch vykazovala taktéž nižší trvanlivost, zhoršení kvality ostří. Vliv povlaku se ale projevil na zlepšení jakosti ostří před použitím nože, menší deformace a otupení ostří. Tento povlak měl taktéž pozitivní vliv na jakost povrchu nože. I když se tento povlak ukázal, jako nevhodný pro řezačkové nože doporučil bych ho na jiných částech řepné řezačky, například upínací desce nožové hlavy.

Bakalářská práce prokázala, že pro výrobu kvalitních sladkých řízků jsou nejvhodnější nože značky Maguin ve výchozí konfiguraci od výrobce.



11 Seznam použité literatury

- [1] BRETSCHNEIDER, R. *Technologie cukru (surovárna a rafinérie)*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1969. 401 s. ISBN-
- [2] VLACH, B., AJ. *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [3] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1991. 496 s. ISBN 80-05-00807-4.
- [4] 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.
- [5] MÁDL, J., HOLEŠOVSKÝ, F. *Integrita obrobených povrchů z hlediska funkčních vlastností*. Rec. K. Kocman, K. Jandečka. 1. vyd. Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, FVTM, 2008. 230 s. ISBN 978-80-7414-095-2.
- [6] AUTOR NEUVEDEN. *Cukrovarnický kalendář 1996*. 1. vyd. Praha: VUC Praha, a.s., 1996. 260 s. ISBN -.
- [7] 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.
- [8] PELIKÁN ,M., HRIVNA, L., HUMPOLA, J. *Technologie sacharidů*. 1. vyd. Brno: MZLU v Brně, 1999. 154 s. ISBN 80-7157-407-4.
- [9] PUTSCH GmbH & Co. KG, Hagen: *Návod k obsluze Provoz – Péče - Údržba*. [B. r.]. 55 s.
- [10] JAREŠ, V. *Základní zkoušky kovů a jejich teorie*. 1. vyd. Praha: Academia, 1966. 210 s. ISBN -.
- [11] HERRMANN, K. *Hardness testing principles and applications*. 1. vyd. Ohio: ASM International®, 2011. 254 s. ISBN 0-61503-832-9.
- [12] FRONĚK, D. *170 let výroby cukru v Dobrovici*. 1. vyd. Praha: Cukrovar a rafinérie cukru Dobrovice TTD, 2001. 123 s. ISBN -.
- [13] CUKROVARY TTD, Dobrovice: *Cukrovary TTD – historie a současnost: 1831-2006*. 2006. 48 s
- [14] GEBLER, J., aj. *Český cukrovarnický průmysl v době vstupu do EU*. 1. vyd. Praha: VUC Praha, a. s., 2004. ISBN -.
- [15] OTTO, J. *Ottův Slovník naučný: ilustrovaná encyklopedie obecných vědomostí. Dvacátýprvý díl*. 1. vyd. Praha: J.Otto , 1904. 1105 s. ISBN-



- [16] AUTOR NEUVEDEN. *Cukrovarnický kalendář 1995*. 1. vyd. Praha: CURKSPOL PRAH - MODŘANY, a.s., 1995. 350 s. ISBN -.
- [17] AUTOR NEUVEDEN. *Dobrasemena.cz* [online]. [cit. 22.5.2016]. Dostupný na http://dobrasemena.cz/Cukrovka_306.html
- [18] VACULÍKOVÁ, J. *Vývoj technologie výroby cukru v cukrovaru Hrušovany n. J. od roku 1989 do současnosti*. [Bakalářská práce]. Zlín, UBT, 2011. 90 s.
- [19] KADLEC, P. *Technologie potravin I*. 1. vyd. VŠCHT Praha, 2002. 303 s. ISBN 80-7080-509-9
- [20] KADLEC, P *Podklady pro přednášky z předmětu - Technologie oboru I - cukr*. VŠTCH Praha
- [21] HOLUBÁŘ, Pavel, Michal Šíma a Vladimír Maixner. Aplikace nových modifikací třívrstvých PVD povlaků. *MM Průmyslovém spektrum*. [online]. 13.04.2011 [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-novych-modifikaci-trivrstvych-pvd-povlaku.html>
- [22] Bc. Martin Rund. Konference studentské tvůrčí činnosti. *PVD povlaky pro nástrojové oceli*. [online]. 28.6.2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: stc.fs.cvut.cz/pdf12/2564.pdf
- [23] AUTOR NEUVEDEN. *Cukrovarnický kalendář 1998*. 1. vyd. Praha: VUC Praha, a.s., 1998. 395 s. ISBN -.
- [24] Technologie výroby cukru. *Inovace studijních programů AF MENDELU směrem k internacionalizaci studia*. [online]. 21.6.2016 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=990&typ=html
- [25] GONZALEZ, R.,WOODS, R. *Digital image processing. 3rd ed*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, 2008. 943s. ISBN 978-0-13-505267-9.
- [26] ŠONKA, M., HLAVÁČ, V., BOYLE, R. *Image processing, analysis, and machine vision. 3rd ed*. Toronto: Thomson, 2008. 853s. ISBN 978-0-495-08252-1.
- [27] Image Acquisition (Introduction to Video and Image Processing) Part 2. *what-when-how*. [online]. 28.6.2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/introduction-to-video-and-image-processing/image-acquisition-introduction-to-video-and-image-processing-part-2/>
- [28] ČSN ISO 8688-1. Testovanie trvanlivosti při frézování, Část 1: Rovinné frézovanie. Praha: Centrum služeb pro normalizaci, 1993.



12 Seznam příloh

Příloha č.1	-	Snímky detailů ostří testovaných nožů (CD se snímky v elektronické podobě)	360 kusů
Příloha č.2	-	Tabulky s měřením otupené	5 stran



Příloha 1

Snímky detailů ostří testovaných nožů

(CD se snímky v elektronické podobě)



Tuto stránku nahradit prázdnou čtvrtkou A4 a nalepit na ní cd.

CD – Příloha SEM



Příloha 2

Tabulky s měřením otupení



Otupení - Nový nůž

Typ hrany - Náběžná

Nový nůž	
Náběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	2
2	19
3	95
4	12
5	21
6	16
Medián	17,5

Nový nůž	
Náběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	19
2	53
3	26
4	12
5	53
6	18
Medián	22,5

Nový nůž	
Náběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	136
2	123
3	649
4	283
5	311
6	536
Medián	297

Nový nůž	
Náběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	3
2	233
3	208
4	33
5	150
6	106
Medián	128

Nový nůž	
Náběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	54
2	172
3	530
4	311
5	276
6	323
Medián	293,5

Nový nůž	
Náběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	0
2	0
3	0
4	11
5	0
6	0
Medián	0

Typ hrany - Nenáběžná

Nový nůž	
Nenáběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	160
2	224
3	127
4	129
5	42
6	122
Medián	128

Nový nůž	
Nenáběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	6
2	16
3	90
4	14
5	13
6	251
Medián	15

Nový nůž	
Nenáběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	361
2	126
3	129
4	189
5	129
6	201
Medián	159

Nový nůž	
Nenáběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	57
2	15
3	65
4	0
5	0
6	43
Medián	29

Nový nůž	
Nenáběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	737
2	397
3	587
4	857
5	1665
6	429
Medián	662

Nový nůž	
Nenáběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	0
2	0
3	0
4	2
5	10
6	1
Medián	0,5

Otupení 1. směna

Typ hrany - Náběžná

1. směna	
Náběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	1320
2	1019
3	1092
4	1838
5	1396
6	2106
Medián	1358

1. směna	
Náběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	1691
2	1438
3	544
4	872
5	1422
6	1089
Medián	1255,5

1. směna	
Náběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	411
2	1138
3	2060
4	1531
5	200
6	371
Medián	774,5

1. směna	
Náběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	1931
2	686
3	1136
4	1474
5	531
6	2071
Medián	1305

1. směna	
Náběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	214
2	482
3	669
4	1858
5	1112
6	929
Medián	799

1. směna	
Náběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	1881
2	861
3	1921
4	922
5	1618
6	1965
Medián	1749,5

Typ hrany - Nenáběžná

1. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	1523
2	2446
3	2843
4	1118
5	4566
6	466
Medián	1984,5

1. směna	
Nenáběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	823
2	2297
3	807
4	811
5	1383
6	673
Medián	817

1. směna	
Nenáběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	384
2	610
3	1058
4	1832
5	796
6	771
Medián	783,5

1. směna	
Nenáběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	1668
2	1226
3	819
4	81
5	683
6	1807
Medián	1022,5

1. směna	
Nenáběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	1178
2	1390
3	1238
4	1158
5	1284
6	2198
Medián	1261

1. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	5277
2	2206
3	1153
4	3260
5	5034
6	5956
Medián	4147

Otupení 2.směna

Typ hrany - Náběžná

2. směna	
Náběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	612
2	5442
3	1133
4	7064
5	543
6	37
Medián	872,5

2. směna	
Náběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	2062
2	1509
3	1050
4	1547
5	1597
6	480
Medián	1528

2. směna	
Náběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	1237
2	827
3	483
4	1485
5	1166
6	1496
Medián	1201,5

2. směna	
Náběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	846
2	1273
3	701
4	1016
5	751
6	1094
Medián	931

2. směna	
Náběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	10860
2	1560
3	2014
4	842
5	1832
6	1592
Medián	1712

2. směna	
Náběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	1487
2	1415
3	2600
4	1607
5	1352
6	1539
Medián	1513

Typ hrany - Nenáběžná

2. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	907
2	869
3	768
4	1152
5	2411
6	2559
Medián	1029,5

2. směna	
Nenáběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	2343
2	1556
3	2882
4	2108
5	668
6	378
Medián	1832

2. směna	
Nenáběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	983
2	459
3	970
4	1307
5	1397
6	1326
Medián	1145

2. směna	
Nenáběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	448
2	756
3	233
4	1533
5	305
6	38
Medián	376,5

2. směna	
Nenáběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	3010
2	4026
3	3087
4	3187
5	1418
6	2458
Medián	3048,5

2. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	1429
2	3670
3	3682
4	3354
5	491
6	1964
Medián	2659

Otupení 3. směna

Typ hrany - Náběžná

3. směna	
Náběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	260
2	453
3	1087
4	1915
5	304
6	1031
Medián	742

3. směna	
Náběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	4455
2	1527
3	267
4	790
5	1941
6	337
Medián	1158,5

3. směna	
Náběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	911
2	165
3	312
4	229
5	619
6	997
Medián	465,5

3. směna	
Náběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	5063
2	1061
3	1918
4	382
5	915
6	294
Medián	988

3. směna	
Náběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	214
2	335
3	562
4	1447
5	360
6	125
Medián	347,5

3. směna	
Náběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	245
2	236
3	85
4	64
5	47
6	122
Medián	103,5

Typ hrany - Nenáběžná

3. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	1544
2	490
3	555
4	824
5	168
6	680
Medián	617,5

3. směna	
Nenáběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	399
2	1629
3	303
4	971
5	1052
6	1236
Medián	1011,5

3. směna	
Nenáběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	1103
2	473
3	660
4	269
5	503
6	717
Medián	581,5

3. směna	
Nenáběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	1209
2	339
3	706
4	1099
5	818
6	2794
Medián	958,5

3. směna	
Nenáběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	3592
2	4920
3	6106
4	1542
5	3733
6	1730
Medián	3662,5

3. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	420
2	439
3	1271
4	635
5	453
6	1779
Medián	544

Otupení 4. směna

Typ hrany - Náběžná

4. směna	
Náběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	185
2	462
3	934
4	1286
5	1087
6	340
Medián	698

4. směna	
Náběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	1748
2	268
3	2017
4	685
5	1624
6	471
Medián	1154,5

4. směna	
Náběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	148
2	752
3	364
4	305
5	948
6	642
Medián	503

4. směna	
Náběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	348
2	586
3	874
4	813
5	1680
6	3946
Medián	843,5

4. směna	
Náběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	246
2	519
3	654
4	1384
5	1668
6	394
Medián	586,5

4. směna	
Náběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	254
2	67
3	498
4	125
5	325
6	95
Medián	189,5

Typ hrany - Nenáběžná

4. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Putsch	
Hodnoty	[px]
1	758
2	154
3	555
4	159
5	863
6	569
Medián	562

4. směna	
Nenáběžná hrana	
H-Hanmar	
Hodnoty	[px]
1	1150
2	1682
3	256
4	753
5	1456
6	1145
Medián	1147,5

4. směna	
Nenáběžná hrana	
M-Maguin	
Hodnoty	[px]
1	1028
2	473
3	648
4	346
5	3793
6	1456
Medián	838

4. směna	
Nenáběžná hrana	
P+3	
Hodnoty	[px]
1	1843
2	1566
3	1235
4	965
5	826
6	963
Medián	1100

4. směna	
Nenáběžná hrana	
P-3	
Hodnoty	[px]
1	4296
2	2643
3	5183
4	2341
5	1254
6	1365
Medián	2492

4. směna	
Nenáběžná hrana	
P-Cr	
Hodnoty	[px]
1	1248
2	6842
3	435
4	562
5	1254
6	986
Medián	1117