

Testy trvanlivosti řezačkových nožů v dobrovickém cukrovaru

TESTS OF DURABILITY OF CUTTING KNIVES IN DOBROVICE SUGAR FACTORY

Jan Jersák, Filip Gracl – Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní

Problémem trvanlivosti nožů do řezaček řepy se zabývá mnoho cukrovarů. Proto bylo při řepné kampani v rámci řešení bakalářské práce (1) provedeno porovnání trvanlivosti nožů do bubnové řezačky cukrové řepy, a to v závodě Tereos TTD, a.s., v Dobrovinci. Práce si kladla za cíl porovnat nože od různých dodavatelů používané v tomto cukrovaru. Dalším z cílů bylo nalezení optimální metody pro porovnání jednotlivých nožů.

Do vzájemného porovnání byly zařazeny nože značky Putsch, Maguin (obr. 1.) a Hanmar. Firma Putsch je výrobcem bubnové řezačky používané v dobrovickém cukrovaru Tereos TTD, a.s., Maguin je výrobcem konkurenčních bubnových řezaček a firma Hanmar vyrábí náhradní a spotřební díly pro různé typy řezaček. Při experimentech byly také posuzovány nože značky Putsch s korigovaným úhlem nastavení a nože povlakované. Korekce spočívala v úpravě standardního úhlu $\alpha = 90^\circ$ na úhly označené jako $\alpha + 3^\circ$ a $\alpha - 3^\circ$ mající hodnotu 93° resp. 87° , jak je patrné z obr. 2. (1). Úprava povrchu nože spočívala v tom, že povrch nástroje byl opatřen PVD povlakem s obchodním označením ALWIN od společnosti SHM, s.r.o.

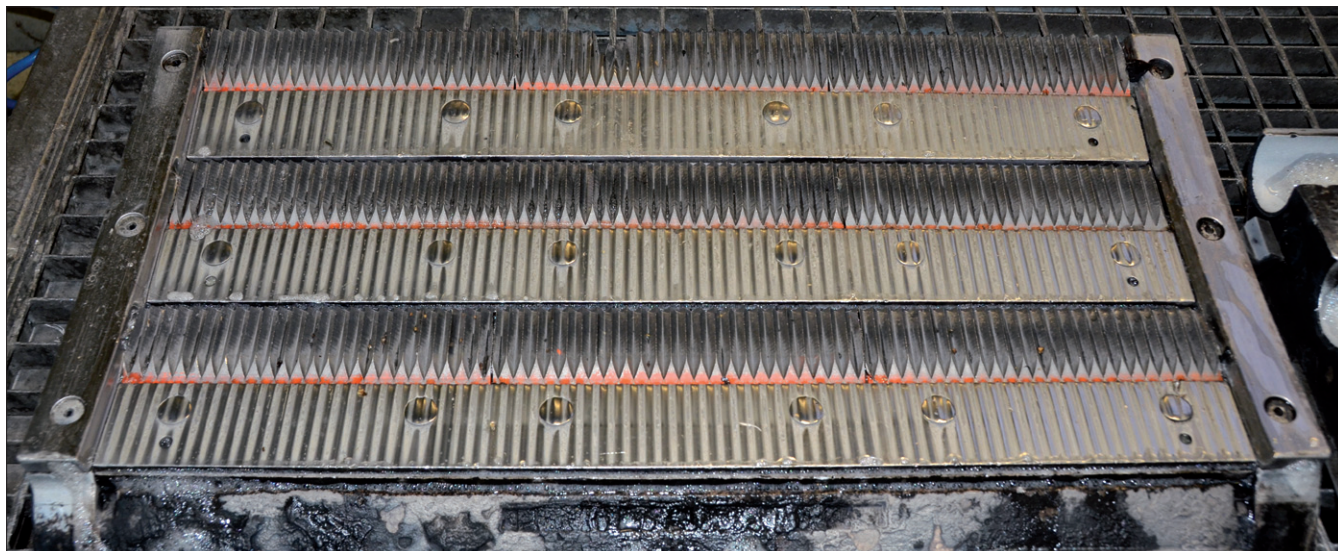
Metodika experimentu

Experiment byl prováděn v průběhu řepné kampaně na firemních řezačkách značky Putsch, typu TSM 2200-22-600 S. Důležitým úkolem bylo určit hodnotu opotřebení, pro kterou je

pokračování práce na řezačce již nepřijatelné. Interval výměny nožů se určuje na základě pohledového zhodnocení kvality sladkých řízků vedoucím směny a obvykle se určuje počet řezaček, které mají být v dané směně osazeny novými noži. V případě velkého zatížení extraktoru v řezačce je možné rozhodnout o urgentní výměně starých nožů. I když se trvanlivost nožů, která je závislá zejména na stupni vyprání řepy, běžně pohybuje mezi 6 a 9 hodinami, bylo rozhodnuto, že se budou porovnávat nože mezi sebou po 12 hodinách provozu, kdy se již projevují jednoznačné rozdíly mezi hodnocenými noži. Při testech se vždy používaly nové nože dodané dodavateli. V případě upravených nožů se také jednalo o nože nové, pouze prošlé procesem úpravy. Experiment byl celkem rozdělen do 4 testovacích směn a v každé směně se testovalo zároveň 27 nožů, které se lišily tím, že byly od různých dodavatelů, měly různé korekce a různé úpravy povrchu. V řezačce byly rozmístěny dle standardního doporučení výrobce Putsch (obr. 3.), tzn. střídání nožů typu A a B v pravidelných řadách pro dosažení optimální kvality řezu (1, 2). Rozdíl mezi typy nožů A a B je dán tvarem žlábkovitěho ostří na okraji nože. Žlábkovité ostří u nože typu A začíná prohlubní „v“, kdežto u nože B začíná výstupkem „^“.

Při experimentu byla hodnocena a porovnáována míra otupení zjištěná na zcela nových nožích a na nožích, které byly pro řezání použity po dobu jedné pracovní směny. Celkem bylo pro experiment připraveno 648 nožů všech provedení, tj. s různými typy úprav a od různých dodavatelů. Z těchto použitých nožů

Obr. 1. Kazeta osazená testovacími noži Maguin



bylo pro hodnocení vybráno 72 nožů a k nim bylo přidáno 6 nožů zcela nových. Nože pro následné hodnocení byly umístěny ve středu nožové hlavy (obr. 3.). Jak je zřejmé z tab. I., bylo celkem hodnoceno 78 nožů.

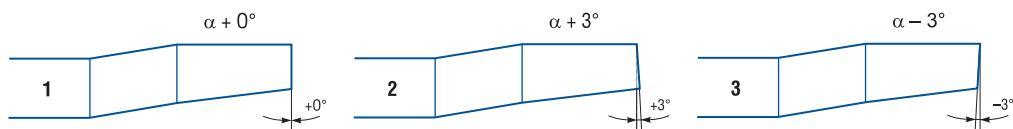
Pro hodnocení velikosti otupení byla použita metoda počítačového porovnání. Metoda je založena na hodnocení fotografií jednotlivých zubů. Vzhledem k tomu, že se celý nůž nevešel do upínacího přípravku pro fotografování, byla z testovaných nožů vyříznuta pouze malá část, tzv. kontrolní vzorek (obr. 4.), který obsahoval 6 zubů. Vyříznutí bylo provedeno na laboratorní kotoučové pile STRUERS SECOTOM 50. U každého kontrolního vzorku byla vyfotografována náběžná a nenáběžná hrana nože (obr. 5. a obr. 6.). Fotografie byly pořízeny pomocí mikroskopu STEMI DV4 ZEISS, při zvětšení $8\times$ s rozlišením 1024×768 pixelů (obr. 7.). Pro kvalitní zobrazení vzorku bylo použito nasvícení pomocí LED světla, které je standardním příslušenstvím použitého mikroskopu. Při tomto druhu nasvícení nejlépe vynikla plocha otupení nože. Fotografie byly hodnoceny s pomocí speciálního programu, který byl navržen v programovacím jazyku LabView 14.

Mírou otupení byla velikost plochy otupení jednoho zubu (dále označeno symbolem S) v pixelech s hodnotou 200 až 255 ze spektra Greyscale (stupňů šedi) ve vyznačené oblasti otupení nože (obr. 6.) (4). Vyznačenou oblastí se rozumí rovnoramenný trojúhelník s délkou ramen 3,5 mm a úhlem rozvěření ramen 80° . Greyscale spektrum zjednodušuje model RGB, kde je barva určena třemi hodnotami barev (červená-zelená-modrá) v rozmezí 0 až 255, na jedinou hodnotu v rozmezí 0 až 255. Otupení se projevuje při nasvícení pomocí LED světla na mikroskopu jako výrazná světle šedá až bílá plocha, což je vidět na obr. 7. Pro měření byla zvolena právě hodnota 200 až 255 tak, aby byla hodnocená oblast jednoznačně a co nej přesněji určena.

Tab. I. Počet nožů pro měření

Typ nože	Počet nožů – vzorků
Originální nůž Putsch	12
Originální nůž Maguin	12
Originální nůž Hanmar	12
Nůž Putsch s povlakem Alwin	12
Nůž Putsch s upraveným úhlem alfa $+3^\circ$	12
Nůž Putsch s upraveným úhlem alfa -3°	12
Originální nůž Putsch – nový	1
Originální nůž Maguin – nový	1
Originální nůž Hanmar – nový	1
Nůž Putsch s povlakem Alwin – nový	1
Nůž Putsch s upraveným úhlem alfa $+3^\circ$ – nový	1
Nůž Putsch s upraveným úhlem alfa -3° – nový	1
Celkem	78

Obr. 2. Boční pohled na nože s různým nastavením úhlu α



Obr. 3. Schéma rozmístění nožů v nožové hlavě s vyznačenou polohou nožů pro vyhodnocení (1)

Nožová hlava – uspořádání 1			Nožová hlava – uspořádání 2		
A	A	A	B	B	B
B	B	B	A	A	A
A	A	A	B	B	B

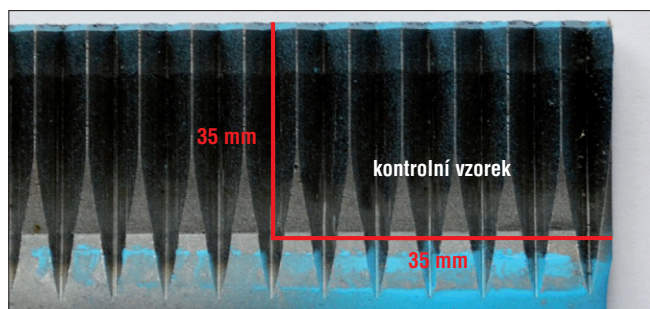
VYBRANÉ NOŽE

Vyhodnocení se zakládalo na stanovení mediánu opotřebení. Medián byl použit z důvodu jeho tolerance k výkyvům hodnot souboru údajů o opotřebení. Pro lepší porovnání jednotlivých výsledků byly jednotlivé mediány přepočteny na procentuální plochu otupení $S_{\%}$:

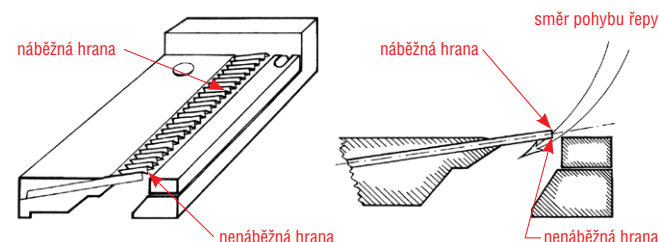
$$S_{\%}(\%) = S(px) \times \frac{\text{MAX hodnota } S(px) + \text{MIN hodnota } S(px)}{100},$$

kde jako základ (100 %) posloužil rozdíl minimální a maximální velikosti plochy opotřebení S vypočtené pomocí speciálního programu navrženého v grafickém programovacím jazyku LabView 14. Z výše uvedeného je zřejmé, že nejlepší řezačkový nůž bude ten, u kterého bude zjištěna nejmenší hodnota procentuální plochy otupení $S_{\%}$.

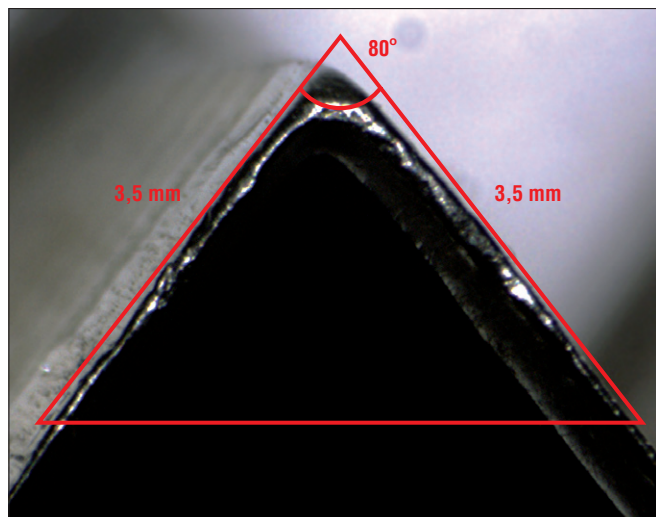
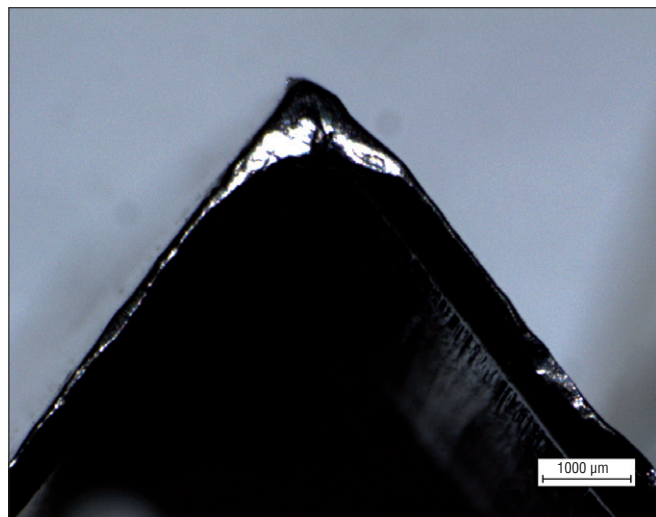
Obr. 4. Velikost kontrolního vzorku při pohledu na nenáběžnou hranu nože Putsch



Obr. 5. Náběžná a nenáběžné hrany nože (dle obr. P. Kadlece)



Obr. 6. Hranice oblasti pro hodnocení otupení jednoho zubu nože

Obr. 7. Fotografie otupeného zubu nože Putsch $\alpha + 3^\circ$; míru otupení reprezentuje bílá plocha otupení

Pro zajištění spolehlivých výsledků a minimalizaci nahodilých chyb bylo měření velikosti ploch opotřebení u řezačkových nožů 7× opakováno a u souboru naměřených hodnot bylo provedeno statistické vyhodnocení na základě normy ČSN ISO 8688-1 (5). Při výpočtu byla použita 95% úroveň spolehlivosti.

Realizace experimentu

Vlastní experiment byl realizován ve čtyřech směnách. Během testu se nevyskytly žádné závažné problémy. Oproti navržené metodice však bylo nutné při realizaci experimentu provést dvě úpravy.

Za prvé se z důvodu ceny technologie a materiálu nepovedlo uskutečnit nanášení povlaku na všech 108 nožů připravených k úpravě povrchu. Přistoupilo se k nutnému minimu, 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 expertizu. To znamená pozici ve 2. vodorovné řadě a 2. svislém sloupci nožové hlavy (obr. 3.).

Ostatní místa v nožové hlavě byla osazena obyčejnými noži, které se běžně v závodě používají. Pro takto sesazené nožové hlavy platil stále postup uspořádání řad nožů typu A a typu B podle doporučení výrobce Putsch (2).

Za druhé byla navržená zkušební doba 12 hodin dodržena jen v případech 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 dostatečným kvalitě sladkých řízků prodloužena o 2 hodiny na konečných 14 hodin, tato úprava byla provedena na základě příkazu ředitele závodu. Ve 2. směně byla naopak zkušební doba zkrácena na výsledných 8 hodin. Důvodem bylo přetížení extraktoru BMA, což ohrožovalo bezpečnost provozu závodu.

Vyhodnocení experimentu

Hodnoty velikosti ploch opotřebení $S(px)$ byly stanoveny ze souborů fotografií zubů, které se odlišovaly dodavatelem, provedenou korekcí, příp. úpravou povrchu. Jak již bylo uvedeno výše, byla pro dokumentaci zjištěného rozptylu hodnot zvolena metoda statistického zpracování údajů podle normy ČSN ISO 8688-1. Dle této normy lze kromě střední hodnoty vypočítat tzv. konfidenční interval. Jestliže porovnáme střední hodnotu plochy opotřebení a vypočítaný konfidenční interval, pak můžeme zjistit, jak silně kolísají stanovené hodnoty velikosti ploch opotřebení. Pro výpočet byla použita data z měření, přesněji 6 hodnot otupení pro každý typ a druh nože. Čím byla hodnota konfidenčního intervalu menší, tím méně kolísají zjištěné hodnoty velikosti ploch opotřebení a tím více se blíží uvedené střední hodnotě a naopak. Z tab. II. je zřejmé, že konfidenční intervaly jsou hodně velké, což dokládá, že stanovené hodnoty opotřebení se pohybují ve velkém rozsahu, což zřejmě souvisí s odlišným stavem cukrové řepy, která se v průběhu jednotlivých směn v cukrovaru zpracovávala. Přesto lze z hodnot v tabulce s údaji o opotřebení náběžné i nenáběžné hrany usoudit, že nůž Putsch s povlakem Alwin má jako nový nůž nejkvalitnější ostří. Při souhrnném hodnocení všech údajů zjištěných během sledovaných směn vychází, že nože Maguin a nože Putsch s upraveným úhlem $\alpha - 3^\circ$ vykazovaly celkově nejnižší hodnotu ploch opotřebení $S(px)$.

Z naměřených hodnot průměrných procentuálních ploch otupení $S_{\%}$, které jsou shrnuty v tab. III., je patrné, že za daných podmínek bylo při experimentu zjištěno nejmenší otupení u nožů z firmy Maguin, tedy je trvanlivost těchto nožů největší. Otupení standardně používaného nože Putsch bylo zhruba o 25 % větší. Trvanlivost nožů značky Hanmar byla ze standardních nožů nejmenší. Úpravy na nožích Putsch neměly příznivý efekt na snížení velikosti opotřebení a tím i na zvýšení trvanlivosti. V případě úpravy úhlu $\alpha + 3^\circ$ na noži značky Putsch bylo dokonce opotřebení největší ze všech testovaných nožů. Ani nůž Putsch s povlakem Alwin nevykázal očekávaný efekt na zvýšení trvanlivosti. Velikost opotřebení u těchto nožů byla ovšem před začátkem testu nejmenší, což bylo zřejmě následkem procesů souvisejících s povrchovou úpravou nožů.

Pro finální prezentaci dat jsou hodnoty z tab. III. shrnuty do tab. IV. a graficky vyjádřeny na obr. 8. Souhrn byl vytvořen jako součet údajů zjištěných v 1., 2., 3. a 4. směně u náběžné a nenáběžné hrany příslušného typu nože. S ohledem na skutečnost, že velikost opotřebení určená na počátku experimentu

Tab. II. Velikosti ploch opotřebení $S(px)$ řezačkových nožů

	Putsch	konf. int. P	Hanmar	konf. int. H	Maguin	konf. int. M	Putsh alfa -3°	konf. int. P-3	Putsh alfa +3°	konf. int. P+3	Putsch + Alwin	konf. int. P-Cr
Náběžná hrana – $S(px)$												
Nový nůž	28	±39	30	±21	340	±245	122	±106	278	±184	2	±5
1. směna	1 462	±491	1 176	±486	952	±859	1 305	±730	877	±662	1 528	±584
2. směna	2 472	±3 442	1 374	±624	1 116	±455	947	±253	3 117	±4 385	1 667	±536
3. směna	842	±732	1 553	±1 802	539	±412	1 606	±2 059	507	±556	133	±100
4. směna	716	±514	1 136	±858	527	±349	1 375	±1 538	811	±664	227	±190
Nenáběžná hrana – $S(px)$												
Nový nůž	134	±68	65	±111	189	±104	30	±33	779	±539	2	±5
1. směna	2 160	±1 682	1 132	±715	906	±580	1 047	±747	1 408	±455	3 814	±2 193
2. směna	1 444	±940	1 656	±1 126	1 074	±405	552	±617	2 864	±1 000	2 432	±1 537
3. směna	710	±533	932	±580	621	±326	1 161	±985	3 604	±2 042	833	±650
4. směna	510	±342	1 074	±586	1 291	±1 484	1 233	±458	2 847	±1 824	1 888	±2 818

necharakterizuje velikost opotřebení ovlivněnou procesem řezání řepných řízků, byla hodnota opotřebení nového nože pro náběžnou a nenáběžnou hranu ze sčítání vyjmuta. Určité minimální otupení zubu již na začátku testu bylo zřejmě způsobeno nevhodnou manipulací s nožem během transportu od výrobce do cukrovaru.

Závěr

Cílem realizovaných experimentů bylo porovnat trvanlivost nožů od různých dodavatelů a navrhnout opatření pro zvýšení trvanlivosti řezačkových nožů, které se používají při řepné kampani ve společnosti Tereos TTD, a. s., v cukrovaru Dobruška.

Pro porovnání řezačkových nožů, kdy byl navíc u některých nožů posuzován vliv korekce úhlu nastavení, příp. vliv tvrdého povlaku nanášeného na povrch nože, byla navržena originální metodika založená na digitálním analyzování fotografií jednotlivých opotřebovaných zubů. S pomocí speciálního programu byly u jednotlivých fotografií nejprve hodnoceny plochy otupení nože. Mírou otupení přitom byla velikost plochy otupení konkrétního zubu v pixelech s hodnotou 200 až 255 ze spektra Greyscale ve vyznačené oblasti otupení řezačkového nože. Pro jednotlivé varianty řezačkových nožů byly stanoveny mediány opotřebení. Pro lepší porovnání jednotlivých výsledků byly všechny stanovené mediány následně ještě přepočteny na procentuální plochu otupení $S_{\%}$.

Jak je zřejmé z grafu souhrnného porovnání otupení nožů na obr. 7., nejmenší otupení a tedy největší trvanlivost byla zjištěna u řezačkových nožů dodaných firmou Maguin. U řezačkových nožů značky Putsch byla oproti nožům Maguin stanovena o 25 % větší procentuální plocha otupení $S_{\%}$

Tab. III. Stanovené průměrné procentuální plochy otupení $S_{\%}(\%)$

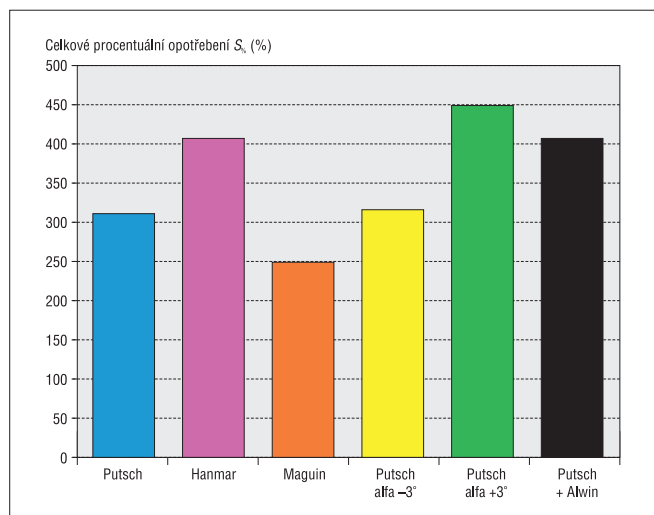
	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh alfa -3°	Putsh alfa +3°	Putsch + Alwin
Náběžná hrana – $S_{\%}(\%)$						
Nový nůž	1,00	1,29	16,98	7,32	16,78	0,00
1. směna	77,62	71,76	44,27	74,59	45,67	100,00
2. směna	49,87	87,34	68,68	53,22	97,86	86,48
3. směna	42,41	66,22	26,61	56,47	19,86	5,92
4. směna	39,90	65,99	28,75	48,21	33,52	10,83
Nenáběžná hrana – $S_{\%}(\%)$						
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. IV. Součtová tabulka průměrných procentuálních ploch otupení $S_{\%}(\%)$

$S_{\%}$	Putsch	Hanmar	Maguin	Putsh alfa -3°	Putsh alfa +3°	Putsch + Alwin
Celkem	310,94	407,27	249,05	315,88	449,27	407,41

a u nožů značky Hanmar byla v porovnání s noži Maguin zjištěna o 64 % větší procentuální plocha otupení, z hlediska trvanlivosti se tedy tyto nože umístily na třetím místě.

Obr. 8. Souhrnné porovnání otupení nožů



U řezačkových nožů Putsch s upravenou geometrií ani u nožů, u kterých byl jejich povrch opatřen povlakem, nebyla při experimentu zvýšená trvanlivost prokázána. Konkrétně úprava geometrie spočívající ve zmenšení úhlu α o 3° měla za následek zvětšení procentuální plochy otupení o 1,6 %, tedy mírné snížení trvanlivosti v porovnání s neupravenými noži Putsch. Úprava geometrie spočívající ve zvětšení úhlu α o 3° měla dokonce za následek výrazné zvětšení procentuální plochy otupení o 44 %, tedy podstatné snížení trvanlivosti. Stejně tak nože Putsch s povlakem Alwin vykazovaly v porovnání s výchozím nožem Putsch rovněž zvětšení procentuální plochy otupení, a to o 31 %.

Do budoucna by bylo vhodné provést dlouhodobé experimenty a podrobně zkoumat také souvislosti mezi kvalitou očištění řepy a trvanlivostí řezačkových nožů a tímto způsobem dále zpřesňovat výsledky zkoušek, které již byly při řepné kampani provedeny a jsou shrnuty v tomto příspěvku.

Tento článek vznikl za účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum, která je poskytována MŠMT ČR.

Souhrn

Cílem článku je seznámit čtenáře s výsledky bakalářské práce: „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“. Tato práce porovnávala životnost nožů do řepné řezačky výrobců Putsch, Maguin a Hanmar. V úvodu práce bylo navrženo několik možností úprav standardních řezačkových nožů Putsch, které měly za cíl prodloužit



trvanlivost nožů. Jak nože standardní, tak nože upravené byly podrobeny experimentu v reálném provozu cukrovaru. Vyhodnocení experimentu se zakládalo na snímkování stavu ostří a vyhodnocení otupení pomocí programu vytvořeném v prostředí LabView 14. Ukazatelem trvanlivosti bylo právě otupení jednotlivých typů nožů. Data byla dále zpracována také pomocí statistické metody ČSN ISO 8688-1. Během experimentu dosáhl nejnižších hodnot otupení nůž Maguin, následoval nůž Putsch a Hanmar. Úpravy nožů nepřinesly žádný významný přínos. Z výsledků statistického vyhodnocení lze usuzovat na značně rozdílnou kvalitu řepy v průběhu kampaně. Přínosem této práce je prokázání vlivu čistoty řepy na otupení nožů a naznačení možných úprav metodiky pro zpřesnění výsledků.

Klíčová slova: bubnová řezačka, Putsch, nůž, trvanlivost, životnost.

Literatura

1. GRACL, F.: *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*. Liberec, 2016, 72 s., Bakalářská práce na Technické univerzitě v Liberci.
2. Hagen: *Návod k obsluze Provoz – Péče – Údržba*. [B. r.]. PUTSCH GmbH & Co. KG, 55 s.
3. KADLEC, P.: *Technologie potravin I*. 1. vyd., Praha: VŠCHT, 2002, 303 s., ISBN 80-7080-509-9.
4. ŠONKA, M.; HLAVÁČ, V.; BOYLE, R.: *Image processing, analysis, and machine vision*. 3rd ed. Toronto: Thomson, 2008, 853 s., ISBN 978-0-495-08252-1.
5. ČSN ISO 8688-1. *Testovanie trvanlivosti při frézování, Část 1: Rovinné frézování*. Praha: Centrum služeb pro normalizaci, 1993.

Jersák J., Grac F.: Tests of Durability of Cutting Knives in Dobrovice Sugar Factory

The aim of the article is to introduce the reader to the results of the bachelor thesis: “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”. This work compares the durability of knives for beet slicers manufactured by Putsch, Maguin and Hanmar. In the introduction, the thesis proposes several adjustments to the standard Putsch beet knives intended to extend their lifetime. Both standard and modified knives were subjected to an experiment during an actual sugar beet campaign. The evaluation of the experiment was based on the blade condition scanning and dulling evaluation using a program created in LabView 14. The degree of dulling of each type of knife was used as the durability indicator. The data were further processed using the ČSN ISO 8688-1 statistical method. The lowest values of dulling in the experiment were reached by Maguin knives, followed by Putsch and Hanmar. Modified knives did not have any significant benefit. From the results of the statistical evaluation it can be concluded that beet quality during the campaign differs significantly. The contribution of this work is thus the demonstration of the influence of beet purity on knife dulling and the indication of possible modifications to the methodology to refine the results.

Key words: drum slicer, Putsch, knife, durability, lifetime.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Jan Jersák, CSc., Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, Studentská 2, 461 17 Liberec 1, Česká republika, e-mail: jan.jersak@tul.cz