

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Diplomová práce

**Návarové materiály používané pro zvýšení životnosti zemědělských strojů zpracovávajících  
půdu**

Vedoucí diplomové práce: Ing., Bc. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor práce: Bc. Viktor Kolář

PRAHA 2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Viktor Kolář

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Návarové materiály používané pro zvýšení životnosti zemědělských strojů zpracovávajících půdu**

Název anglicky

**Overlaying materials used to increase service life of agricultural machinery processing soil**

---

### Cíle práce

- shromáždit literární podklady o návarových materiálech odolných proti abrazivnímu opotřebení
- vyhodnocení odolnosti experimentálních zkoušek opotřebení plužních čepelí

### Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše), cíle práce a metody jejího vypracování, výsledky experimentů a jejich diskuze, závěry a přínos práce.

**Doporučený rozsah práce**

cca. 60 stran

**Klíčová slova**

Opotřebení, plužní čepele, životnost, půda

---

**Doporučené zdroje informací**

DASTUR, M., R., MOSKOVITC, L., N.: Tailored coating for hardfacing. In: Proceeding of the annual powder. Metallurgy conference, 1983, No 39, s. 307-321.

DORAZIL, E.: Strojírenské materiály a povrchové úpravy. Brno, VUT, 1988, 330s.

Friction and Wear Testing. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1987. pp. 186.

KARAKOZOV, E. S.: Sojediněje metalov v tvěrdoj faze. Moskva, Metalurgija, 1976, 264 s.

KUČERÍKOVÁ, V.: Organické povrchové úpravy. Bratislava, STK 1974, 99 s.

Repair and Maintenance Welding Handbook. ESAB AB. 120 s.

STEDFELD, R. L.: Metals Handbook. Vol. 5., Surface cleaning, finishing, and coating. 9. ed. Metals Park, Ohio, American Society for Metals 1982. XVI, 715 s.

TUMANOVA, N. CH.: Galvaničeskije pokrytija iz ionnych rasplavov. Kijev, 1983, 164 s.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

**Vedoucí práce**

Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

---

Elektronicky schváleno dne 24. 1. 2016

**doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 03. 10. 2016

---

## **Čestné prohlášení**

---

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího a že jsem použil jen pramenů, které uvádím a cituji v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 19. 03. 2017

.....

Viktor Kolář

## **Poděkování**

---

Rád bych poděkoval především vedoucímu své práce Ing., Bc. Petru Hraběti, Ph.D. za odborné vedení při psaní této práce, jeho velkou ochotu a trpělivost, panu doc. Müllerovi za pomoc se statistickým vyhodnocením experimentu a panu prof. Borůvkovi z katedry pedologie FAPPZ ČZU za zrnitostní rozbor půdy. Dále bych rád poděkoval společnosti Eko-agrofarmy s. r. o. Konstantinovy Lázně za umožnění polní zkoušky na pozemcích společnosti Ekozemědělská a. s. a také rodině především za podporu nejen při psaní této práce, ale i po celou dobu mého studia.

**Abstrakt:** Cílem této práce bylo vyhodnocení provedeného experimentu vybraných navařových materiálů při polní zkoušce opotřebení plužních čepelí. Kapitola „Úvod“ obsahuje shrnutí dané problematiky. Kapitola „Současný stav řešeného problému“ obsahuje popis příčin vedoucích k opotřebení plužních čepelí a metod zvyšování jejich životnosti zejména navařováním. Kapitola „Polní zkoušky opotřebení plužních čepelí“ obsahuje popis půdních podmínek pro experiment, přípravu vzorků, ekonomické zhodnocení navaření a vyhodnocení samotné zkoušky s diskuzí výsledků. V kapitole „Závěr“ je sepsáno shrnutí celé práce.

**Klíčová slova:** opotřebení, plužní čepel, životnost, půda

### **Overlaying materials used to increase service life of agricultural machinery processing soil**

**Summary:** The aim of this thesis was to evaluate the performed experiment of chosen overlaying materials during the field experiment of ploughshares wear. Preamble summarizes the main problematic of discussed topic. Chapter “The current status of solved issue” describes the instances which lead to ploughshares wear. Included are also methods which increase the service life of ploughshares, especially the method of finishing. Chapter “Field experiment of ploughshares wear” describes the garret conditionals used for the experiment, preparation of samples, economical evaluation of finishing and also the evaluation of the experiment including the discussion of the results. Last chapter “Conclusion” summarizes the entire thesis.

**Key words:** wear, ploughshares, service life, soil

## Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	CÍLE A METODIKA .....	3
2.1	Cíle.....	3
2.2	Metodika .....	3
3	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉHO PROBLÉMU .....	5
3.1	Abrazivní opotřebení.....	7
3.1.1	Vliv abrazivních částic na velikost abrazivního opotřebení.....	7
3.2	Faktory ovlivňující velikost abrazivního opotřebení u plužních čepelí .....	9
3.2.1	Půda.....	10
3.2.2	Vlhkost .....	11
3.2.3	Geometrické parametry čepele.....	12
3.3	Materiály používané pro výrobu plužních čepelí.....	12
3.3.1	Vysokopevnostní otěruvzdorné oceli .....	14
3.3.2	Konstrukční oceli .....	14
3.4	Zvyšování životnosti pomocí povrchových úprav .....	15
3.4.1	Navařování .....	17
3.4.2	Povlakování.....	30
3.4.3	Tváření.....	31
3.5	Metody hodnocení odolnosti plužních čepelí proti opotřebení.....	32
3.5.1	Provozní zkoušky .....	33
3.5.2	Laboratorní zkoušky.....	34
4	POLNÍ ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ PLUŽNÍCH ČEPELÍ.....	35
4.1	Příprava plužních čepelí pro experiment.....	36
4.2	Půdní podmínky během experimentu.....	37
4.2.1	Vlhkost půdy .....	37

4.2.2	Zrnitostní složení půdy (zrnitostní rozbor).....	38
4.3	Použité návarové materiály .....	40
4.3.1	SK 258 TiC-O .....	40
4.3.2	SK 900-O.....	40
4.3.3	SK A43-O.....	40
4.3.4	SK 299-O.....	41
4.3.5	SK A45-O.....	41
4.3.6	OK TUBRODUR 15.82 .....	41
4.4	Navařovací parametry jednotlivých návarových materiálů .....	42
4.5	Technika návaru .....	42
4.6	Ekonomické zhodnocení navaření plužních čepelí .....	43
4.6.1	Vstupní vzorce a výpočet nákladů na navaření jedné plužní čepelě ....	44
4.7	Rozmístění vzorků na pluhu.....	47
4.8	Výsledky experimentu .....	47
4.8.1	Hodnocení průběhu rozměrových úbytků .....	47
4.8.2	Hodnocení průběhu hmotnostních úbytků .....	52
4.8.3	Statistická analýza rozptylu experimentu.....	54
4.9	Diskuze výsledků .....	58
5	ZÁVĚR.....	60
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	62
	Seznam obrázků .....	66
	Seznam tabulek .....	67
	PŘÍLOHY .....	i
	Příloha 1 Tabulky rozměrových úbytků na měřených místech A až E pro jednotlivé čepelě .....	i
	Příloha 2 Tabulky hmotnostních úbytků pro jednotlivé čepelě .....	v



Příloha 3 Zrnitostní čára.....	vii
Příloha 4 Porovnání průběhu rozměrových úbytků .....	viii
Příloha 5 Porovnání průběhu hmotnostních úbytků.....	xi

# 1 ÚVOD

V zemědělství, které si v dnešní době neumíme bez strojů představit, je životnost, odolnost proti opotřebení a zvyšování životnosti jedním z nejsledovanějších a nejdůležitějších faktorů v jejich provozu.

Zpracování půdy je chápáno jako agrotechnický zásah, který vytváří podmínky pro vývoj a růst budoucí úrody. Je prováděno již po staletí a během těchto období došlo k výrazným změnám. V téměř ve všech případech agrotechnických zásahů do půdy je používána zemědělská technika, která váží i desítky tun a je tedy potřeba zmínit, že se v dnešní době v zemědělství objevuje významný problém, a to utužování půdy. Utužením půdy vzniká větší půdní odpor. Půda sama o sobě představuje pro pracovní nástroje velmi agresivní prostředí. Jde o vliv chemických a fyzikálních faktorů, ostatních částí stroje, doby provozu apod. Nejvýznamnější je však vliv intenzivního abrazivního opotřebení.

Opotřebení je velmi nežádoucí, ale bohužel se mu při provozu strojů nevyhneme. Lze ho však poměrně dobře minimalizovat. Pokud dostatečně známe, jaké vlivy kde působí, jejich velikost a účinky na daný stroj či jeho součást, můžeme zvolit vhodný materiál, který je na daný provoz nejvhodnější a tím degradaci minimalizovat. Volbu vhodného materiálu lze vyzkoušet v laboratorních podmínkách, které simulují vlivy působící na opotřebovávanou součást. V praxi však působí několik vlivů současně, proto jsou pro volbu vhodného materiálu nejlepší provozní zkoušky. Je potřeba zvážit, kdy se nám vyplatí součást opravit a zvýšit tím její životnost anebo naopak, koupit součást novou. Snížení opotřebení a zvýšení životnosti výrazně snižují náklady na údržbu a provoz. V dnešní době je kladen velký důraz na to, aby náklady spojené s výrobou, kde jsou stroje nepostradatelnou součástí, byly co nejnižší. Téměř každý chce za minimální náklady co největší zisk a vývoj nových a modernějších technologií tomu napomáhá.

Plužní čepel je po dlátě, které je umístěno na špičce čepele, nejvíce namáhanou součástí orebního tělesa. Materiál použitý na čepel musí splňovat určité požadavky. Jedná se především o houževnatost neboli schopnost odolávat rázům a jednak vysokou odolnost vůči abrazivním částicím obsažených v půdě (písek, kameny apod.). Intenzita abraze závisí nejen na typu půdy a jejího složení, velikosti, tvaru, pevnosti a tvrdosti půdních částic, ale i právě na utužení půdy a vlhkosti. V dnešní době se konstruktéři snaží vyrobít takovou plužní čepel, která minimalizuje tření ve styku čepele s půdou. Metod, jak toho dosáhnout je celá řada.

Příkladem může být vývoj lepších a odolnějších materiálů, vhodná metoda renovace nebo i například konstrukční uspořádání. Je předmětem výzkumu tuto problematiku dále rozvíjet a nacházet nová a inovativní řešení.

Tato diplomová práce je navázána na mou bakalářskou práci, a kromě teoretického shrnutí poznatků dané problematiky je rozšířena o experiment polní zkoušky, jehož smyslem bylo hodnocení odolnosti plužních čepelí s různými typy návarových materiálů vůči abrazivnímu opotřebení.

## 2 CÍLE A METODIKA

### 2.1 Cíle

Cílem teoretické části této diplomové práce je shrnutí poznatků vztahující se k problematice abrazivního opotřebení, dále faktorů, které ovlivňují jeho velikost a metod zvyšování životnosti součástí, a to především navařováním. Cílem praktické části práce je vyhodnocení provedeného experimentu vybraných návarových materiálů při polní zkoušce opotřebení plužních čepelí.

### 2.2 Metodika

Pro experiment byla na pozemcích společnosti Ekozemědělská Konstantinovy Lázně s. r. o. provedena polní zkouška na 136 hektarech pole při hluboké orbě (25-30 cm) sedmi-radličným oboustranným poloneseným pluhem Kverneland PB 100. Pro navaření vybraných návarových materiálů na plužní čepelě byl použit navařovací automat s kontinuálně podávaným drátem od společnosti ESAB se zdrojem LAF 635 DC a řídicí jednotkou A2-A6 Process Controller. Navařeny byly celkem dvě sady (14 čepelí) z důvodu menších časových prostojů při demontáži, statistického vyhodnocení a zpětné montáži čepelí na pluh. Rozmístění čepelí s návarovým materiálem bylo u obou sad stejné. Pro experiment byly vybrány tyto návarové materiály v následujícím pořadí směrem od traktoru:

1. SK 258 TiC-O
2. SK 900-O
3. SK A43-O
4. SK 299-O
5. SK A45-O
6. OK TUBRODUR 15.82
7. SK 258 TiC-O

Pro hodnocení životnosti čepelí byly zvoleny dvě metody. Metoda rozměrové analýzy a metoda hmotnostní analýzy. V průběhu polní zkoušky byly po každých sedmnácti

hektarech orby měřeny jednotlivé rozměry a hmotnosti navařených a etalonových plužních čepelí. Rozměr A byl měřen na špičce čepelce, rozměry B, C, D přes otvory na šrouby a rozměr E v zadní části čepelce (viz Obr. 1). K měření jednotlivých rozměrů bylo použito milimetrové pásmo. Hmotnost čepelí byla měřena na závěsné váze (Portable Electronic Scale) s přesností na tisícinu kilogramu. Hodnoty z obou typů měření byly zaznamenány do připravených tabulek (Příloha 1 a 2) a poté vyhodnoceny v programu STATISTICA a MS EXCEL.

*Obr. 1 Metodika měření jednotlivých rozměrů plužní čepelce*



*Zdroj: [autor]*

### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

S vývojem modernějších technologií v oblasti materiálového inženýrství, vyššími nároky na kvalitu zpracování půdy, a především úsporou nákladů, je problematika zvyšování životnosti plužních čepelí čím dál tím více aktuální. Autor *Bayhan, 2006* uvádí, že úspory, které by vznikly snížením opotřebení a tření, by se rovnaly přibližně 337 milionům dolarům ročně.

V současné době se problematikou opotřebení zemědělských strojů zabývají nejen materiáloví odborníci, ale i samotní výrobci zemědělských strojů a také mnoho univerzit po celém světě. Optimálním řešením by bylo nalezení takového materiálu, který by měl vysokou povrchovou tvrdost, která by zvýšila odolnost proti abrazivnímu opotřebení a zároveň velkou houževnatost jádra pro schopnost materiálu odolávat rázům.

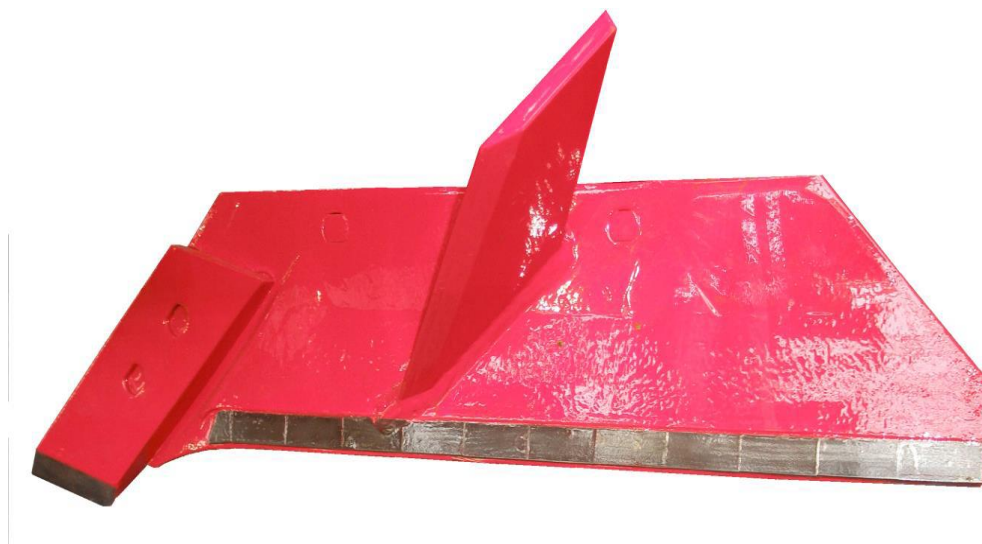
Je obecně známo, že čím je materiál na povrchu tvrdší, tím má větší odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Je zde však potřeba uvažovat i nad vnitřní strukturou materiálu. Zvýšenou odolnost vůči opotřebení vykazují struktury martenzitické a přítomnost karbidických částic odolnost ještě zvyšují. Je tedy potřeba analyzovat všechny faktory, které způsobují abrazivní opotřebení.

Metod pro zvyšování životnosti je několik. Nízkolegované a konstrukční oceli, které byly používány dříve, jsou nahrazovány vysokopevnostními otěruvzdornými oceli litými nebo kovanými. Nejběžnějším materiálem pro výrobu plužních čepelí je bór-ová ocel např. 30MnB5, 25MnB5. Mezi základní metody pro zvyšování životnosti patří tepelné či chemicko tepelné zpracování (nitridace, cementace). Kalení a následné popouštění je nejvyužívanější metodou zvyšování tvrdosti uhlíkových ocelí. Součástí jsou kaleny buď v celém objemu, nebo v místech největšího opotřebení. Vytvoření tvrdého povrchu při zachování pevného a houževnatého jádra je velkou výhodou kalení. Chemicko-tepelné zpracování se využívá na ušlechtilé uhlíkové oceli. Sycením povrchu součástí uhlíkem neboli cementací, lze dosáhnout povrchové tvrdosti 58 až 62 HRC. Nitridací, resp. karbonitridací se zabýval autor *Yazici, 2011*. Ve svém výzkumu při polních zkouškách plužních čepelí dosáhl pomocí karbonitridace snížení rozměrových a hmotnostních úbytků. Konkrétně u rozměrů došlo ke snížení opotřebení o 26,47 % a u hmotností o 14,65 %.

Další zajímavou metodou zvyšování životnosti součástí je užití polymerních částicových kompozitů. Autor *Müller a kol., 2011* uvádí, že tyto kompozity ukázaly potenciální možnost odolávat vysoce abrazivnímu opotřebení zejména při aplikaci zpevňující fáze o velikosti cca 45  $\mu\text{m}$ . Podstatným aspektem jsou nízké pořizovací náklady, jednoduchost přípravy a nízká povrchová energie (oproti kovům na bázi železa přibližně 40x menší), což eliminuje přilnavost půdy na pracovní nástroj. Avšak při testech tyto materiály vykazovaly malou odolnost proti opotřebení, a proto je předmětem zájmu se o tyto materiály dále zajímat a navrhovat jiné postupy a řešení.

Z hlediska navařování je zajímavou metodou zvyšování životnosti aplikace otěruvzdorných CDP (Castodur Diamond Plates) pásků nebo prutů. Polní zkoušky upravených čepelí CDP se zabýval autor *Horáček, 2000*. Během experimentu porovnával čepel vyrobené z běžné konstrukční oceli 12 042 (EN C35B2) (0,22 % Cr a 1,17 % Mn) kalené na martenzitickou strukturu s čepelí s návarý CDP. Takto upravené čepel vykazovali 2,58 až 3,01 x nižší opotřebení oproti neupraveným čepelím. Velkou nevýhodou je však mnohem vyšší opotřebení v kamenitých a písčitých půdách, protože dochází k vylamování materiálu. Ve výsledku bylo ekonomické hodnocení nevýhodné z důvodu vysokých pořizovacích nákladů, pracnosti a zvýšení spotřeby paliva. Na Obr. 2 je vidět plužní čepel od společnosti Vogel Noot s navařeným CDP prutem na ostří čepel.

*Obr. 2* Plužní čepel od společnosti Vogel Noot s navařeným CDP prutem na ostří čepel



Zdroj: [<http://www.vogel-noot.co.uk/Products/Ploughs>]

## 3.1 Abrazivní opotřebení

Toto opotřebení vzniká, pokud na sebe navzájem působí dva funkční povrchy. Uvolněné částice se dostávají mezi tyto dva povrchy, zadržávají se a způsobují obroušení povrchu (rýhování a seřezávání materiálu). U strojů zpracovávajících půdu dochází v největší míře k abrazivnímu opotřebení, charakterizovaného oddělováním částic z funkčního povrchu vlivem tvrdého a drsného povrchu (půda, písek, kameny apod.) druhého tělesa. Částice, způsobující abrazivní opotřebení, nazýváme abrazivní částice. [1]

### 3.1.1 Vliv abrazivních částic na velikost abrazivního opotřebení

Na Obr. 3 je vidět rýhování materiálu (konkrétně plužní čepele z vlastního experimentu) a vylomení návaru působením abrazivních částic a rázů.

*Obr. 3 Rýhování plužní čepele a vylomení návaru vlivem působení abrazivních částic a rázů*



*Zdroj: [autor]*



### **3.1.1.1 Vliv tvaru částic**

Tvar abrazivních částic hraje velkou roli na velikost opotřebení. Zaoblený tvar částic nemá takovou intenzitu při opotřebení jako u částic ostrých. V tomto směru je také potřeba vzít v úvahu, jak velká síla působí na částice v normálovém směru. [1]

### **3.1.1.2 Vliv množství částic**

Množství částic hraje významnou roli na velikost opotřebení. Pokud je částic hodně, dojde k jejich shlukování a tím se vytvoří vrstva, která způsobí abrazivní opotřebení, i když je vůle mezi opotřebovávanými povrchy větší, než je velikost abrazivních částic. [1]

### **3.1.1.3 Vliv velikosti částic**

Pokud jsou mezi dvěma povrchy abrazivní částice volně, k abrazivnímu opotřebení dochází jen takovými částicemi, které mají větší velikost, než je vůle mezi těmito povrchy. Abrazie roste zvětšováním rozměru abrazivních částic. Při nerovnoměrné velikosti zrn je určujícím rozměrem největší částice. [1]

### **3.1.1.4 Vliv tvrdosti částic**

Vliv tvrdosti abrazivních částic je také velmi podstatný. Jestliže mají abrazivní částice větší tvrdost než opotřebovávaný povrch, snáze do něj vnikají a intenzita opotřebení se zvyšuje a naopak. Tyto závěry však nejsou využitelné pro všechny materiály. Toto tvrzení platí pouze u čistých kovů. V tom případě by přímá úměra platila. Pokud se o čistý kov nejedná, přímá úměra neplatí. Tím lze také odůvodnit snahu konstruktérů a technologů k dosažení co možná nejtvrdějších povrchových vrstev tam, kde lze očekávat zvýšenou intenzitu abrazivního opotřebení (např. strojů zpracovávajících půdu). Důležitý je vliv vzájemného vztahu mezi tvrdostí abraziva a opotřebovávaného kovu. Odolnost proti opotřebení ocelí roste rychleji, když tvrdost opotřebovaného povrchu přesáhne 0,5 - 0,6 x tvrdost abraziva. [1]

### 3.1.1.5 Vliv pevnosti částic

Vliv pevnosti abrazivních částic je založen na principu, kdy při nízké pevnosti částic dochází k jejich drcení (dochází ke zmenšení jejich rozměrů) a k otupování částic olamováním hran (změna geometrického tvaru). Zároveň jsou však při drcení vytvářeny nové částice s ostrými hranami. Procesy zmenšování rozměrů a otupování hran částic na jedné straně a vznik nových ostrohranných částic na druhé, působí protikladně. Ve výsledku nedochází s rostoucím zatížením povrchů, které působí na abrazivní částice, prakticky ke změně jejich abraze. [1]

## 3.2 Faktory ovlivňující velikost abrazivního opotřebení u plužních čepelí

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole 3.1, abrazivní opotřebení a celkově vliv abrazivních částic je pro stroje zpracovávající půdu velmi nežádoucí. Dochází k poruchám materiálu s jejich následnou degradací. Z tohoto hlediska se jedná asi o nejzávažnější faktor v problematice opotřebení plužních čepelí. Na velikost opotřebení však působí také celá řada jiných faktorů. Je známo, že stroje zpracovávající půdu pracují ve velmi agresivním prostředí. Povaha a intenzita tohoto opotřebení závisí nejen na mechanických a přírodních vlastnostech půdy, ale např. i na zkušenostech obsluhy stroje či technologii orby. Stroje zpracovávající půdu navíc pracují v nesourodých podmínkách. [3] Opotřebení plužních čepelí je závislé na těchto faktorech:

- použitý materiál, technologie zpracování a povrchové úpravy čepele
- orební podmínky-plocha styku pluhu s půdou, rychlost a hloubka orby
- tvar plužní čepele
- tvrdost, ostrost, množství, pevnost a tvar půdních částic
- obsah vody v půdě (vlhkost půdy)
- hustota a mechanické vlastnosti půdy (otůženost, pevnost ve smyku a křehkost)
- přírodní podmínky. [3]

### 3.2.1 Půda

Z ekonomického hlediska je půda, vedle kapitálu a práce, výrobní faktor. Je definována jako povrchová zvětrávající vrstva pevné zemské kůry, která se skládá z rozdrobených, chemicky pozměněných hornin a zbytků zvířat i rostlin, žijících na povrchu půdy i vevnitř v půdě. Jak již bylo řečeno v úvodu, člověk obdělává půdu již po tisíciletí a za tuto dobu nastal do současnosti určitý pokrok. Jedná se především o stále modernější zemědělské stroje, které mají dost vysoké hmotnosti. Hlavním problémem spojeným se stroji a půdou je utužení půdy, které vznikne častými přejezdy po poli těžkou mechanizací, ale i např. úbytkem humusu v půdě.

Hodnotit složení půd lze z několika hledisek. Rozlišujeme složení zrnitostní, fázové a chemické. Pro účely této práce je rozhodující zejména zrnitostní složení půdy. Dle zrnitostního složení členíme částice neboli frakce na písek, prach a jíl. Lze říci, že zrnitost udává velikost a poměrné zastoupení jednotlivých půdních frakcí. Dle zrnitosti můžeme použít několik metod pro rozdělení půdy do kategorií (např. dle Nováka, Kopeckého atd.) V Tab. 1 je uvedeno rozdělení půdy podle procenta obsahu částic menších než 0,01 mm. [4]

Tab. 1 Rozdělení půdy podle procenta obsahu částic menších než 0,01 mm

Píscitě	0 – 10 % částic menších než 0,01 mm (lehké půdy)
Hlinitopíscitě	10 – 20 % částic menších než 0,01 mm (lehké půdy)
Píscitohlinitě	20 – 30 % částic menších než 0,01 mm (střední půdy)
Hlinitě	30 – 45 % částic menších než 0,01 mm (střední půdy)
Jílovitohlinitě	45 – 60 % částic menších než 0,01 mm (těžké půdy)
Jílovité	60 – 75 % částic menších než 0,01 mm (těžké půdy)
Jíl	> 75 % částic menších než 0,01 mm (těžké půdy)

Zdroj: [4]

Velikost částic má na intenzitu opotřebení zásadní vliv. Je vědecky prokázáno, že intenzita abraze se zvyšuje s obsahem částic v půdě, které mají průměr větší než 0,01 mm. Částice, které mají rozměr v rozmezí 0,45 - 0,75 mm zvyšují intenzitu opotřebení až trojnásobně, protože tyto částice jsou velmi ostré. Částice ve velikostním rozmezí od 1 - 1,5

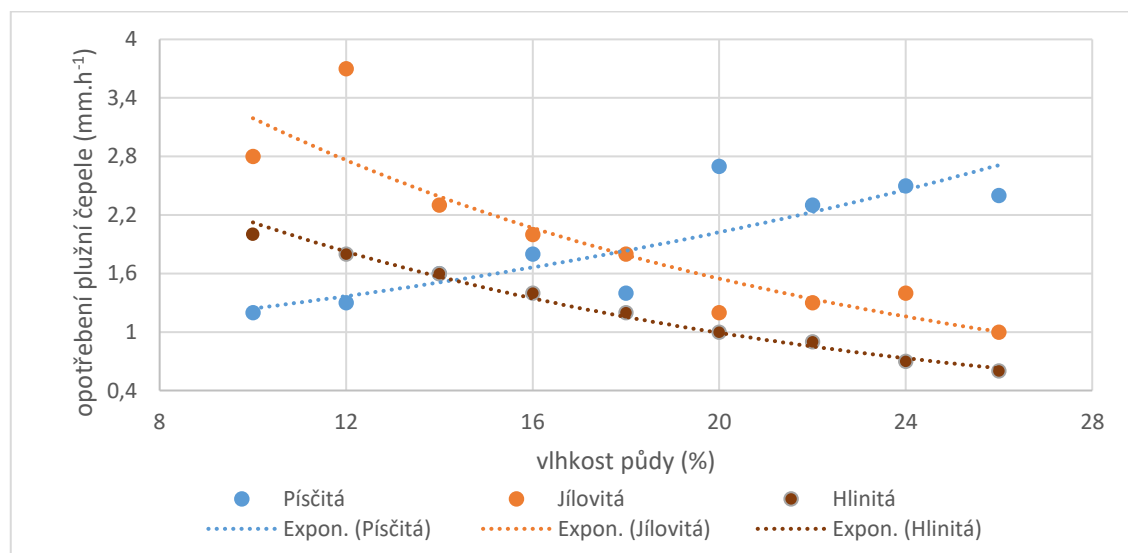
mm jsou více zaobleny, a proto není intenzita tak velká, jako u předchozí velikosti. Největší podíl na opotřebení mají křemenné částice obsažené v půdě. Tyto částice dosahují vyšší tvrdosti než materiál použitý na výrobu plužní čepele. [4] V suchých a písčitých půdách je intenzita abraze vyšší než v půdách vlhkých. [5]

### 3.2.2 Vlhkost

Dalším důležitým faktorem z hlediska intenzity opotřebení je vlhkost. Je prokázáno, že pokud se podíl vody obsažený v půdě zvyšuje, intenzita abraze se snižuje. Toto však platí pouze u půd jílovitého a hlinitého typu. U písčitých typů půd je to přesně naopak a volné částice intenzitu abraze zvyšují. Na Obr. 4 je zakreslena závislost vlhkosti půdy na rozměrovém úbytku plužní čepele. V následujících bodech je uvedena doporučená vlhkost pro zpracování různých typů půd:

- písčitá 8 - 12 %
- písčitohlinitá 11 - 12 %
- hlinitá 16 - 17 %
- jílovitá 18 - 21 %. [2, 3]

Obr. 4 Závislost vlhkosti půdy na rozměrovém úbytku plužní čepele v určitých typech půd



Zdroj: [6], upraveno autorem

### 3.2.3 Geometrické parametry čepele

Dalším významným faktorem ovlivňující velikost abrazivního opotřebení je geometrický tvar čepele. Během procesu zpracování půdy dochází k změně geometrického tvaru čepele. V případě zpracování půdy má tento proces negativní důsledky. Patří k nim zhoršení kvality orby, zhoršení zapravování rostlinných zbytků do půdy apod. [7]

Čepele s vyměnitelným dlátem, které byly také využity k experimentu této diplomové práce, jsou vhodné pro orbu ve všech podmínkách. Na dláto přechází největší půdní odpor, protože odřezává skývu nejdříve ze všech součástí pluhu. Tato dláta jsou měněna zhruba 2 až 3krát po dobu životnosti čepele, protože dochází k odbrušování hlav šroubů vlivem vysoké interakce s půdou. Na trhu plužních čepelí jsou však i takové čepele, které jsou složeny z více částí. To umožňuje výměnu jen nejvíce opotřebené části čepele. Takový systém využívá např. firma Kverneland se systémem QUICK FIT® (Obr. 5).

Obr. 5 Systém plužních čepelí QUICK FIT® společnosti Kverneland



Zdroj: [<http://no.kverneland.com/layout/set/print/Jordprodukter/Plog/Feature-laget-for-gammelt-system/Kverneland-Quick-Fit-R-System>]

Optimalizací materiálově konstrukčního řešení může dojít jak energetickým úsporám, tak i ke zvýšení životnosti strojů. Životnost lze zvýšit, resp. snížit opotřebení, nejen vhodným materiálem užitým pro plužní čepel, ale i konstrukcí čepele využívající tvarů nebo konstrukčních řešení, které kombinují různé materiály. [8]

## 3.3 Materiály používané pro výrobu plužních čepelí

Jak již bylo zmíněno, volbou vhodného materiálu lze zajistit zvýšení životnosti stroje. Není to však úplně jednoduché. Je potřeba vycházet z různých aspektů. V dnešní době je kladen velký důraz na to, aby finanční náklady spojené s výrobou (ať už se jedná

o zemědělskou výrobu či jakoukoliv jinou výrobu, kde jsou stroje nepostradatelnou součástí) byly co nejnižší. Volbu vhodného materiálu lze vyzkoušet v laboratorních podmínkách, které simulují vlivy působící na opotřebovanou součást. V praxi však působí několik vlivů současně, proto jsou pro volbu vhodného materiálu nejlepší provozní zkoušky.

Plužní čepel je po dlátě nejvíce namáhanou součástí pluhu. Je tedy zřejmé, že materiál použitý pro výrobu čepel musí být velice odolný. Jak již bylo zmíněno, čepel pracující v půdě, tedy prostředí velmi agresivním, musí splňovat určité požadavky. V půdním prostředí dochází k intenzivnímu abrazivnímu opotřebení doprovázeným silnými rázy. Rázy působí na čepel prostřednictvím překážek, nejčastěji kameny. Z tohoto důvodu je vhodné použít takový materiál, který je na povrchu velmi tvrdý a zároveň ve svém jádru houževnatý. Povrchová tvrdost hraje ve volbě materiálu důležitou roli. V nejlepším případě by měla být tvrdost povrchu větší, než je tvrdost abrazivních částic z důvodu interakce mezi čepelí a abrazivními částicemi. Houževnatost jádra je definována jako schopnost materiálu odolávat rázům. Působením rázů na čepel může dojít k degradaci materiálu s následným lomem.

Z výsledků experimentu provedeného v Austrálii bylo také zjištěno, že vedle tvrdosti je také důležitým faktorem mikrostruktura materiálu. [9] Vlastnosti materiálu jsou závislé na struktuře, tj. na fázovém složení, na tvaru a uspořádání jednotlivých fází. Tato struktura je dána chemickým složením, způsobem výroby případně tepelným nebo povrchovým zpracováním. Strukturou je také ovlivněna fyzikální a zejména pak mechanická vlastnost materiálu. [10]

Přední výrobci strojů zpracovávajících půdu využívají především vysokopevnostní oteruvzdorné oceli, které dále ještě tepelně upravují. Je zde samozřejmě předpoklad, že technologie výroby se u jednotlivých výrobců liší a že právě technologie výroby je jejich know – how, které si před konkurencí hlídají.

Společnost Kverneland, která patří mezi přední výrobce pluhů, vyvinula svou vlastní ocel pod označením Sagitta steel®. Využívá toho, že indukčním ohřevem v místech největšího opotřebení zajistí vysokou tvrdost povrchu, zatímco oblast kolem děr na šrouby zůstane houževnatá. Výrobce uvádí, že tímto způsobem úpravy její součásti vykazují až o 35 % vyšší životnost.

### 3.3.1 Vysokopevnostní otěruvzdorné oceli

Nejvíce využívaným materiálem pro výrobu plužních čepelí jsou otěruvzdorné oceli nízkolegované chromem, molybdenem, niklem a wolframem. Jedná se především tedy o tepelně upravenou bórovou ocel. Tato ocel je zpevněna kalením a termomechanickým válcováním z tepla, takže získá vysoký stupeň tvrdosti a homogenní mikrostrukturu. Vlastnosti těchto ocelí splňují podmínky užití u strojů zpracovávajících půdu, kde je důležitá tvrdost povrchu při zachování houževnatého jádra. Příklady ocelí a jejich mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 2. a v Tab. 3 je uvedeno chemické složení.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti

Označení oceli	Výchozí podmínky			Po kalení			
	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	Tvrdost HRC	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
22MnB5 AM FCE	350	520	27	45	1100	1500	10
30MnB5 AM FCE and EN 10083	440	660	25	50	1200	1700	8
30MnB5 DRUM AM FCE	530	750	21	x			
38MnB5 AM FCE	480	760	18	55	1300	2000	7

Zdroj: [[http://fce.arcelormittal.com/prd\\_web/A54\\_EN.html](http://fce.arcelormittal.com/prd_web/A54_EN.html)]

Tab. 3 Chemické složení

Označení oceli	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Al (%)	Ti (%)	B (%)
22MnB5 AM FCE	0,25	1,4	0,025	0,01	0,35	0,015	0,05	0,01
30MnB5 AM FCE and EN 10083	0,33	1,45	0,025	0,01	0,35	0,015	0,05	0,01
30MnB5 DRUM AM FCE	0,33	1,45	0,025	0,04	0,35	0,015	0,05	0,01
38MnB5 AM FCE	0,42	1,45	0,025	0,01	0,35	0,015	0,05	0,01

Zdroj: [[http://fce.arcelormittal.com/prd\\_web/A54\\_EN.html](http://fce.arcelormittal.com/prd_web/A54_EN.html)]

### 3.3.2 Konstrukční oceli

Tyto oceli mají díky nízké ceně široké uplatnění v praxi. Pro podmínky použití, kdy je potřebná dobrá otěruvzdornost, se používají nízkolegované oceli. Zvyšováním obsahu jednotlivých prvků a tvorbou vhodné mikrostruktury dosáhneme jejich požadované tvrdosti a houževnatosti.

Oceli třídy 11 a 12 v žíhaném stavu mají nízkou odolnost proti opotřebení, ale obohacováním uhlíkem a žiháním lze odolnost zvýšit. Jako vhodný materiál pro výrobu plužních čepelí se dříve používala zušlechťená ocel 12 060 (EN C55). [27]

Oceli třídy 13 mají v žíhaném stavu nízkou odolnost. V dnešní době se používají kované čepele ze zušlechtěné oceli 13 340.6, která je nízkolegovaná křemíkem a mangánem. [15]

Oceli třídy 14 vykazují dobrou odolnost proti opotřebení v kaleném stavu. Z těchto ocelí jsou vhodné do podmínek abrazivního opotřebení oceli 14 109 (EN 100Cr6), 14 240 (DIN 36Mn5) a 14 220 (EN 16MnCr5). Obecně lze nízkolegované oceli používat jako dobrý základní materiál pro povrchové úpravy. [15]

Otěruvzdorné oceli třídy 17, které jsou vysoce legované, lze také používat do podmínek abrazivního opotřebení s rázy. Jedná se o austenitické manganové oceli s obsahem více než 1 % C a 11 - 14 % Mn. Působením abraziva dochází k transformaci austenitu v povrchové vrstvě na martenzit a dochází tak ke zvyšování tvrdosti a odolnosti proti abrazivnímu opotřebení při zachování houževnatého jádra s austenitickou strukturou. [15]

### **3.4 Zvyšování životnosti pomocí povrchových úprav**

V praxi často nelze použít pro nástroj nebo strojní součást tak odolný materiál proti opotřebení, které je zastoupeno v největší míře na dané součásti, protože nevyhovuje z hlediska provozního namáhání nebo z ekonomického hlediska. To je však možné zajistit vhodnou povrchovou úpravou materiálu. [1]

Při výběru vhodné povrchové úpravy se musí vzít v úvahu celá řada faktorů:

- tvar, rozměry a hmotnost nástroje
- základní materiál
- vliv provozního prostředí
- cenu jednotlivých povrchových vrstev apod.

Povrchové vrstvy zlepšují tribotechnické charakteristiky (koeficient tření a odolnost proti opotřebení) a lze je rozdělit do dvou skupin:

- tvrdé povrchové vrstvy a povlaky
- houževnaté a měkké vrstvy a povlaky.



Tvrdé povrchové vrstvy a povlaky využívají fakt, že u tvrdých povrchů se plastické mikrodeformace výrazně sníží a tím pádem se sníží intenzita abrazivního, adhezivního a erozivního opotřebení. Dalším důležitým požadavkem je malá drsnost třecích ploch, čímž se zabrání intenzivnímu rýhování funkčního povrchu. [1]

Houževnaté a měkké vrstvy a povlaky se uplatňují především proti adhezivnímu a vibračnímu opotřebení. Porušování povrchových vrstev i smyková deformace se umisťují do tenké vrstvy s vysokou plasticitou. Pevnost materiálu pod povrchem je vyšší a brání rozvoji plastické deformace, čímž brání porušování materiálu ve větší hloubce. [1]

Povrchové úpravy lze vytvářet mechanickými, tepelnými, chemicko-tepelnými a elektrochemickými procesy. [1]

Mechanický proces úpravy povrchu spočívá v mechanickém působení na danou součást. Mezi základní druhy patří otryskávání, leštění a broušení, omílání a kartáčování. Při *otryskávání* dochází k dopadu částic nesených vzduchem či vrhaných lopatkami na otryskávaný povrch, které způsobí jeho čištění či malé deformační zpevnění. Při leštění a broušení dochází k ubírání materiálu a tím pádem k odstranění hrubých nedokonalostí a nerovností. Slouží také pro přípravu povrchu před pokovováním. *Omílání* je proces, při kterém dochází vlivem omílacích těles k omílání součásti v omílacích zvonech a bubnech, čímž se obrušují a otloukají. *Kartáčování* je využíváno spíše k mechanickému čištění povrchu např. po kalení. Kartáče mohou být drátěné, umělé nebo z přírodních vláken. [1]

Tepelný proces úpravy povrchu spočívá v působení tepla na danou součást tak, aby bylo dosaženo požadované struktury materiálu. Metodami tepelného zpracování jsou žíhání, kalení a popouštění. Pro dosažení tvrdé struktury povrchu je vhodné povrchové kalení. Tvrdou strukturu vyžadujeme obzvláště při zvýšené abrazi materiálu. Principem je působení tepla z tepelného zdroje (plamen, elektronový svazek, laser, indukce) na danou součást, dosažení austenizační teploty s krátkou dobou výdrže na dané teplotě s následujícím prudkým zchlazením vodou nebo minerálními oleji. Čím větší je hloubka prohřátí materiálu, tím je větší hloubka zakalení. Protože materiál zakalený na martenzitickou strukturu je křehký s vysokým pnutím, je potřeba ho popouštět (proces ohřevu na popouštěcí teplotu, vydrž na této teplotě asi 2 hodiny a pomalé ochlazování). [1]

Chemicko-tepelný proces spočívá v modifikaci povrchových vrstev uhlíkem, dusíkem, borem a dalšími prvky (Al, V, Cr, Nb, Ti, Cr) či difuzním sírováním, chromováním sulfonitridací nebo kombinací uhlíku a dusíku (nitrocementace a karbonitridace). Nejčastějším způsobem tohoto procesu je syčení povrchu uhlíkem neboli cementace. *Cementací* se sytí povrchy ocelí, které mají obsah uhlíku maximálně do 0,3 %. Syčení probíhá v prostředí pevném, kapalném nebo plynném, a to až do obsahu uhlíku 0,7 - 0,9 %. Tloušťka nauhličené vrstvy je až 1,5 mm. Povrch materiálu je velmi tvrdý, ale pod povrchem materiálu zůstává houževnatý. Cementační teploty se pohybují v rozmezí 850 - 950 °C a platí, že čím větší teplota, tím rychlejší je cementační proces a tím větší hloubka cementace. Vhodné tvrdosti a odolnosti proti opotřebení dosáhne materiál po cementaci popouštěním. Další z nejpoužívanějších způsobů je syčení povrchu dusíkem neboli nitridace. *Nitridací* se sytí povrchy, kde je zapotřebí získat vysokou tvrdost. Výhodou oproti cementování je, že povrch dosáhne svých požadovaných vlastností při vlastním procesu nitridace. Nasycuje se při teplotách v rozmezí 500 - 550 °C. Zdrojem dusíku je čpavek. Při syčení povrchu uhlíkem i dusíkem zároveň jsou rozdílné teploty pochodu, množství uhlíku a dusíku a způsob, jakým se dosahuje požadovaných vlastností. Pokud převládá uhlík, procesu se říká *nitrocementace*. Probíhá při teplotách v rozmezí okolo 820 - 840 °C v atmosféře čpavku ve směsi s uhlovodíkem. Při karbonitridaci převládá dusík. [1]

Elektrochemickým procesem úpravy povrchu je anodizace, která vytváří na povrchu Al a jeho slitin vrstvu porézního a tvrdého oxidu  $Al_2O_3$ , který lze sytit kapalinným mazivem. To umožňuje alespoň částečně odstraňovat velmi špatné tribologické charakteristiky hliníku a většiny jeho slitin. [1]

### 3.4.1 Navařování

Navařování řadíme mezi nejpoužívanější metodu používanou pro zvýšení pracovní spolehlivosti nebo prodloužení životnosti strojů. V zemědělství je celá řada strojů či jejich částí namáhána opotřebením, proto lze navařování použít na místa, kde je toto opotřebení největší. Toto je z ekonomického hlediska výhodnější. Navařování vychází z metod konstrukčního svařování. Návary u konstrukčního svařování (spojovací svařování) musí být pevné, hluboce provařené a houževnaté, ale nemají dobrou odolnost proti opotřebení. Proto je u navařování požadována malá hloubka provaření, aby se základní

materiál tolik nesmísil s přídavným materiálem a tím se nesnížila jeho odolnost proti opotřebení. Z toho vychází, že je velmi důležité klást důraz na vhodnost přídavného materiálu, který použijeme pro navařování. K navařování můžeme použít materiál přibližně stejného chemického složení, ale mnohem lepší je využít materiálu bohatěji legovaného odolného proti danému druhu opotřebení, aby se zajistila funkční spolehlivost a prodloužila životnost opotřebovávané součásti. [13]

Části vystavené různému typu opotřebení lze pomocí navařování chránit a získat tak vyšší odolnost proti opotřebení nebo jiné specifické vlastnosti. Navařování se primárně využívá při renovaci opotřebovaných dílců, ale lze ho využít i při výrobě nových součástí. Samotný dílec lze vyrobit z materiálu, který je levnější a požadovaných povrchových vlastností lze dosáhnout navařením vhodného kovu nebo slitiny.

V zemědělství je tato metoda ukázkovým příkladem. Stroje zpracovávající půdu jsou vystaveny velkému abrazivnímu opotřebení. Toto opotřebení způsobuje degradaci materiálu a může mít za následek porušení stroje či jeho částí (radličky, orebního tělesa). U těchto částí nedochází k opotřebení rovnoměrně po celé části, a proto se navařování uplatňuje v místech, kde je právě toto opotřebení největší. [1]

### **3.4.1.1 Vhodnost základního materiálu pro navařování**

Při posuzování vhodnosti základního materiálu, který použijeme pro navařování, musíme brát v úvahu, že stav a vlastnosti materiálu, z něhož je vyrobena součást, jsou hodnoty dané.

Nejvíce používané materiály pro výrobu strojních součástí jsou:

- uhlíkové oceli
- slitinové oceli
- povrchové zušlechtěné oceli
- jiné konstrukční materiály.

#### **3.4.1.1.1 Navařování na uhlíkové oceli**

Při navařování na uhlíkovou ocel do obsahu 0,22 % C nejsou vyžadovány žádné zvláštní postupy. Oblast návaru se i při intenzivním ochlazení nezakalí. Pokud použijeme

ocel, kde je obsah uhlíku vyšší, může dojít ke vzniku trhlin a vrubů u základního materiálu. U navařování na části strojů, které nejsou v provozu dynamicky namáhány (radlice u pluhů, vyorávačů apod.), lze použít oceli, které mají obsah 0,4 - 0,6 % C. Části strojů, které jsou dynamicky namáhány (ozubená kola, hřídele apod.), se musejí před navařováním tepelně opracovat. [1]

#### **3.4.1.1.2 Navařování na slitinové oceli**

Při navařování na slitinovou ocel, kde jsou kromě uhlíku i další prvky, které způsobí zakalení a ovlivňují i svařitelnost. Pro výběr vhodnosti materiálu ke svařování, tedy jeho svařitelnosti, se užívá parametrická rovnice podle tzv. ekvivalentního obsahu uhlíku  $C_e$ . Je to fiktivní obsah uhlíku, který by při navařování či svařování vyvolal takové účinky, jaké by vznikly v reálné oceli při tloušťce materiálu  $t$ . Hodnota tloušťky materiálu, je v rovnici udávána v milimetrech. [1]

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{N}{4} + \frac{P}{2} + 0,0024 * t$$

#### **3.4.1.1.3 Navařování na povrchově zušlechtěné oceli**

Při navařování na povrchově zpevněné (zušlechtěné) oceli je poměrně komplikované. Na oceli, které jsou určeny k cementování lze poměrně dobře navařovat, protože obsahují malé množství uhlíku. Nelze však navařovat na cementační vrstvu, protože ta má obsah uhlíku 0,9-1,2 %. Na oceli, jejíž povrch byl upraven nitridací, se velmi špatně navařuje, protože jsou svým složením na hranici svařitelnosti. [1]

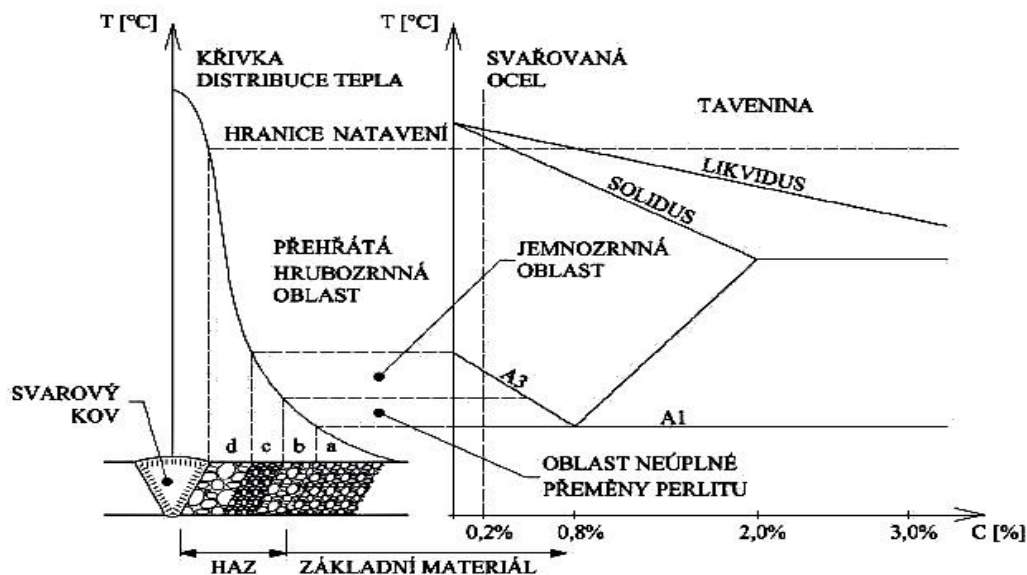
#### **3.4.1.2 Změna struktury materiálu vlivem navařování**

Přívodem tepla do materiálu dochází ke změnám jeho vlastností. Rozhodujícími vlivy jsou množství tepla, rychlost přivádění, rychlost odvodu a metalurgické vlastnosti materiálu. V oblasti ovlivněné teplem tedy dochází ke změně struktury materiálu a jeho mechanických vlastností. [1]

Zjednodušeně lze říci, že zhoršení těchto vlastností je důsledkem překalení materiálu. Způsob, jak lze tuto skutečnost eliminovat je buď předehřevem navařované součásti, nebo pomalým chladnutím. [1]

Na Obr. 6 schéma strukturních změn vznikajících v tepelně ovlivněné oblasti svaru při svařování ocelí.

Obr. 6 Schéma strukturních změn při navařování ocelí



Zdroj: [<http://www.konstrukce.cz/clanek/vliv-svarovani-na-lomovou-houzevnatost/>]

### 3.4.1.3 Používané návarové materiály

Volbu návarového materiálu ovlivňuje zejména intenzita namáhání. Pokud je plocha namáhána málo, lze použít levnější materiál. Pokud je však součást namáhána hodně, je třeba zvolit materiál odolnější, tedy i dražší. K posouzení kvality kovu konstrukčního svaru jsou základním kritériem laboratorní zkoušky či zkoušky provozní. [1]

V praxi se používá velké množství návarových materiálů a jejich slitin. Lze použít návarové materiály, které jsou svým složením podobné základnímu materiálu, ale mnohem lepší je využít takový materiál, který je bohatěji legovaný o prvky, které zajistí větší ochranu proti opotřebení. [1]

Ze zkušeností vyplývá, že výběr nejvhodnějšího materiálu pro navařování je potřeba znát podmínky, za kterých bude součást pracovat. Následující informace jsou shrnutím toho, jakým způsobem vybrat vhodný navařovací materiál. Je potřeba znát:

- jaký je základní materiál

- jaký je typ opotřebení
- jaký druh povrchu je vyžadován
- jakému svařovacímu procesu se dává přednost. [17]

Z ekonomického hlediska je potřeba zohlednit a posoudit, zda bude celkový efekt z navaření výhodný či nevýhodný. Pokud by byly náklady na renovaci, tedy v našem případě na navaření větší než náklady na pořízení nové součásti, byl by tento proces nevýhodný. Ceny návarových materiálů se na tuzemském trhu pohybují v rozmezí 400 - 3500 Kč za kilogram. [17]

Dle vlastností návaru rozlišujeme tyto přídavné materiály:

- martenzitického typu
- austenitického typu
- ledeburitického typu
- na bázi neželezných kovů
- keramické. [16]

#### **3.4.1.3.1 Martenzitický typ**

Jedná se o přídavné materiály, které mohou kalením získat martenzitickou strukturu. Tato struktura však není trvalá, pokud není materiál následně tepelně zpracován. Tento princip se však provádí jen výjimečně. Pro tyto materiály je důležitá jejich tvrdost dosažená volným chladnutím odváděním tepla do základního materiálu. Celková tvrdost závisí především na obsahu uhlíku. Návarové materiály tohoto typu jsou mírně legovány, takže se zlepšuje prokalitelnost, a i v méně příznivých případech navařování je rychlost ochlazování dostačující k dosažení vysoké přirozené tvrdosti. [15, 16]

#### **3.4.1.3.2 Austenitický typ**

Tyto materiály mají i přes poměrně nízkou tvrdost vysokou houževnatost a odolnost proti opotřebení. Dobré otěruvzdorné vlastnosti lze získat pomocí tlaků nebo rázů, kterými se materiál zpevňuje. Pokud má být zachována austenitická struktura za normálních teplot, je potřeba tyto materiály rychle ochlazovat. Jestliže při ohřevu dosáhneme teploty 1100 °C, dochází k rozpuštění karbidů a následujícím rychlým ochlazením získáme ocel s původními vlastnostmi. Po navaření je tedy nutné materiál tepelně opracovat

nebo navařovat krátké housenky s přestávkami, aby byl zajištěn odvod tepla do základního materiálu. [14, 15, 16]

### **3.4.1.3.3 Ledeburitický typ**

Charakteristikou této struktury je různorodost strukturních složek a vysoká přirozená tvrdost a odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Nevýhodou návarů tohoto typu je jejich křehkost. Z tohoto důvodu je nutné nanášet vrstvy na houževnatý základní materiál.

Mezi materiál ledeburitického typu lze zařadit bílou litinu, která vykazuje dobrou odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Pokud obsahuje karbidy chromu, její odolnost se dále zvyšuje. Velmi vhodné pro opotřebení minerálním abrazivem jsou nadeutektické litiny, které obsahují jehlicovité karbidy v základním eutektiku. Tento typ návarového materiálu je používán jako bílá litina s obsahem chromu 2 až 5 % nebo jako vysoce legovaná litina s obsahem chromu 20 až 30 %. [15, 16]

### **3.4.1.3.4 Na bázi neželezných kovů**

Tyto neželezné materiály jsou na bázi kobaltu a niklu. Jinak se jim říká také stelity. Základní struktura je tvořena houževnatou hmotou, kde jsou rozmístěny tvrdé strukturní složky karbidů chromu, železa a wolframu. Mají specifické vlastnosti a poměrně vysokou cenu, takže jsou využívány pouze ke speciálním účelům. Mezi vlastnosti lze zařadit vysokou tvrdost, přičemž maximální tvrdosti lze dosáhnout bez tepelného zpracování, a také např. odolnost proti působení chemikálií.

Tyto materiály mají vlivem vysokého obsahu kobaltu stálost svých vlastností do vysokých teplot (přibližně až 700 °C). Vzhledem k vysoké ceně kobaltu je z části nahrazen niklem a železem a těmito materiálům se také říká nepravé stelity. Vlastnosti mají stejné jako pravé, ale právě sníženým náhradou kobaltu niklem a železem ztrácí svou odolnost do vysokých teplot. [15, 16]

### 3.4.1.3.5 Keramické

Mezi tyto materiály řadíme především oxidy a nitridy různých kovů, boridy a karbidy a případně jejich směsi. Všechny tyto materiály mají své specifické vlastnosti, ale v praxi se používají především ty, které vytvářejí tvrdé vrstvy.

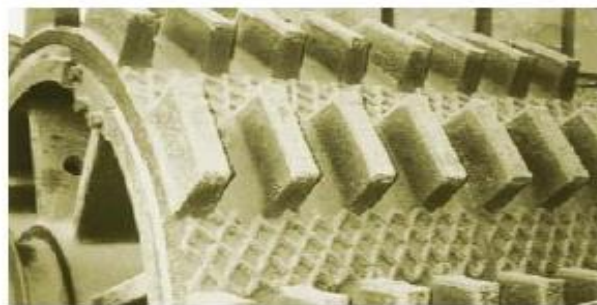
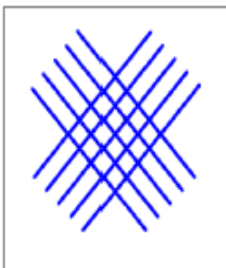
### 3.4.1.4 Styly navařování

Stylem navařování se rozumí, jakým tvarem je materiál navařován. Mezi styly navařování patří:

- mřížový návar
- bodový návar
- vaflový
- vodorovný.

Mřížový návar je používán na místech, kde působí je abraze povrchu způsobena kombinací velkých a malých částic. Velké částice jsou odkloněny díky diagonálnímu směru a tím je dopad na opotřebení minimalizován. Tento způsob navařování je velmi často používán při práci s kamenivem např. u drtičů kamene (viz. Obr. 7).

Obr. 7 Mřížový styl navařování



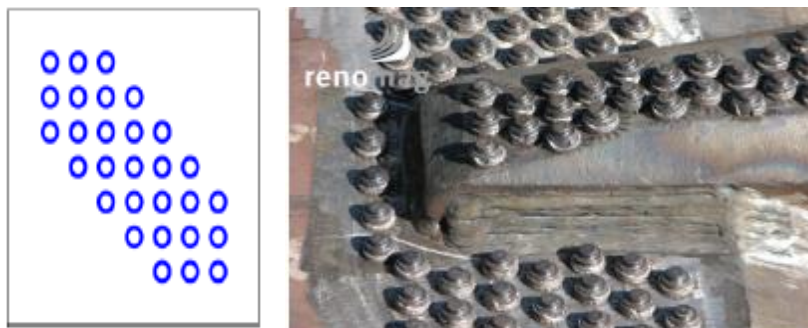
Zdroj: [17]

Bodový návar může být vytvořen pouze přídavným návarovým materiálem nebo je navařován ve formě tzv. „pinů“ o tvrdosti 60 HRC nebo pinů s vložkou o tvrdosti



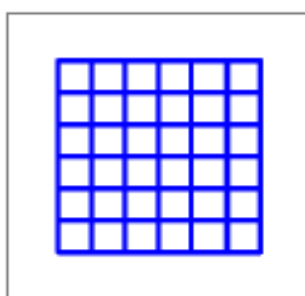
80 HRC. Tato vložka je z karbidů wolframu. Bodový návar je uplatňován v místech, kde jsou menší rázy, a proto ho lze využít i na zakřivených plochách.

Obr. 8 Bodový styl navařování



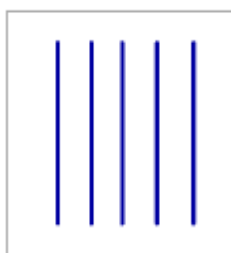
Zdroj: [28]

Obr. 9 Vaflový styl navařování



Vaflový styl navařování je využíván v případech, kdy je abraze povrchu způsobována malými částicemi. Příkladem mohou být nástroje pracující v písku nebo v půdě. Abrazivo se nahromadí v mezerách mezi návarů a na vzniklé usazenině a další abrazivo se sune po této vrstvě, a tak nedochází k interakci s vlastním povrchem součásti.

Obr. 10 Vodorovný styl navařování



Vodorovný návar je využíván tam, kde na povrch působí velké abrazivní částice. Velké abrazivní části, jako např. kameny, se smýkají po vrcholech návarů a vlastně tím nepůsobí na vlastní povrch. Návarů musí být navařeny ve směru, jakým působí abraze. Nejtypičtějším příkladem mohou být dopravní skluzy.

### 3.4.1.5 Navařování plužních čepelí

Navařování plužních čepelí je v současnosti nejdiskutovanější a nejběžnější metodou úpravy plužních čepelí. Lze říci, že je dokonce i nejstarší metodou. Již dříve se

uživatelé pluhů zabývali zvýšením jejich životnosti. V dnešní době je trend takový, že samotní výrobci vynakládají nejen značné úsilí, ale i nemalé finanční prostředky do navařování. Užití návarů však nemusí být chápáno pouze jako metoda zvýšení životnosti. Navařením housenek na zadní stranu čepel lze docílit tzv. samoostřicího efektu, kdy se materiál na přední straně opotřebovává rychleji, než na zadní straně a tím dochází ke vzniku klínovitého ostří. Vznikem tohoto ostří zůstává čepel ostrá. Důsledkem tohoto efektu je snížení odporu pohybu nástroje v půdě (tahového odporu) z čehož vyplývá i snížení spotřeby pohonných hmot traktoru. Ostrá čepel také navíc přispívá ke kvalitnějšímu zpracování půdy.

Uplatňovány jsou dva způsoby navařování. Výše zmíněné navařování housenek na vhodná místa lze provádět několika způsoby. Mohou být navařovány vodorovně, šikmo nebo kolmo na ostří čepel. Materiál lze nanášet buď na přední nebo zadní stranu čepel, a to buď v jedné, nebo více vrstvách. Ze závěrů experimentů také vychází, že šikmým návarem dochází ke zlepšení drobitivosti půdy. Na Obr. 11 je šikmý návar na ostří čepel a na Obr. 12 vodorovný návar. Na Obr. 12 je ukázka kolmého návaru na čepel a na hrot podrýváků (Obr. 13).

*Obr. 11 Šikmý návar na ostří čepel*



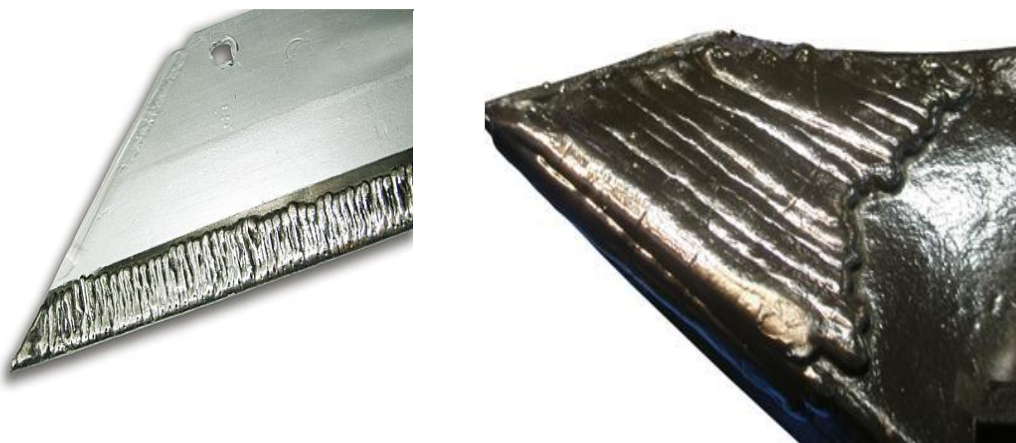
*Zdroj: [autor]*

Obr. 12 Vodorovný návar na zadní straně čepele společnosti Lemken



Zdroj: [<https://lemken.com/en/soil-cultivation/ploughing/>]

Obr. 13 Kolmý návar na ostří čepele (vlevo) a návar na hrot podrýváku (vpravo)



Zdroj: [<http://www.technolit.de/App/WebObjects/XSMIPS.woa/cms/page/pid.102.104.193/agid.1.3805.47/ecm.ag/Ag-rar-Dur-700.html>]

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly 3, dalším druhem navařování je tzv. CDP. Principem je návar na měkkém plechu z běžné konstrukční oceli, který obsahuje jednosměrně poskládané karbidové destičky, které jsou v chromniklové matici. Jejich tvrdost se pohybuje kolem 65 HRC. Tyto destičky mají vysokou plošnou otěruvzdornost. [27]

#### **3.4.1.6 Způsoby navařování**

Navařování vychází ze způsobů konstrukčního svařování. Veškeré postupy jsou obdobné. Navařování je možno provádět dvěma způsoby, a to ručně nebo strojně. Ruční navařování je dostupnější a finančně méně náročnější a výhodou je také užití

u tvarově komplikovanějších tvarů. Pro velkosériovou výrobu je vhodnější strojní navařování jednoduchých tvarů. Velkou výhodou je možnost automatizace a opakovatelná kvalita provedení návarů. Při ručním i strojním navařování je potřeba zohlednit tato dvě hlediska:

- specifickou hmotnost základního i navařovaného materiálu
- teploty tavení základního i navařovaného materiálu.

Problematickou oblastí je navařování na základní materiál o nižší specifické hmotnosti, než je materiál navařovaný. V tomto případě může dojít k vyplavení částic základního materiálu do oblasti návaru. [24]

Teploty tavení základního a navařovaného materiálu hrají z hlediska kvality navařování také podstatnou roli. Pokud je teplota tavení základního materiálu vyšší než teplota tavení návarového materiálu, tak nečiní navařování žádné potíže. Problém nastane, pokud je tomu naopak. Navařování je potom obtížné nebo dokonce neproveditelné. Např. nelze navařovat hliník na ocele z důvodu rozdílných teplot tavení. [24]

Pro účely této diplomové práce jsou popsány ty metody navařování, které jsou nejčastěji používány pro zvyšování životnosti pluzních čepelí. [24]

#### **3.4.1.6.1 Navařování elektrickým obloukem odtavující se elektrodou**

Nejčastěji používané elektrody pro tento způsob navařování jsou elektrody s bazickým obalem a jádrem z měkké oceli. Obal tvoří mimo běžných struskotvorných složek také legující prvky. Pro správné navařování z hlediska tepelného ovlivnění základního materiálu, promísení základního materiálu s navařovaným a rovnoměrného rozložení návaru, jsou doporučeny některé specifické zásady. Ke zmenšení tepelného ovlivnění základního materiálu je potřeba vycházet ze znalosti, že na kladném pólu je soustředováno přibližně 70 % veškerého tepla, a proto se zpravidla používá zdroj proudu se zápornou polaritou (kladný pól na elektrodě). Z tohoto důvodu dochází k rychlejšímu odtavování elektrody a tím i ke zmenšení tepelného ovlivnění základního materiálu. Při konstrukčním svařování jsou používány větší proudy než při navařování. Tento poznatek má také vliv na zmenšení tepelného ovlivnění. Při navařování se udržuje krátký oblouk stálé délky, aby nedocházelo k vyplavování uhlíku a legujících prvků. [16, 24]

### 3.4.1.6.2 Navařování kontinuálně podávanou elektrodou

Tento způsob byl využit při navařování čepelí pro účely experimentu této diplomové práce.

Navařování je realizováno dvěma způsoby:

- v ochranné atmosféře inertního plynu (MIG)
- v ochranné atmosféře aktivního plynu. (MAG).

Na základní materiál je odtavován kontinuálně podávaný navařovací materiál, který je formě drátu, plněné elektrody nebo pásky. Kontinuální podávání je zajišťováno do svařovací pistole pomocí cívky, která je poháněna elektromotorem. Při změně napětí na oblouku reaguje elektromotor tak, že pokud stoupá napětí (oblouk se prodlužuje), upravuje rychlost podávání drátu. Při tomto způsobu pracuje zdroj se strmou statickou charakteristikou. Pokud zdroj pracuje s tvrdou statickou charakteristikou, délka oblouku je upravována změnou hodnoty proudu. Pokud je tedy oblouk prodlužován, proud se snižuje a rychlost odtavování elektrody také. Tím dochází k vyrovnávání délky oblouku na rovnovážnou hodnotu. [20, 25]

Navařovací materiál je používán nejčastěji ve formě tzv. trubičkových drátů. Jedná se o tenkostěnné ocelové trubičky naplněné práškovou směsí, která působí jako tavidlo a obsahuje legující prvky. Lze je využívat bez i s použitím ochranné atmosféry.

### 3.4.1.6.3 Navařování plamenem

Při navařování plamenem je zdrojem tepla zpravidla směs hořlavého plynu s kyslíkem (např. acetylen a kyslík). Zřídka se využívá hořlavých tekutin. [24]

Nejčastěji používaným způsobem je užití měkkého redukčního plamene, kdy je přebytek acetylenu. Redukční plamen je používán při navařování na ocelový základ. Snížení tavicí teploty, což má za následek minimální promísení základního a návarového materiálu, je způsobeno právě přebytkem acetylenu. Hmotnostní, tvarovou členitostí a rozměrem návarové plochy je řízen tepelný výkon plamene. [23]

Materiál je při tomto způsobu navařování vysoce tepelně ovlivňován. Ekonomicky se jedná o méně výhodný způsob navařování v důsledku vysoké pořizovací ceně používaných plynů a nízké výkonnosti navařování. [16, 24]

#### **3.4.1.6.4 Navařování pod tavidlem**

Principem tohoto způsobu navařování je užití elektrického oblouku, kdy je přídavný materiál odtavován pod vrstvou tavidla. Výhody tavidla jsou shrnuty v následujících bodech:

- chrání tavnou lázeň
- tvoří strusku rafinující svarový kov
- stabilizuje hoření
- leguje návarový kov
- formuje návarový kov.

Tavidla jsou používána v různých formách:

- tavená
- keramická
- sintrovaná. (v drcené nebo jemné granulované formě).

Lze navařovat jedním drátem, dvěma dráty vedle sebe nebo za sebou apod. [25]

#### **3.4.1.6.5 Navařování elektrickým obloukem netavící se elektrodou**

Netavící se elektrod je buď uhlíková nebo wolframová (resp. wolframothoriovaná). Mezinárodní označení tohoto způsobu je MIG (wolfram inert gas) nebo TIG (tungsten inert gas). Uhlíková elektroda pro navařování se však v dnešní době téměř nepoužívá. Principem navařování wolframovou elektrodou je zapálení oblouku mezi netavící se elektrodou a základním materiálem, kdy je přídavný materiál dodáván do oblouku nezávisle. [25] Používán je stejnosměrný proud se zapojením elektrody na kladném pólu. Důsledkem je mělký a široký závar a nízké promísení základního a přídavného materiálu. [16]

#### **3.4.1.6.6 Navařování plazmou**

Při tomto způsobu navařování dochází k vysoké koncentraci energie, díky které lze při navařování dosáhnout vysokých teplot. To umožňuje vyšší navařovací rychlost a nižší tepelné ovlivnění základního materiálu. Tato metoda je využívána pro navařování těžko tavitelných materiálů.

V podstatě se jedná o stříkání plazmy, ale rozdíl je v tom, že je natavován základní materiál. Principem je vytvoření elektrického oblouku mezi wolframovou případně uhlíkovou elektrodou a chlazenou tryskou (anodou), okolo kterého proudí plyn (vzduch, dusík, argon, vodní vír), který vytváří plazmový oblouk. Teplota oblouku se pohybuje až kolem 25 000 °C. V případě, že hoří oblouk pouze mezi wolframovou katodou a chlazenou anodou, jedná se o nepřenosný oblouk. Přenosný oblouk vznikne, pokud je přenesen kladný pól z trysky na vodivý materiál. [16, 25]

### **3.4.2 Povlakování**

Metody povlakování jsou založené na principu nanášení vrstev materiálu za účelem zvýšení odolnosti povrchu proti opotřebení, zvýšení tvrdosti a zlepšení fyzikálních a chemických vlastností upravované povrchové vrstvy nástroje. V dnešní době se samozřejmě tato metoda uplatňuje i v zemědělství. Nejčastější metody nanášení povrchových vrstev je povlakování a galvanické pokovování (metody CVD a PVD). Aplikace povlaků dosáhla v poslední době velkého rozvoje. [1, 18, 19]

V roce 2011 byl proveden výzkum v nanášení povlaků na plužní čepel. Šlo o tzv. povlak DLC (Diamond Like Carbon). Jedná se o povlak složený z grafitického uhlíku, diamantového uhlíku a vodíku v rozdílných poměrech. Předností tohoto povrchu je malé tření. Čepel s povlakovou vrstvou vykazovali mnohem menší tření, než čepel bez povlaku (Obr. 14). Snížení tření má vliv na potřebnou tahovou sílu traktoru, který pro operace s pluhem opatřenými povlakem DLC nepotřebuje takový výkon díky snížení tahové síly. Důsledkem je i snížení spotřeby pohonných hmot. [1, 20]



Obr. 14 Polní zkouška u špičky radlice (vlevo bez povlaku, vpravo s povlakem)



Zdroj: [<http://www.gizmag.com/dlc-coated-plows/19334/picture/138593/>]

### 3.4.3 Tváření

Je to proces, při kterém dochází k plastické deformaci, která je pro nás žádoucí. Spočívá v působení vnějších sil za účelem získání požadovaného tvaru. Dělení tváření je podle teploty a rozdělujeme ho na tváření za studena a tváření za tepla. Tváření za tepla probíhá při teplotě nad rekrystalizační teplotou tvářeného materiálu. Tváření za studena probíhá pod teplotou rekrystalizace. V tváření výrobním a renovačním není velký rozdíl, protože jsou prakticky totožné.

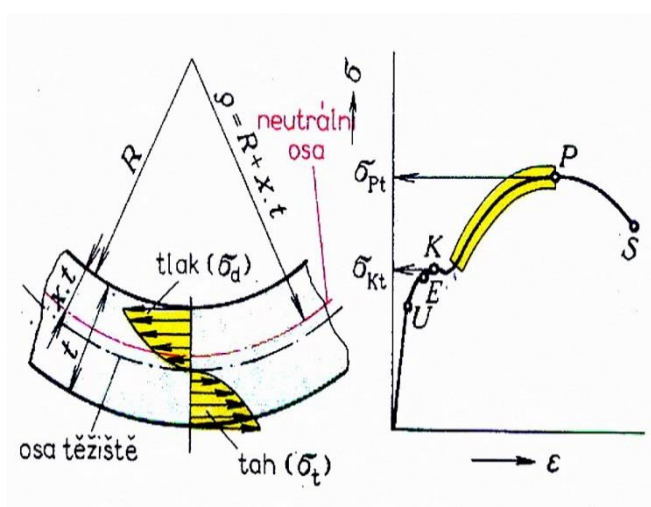
U metody za studena je potřeba si uvědomit, že nelze dosáhnout úplně přesných rozměrů. Horní strana součásti je namáhána silou a dochází k tlačení této strany, kde jsou vlákna materiálu zkracována. Na druhé straně je materiál naopak tažen a vlákna se tedy prodlužují. Síla působící okolo neutrální osy způsobuje pouze elastickou deformaci, takže nepřekračuje mez kluzu materiálu. Povrch materiálu je ale namáhán plastickou deformací. Při odlehčení působící síly se materiál bude vracet pomocí vnitřních pnutí do původního tvaru, dojde k vymizení elastické deformace a materiál je deformován v opačném směru.

Metoda za tepla je velmi podobná metodě za studena. Rozdíl je v tom, že se součást ohřeje na teplotu tváření. Tím se sníží velikost potřebné síly pro rovnání a dojde ke změně vlastností materiálu. Nedojde k elastické deformaci, ale jen k plastické.



Při rovnání místním ohřevem se změní rozložení vnitřních pnutí, a pokud se vhodně provede, dojde k vytvoření požadovaného tvaru. Materiál, který je ohříván se roztahuje a okolní chladnější materiál se tomuto roztahování brání. To způsobuje vznik tlaku na okolí ohřívajícího materiálu. Po přerušení přívodu tepla začne materiál chladnout a teploty se pomalu vyrovnávají. Vznikne tahové napětí, které způsobí v rozložení vnitřních pnutí takové změny, že se součást vytvaruje do požadovaného tvaru. Na Obr. 15 je znázorněno obecné rozložení sil a jejich velikost v ohýbaném materiálu.

Obr. 15 Rozložení sil a jejich velikost v ohýbaném materiálu



Zdroj: [[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)]

### 3.5 Metody hodnocení odolnosti plužních čepelí proti opotřebení

Pro hodnocení materiálů z hlediska jejich opotřebení jsou využívány provozní, poloprovozní a laboratorní zkoušky. Každá z těchto metod má svoje výhody a nevýhody. Pro důvěryhodnost výsledků je účelné brát zřetel na podmínky opotřebení ve skutečném, tedy „ostrém“ provozu.

### 3.5.1 Provozní zkoušky

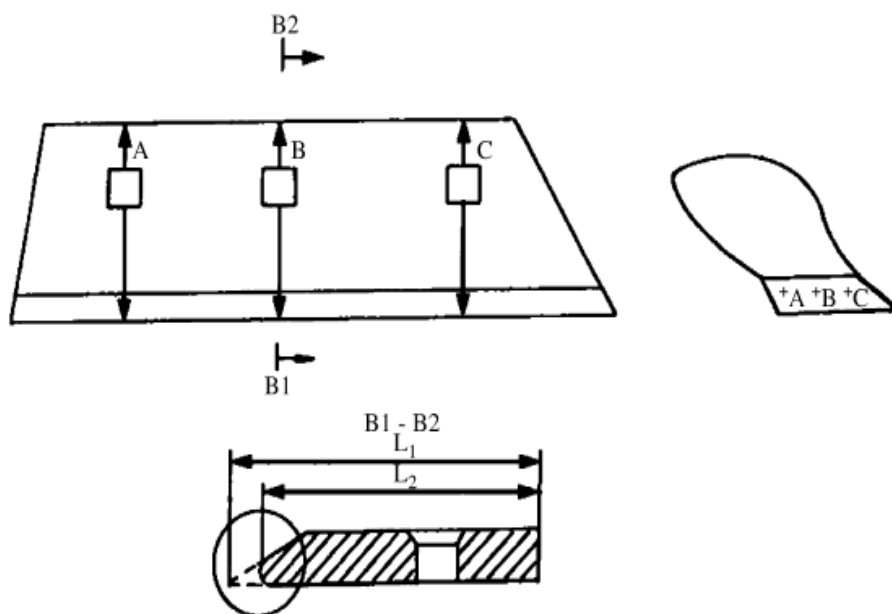
Tyto zkoušky probíhají v reálném pracovním prostředí, a proto lze sledovat a hodnotit opotřebení přímo na stroji. Toto hodnocení opotřebení lze statisticky zhodnotit a prognózovat tak následující vývoj s ohledem na jejich provoz. Velkou nevýhodou provozních zkoušek je, že konkrétní podmínky pro hodnocení opotřebení se neustále mění. Mezi podmínky řadíme např. druh půdy a její složení, vlhkost a utužení. Provozní zkoušky jsou také mnohem nákladnější, a to z důvodu vznikajících prostojů na výměnu čepelí na pluhu či při jejich analýze.

Zkušební vzorky pro provozní zkoušky mohou být buď ve formě destiček, které jsou připevněny na čepel anebo samotná čepel. Druhá možnost je z hlediska zkušebních charakteristik nejvíce vypovídající.

Zkušební vzorky ve formě destiček jsou vyhodnocovány obdobně jako při laboratorních zkouškách. Samotné čepelky jsou vyhodnocovány rozměrovou a hmotnostní analýzou. Data z těchto analýz slouží k určení průběhu rozměrových a hmotnostních změn, ke kterým dochází v průběhu opotřebení. [21, 22, 15]

Na Obr. 16 jsou vykresleny parametry sledované při rozměrové analýze.

Obr. 16 Parametry sledované při rozměrové analýze



Zdroj: [NATSIS, A., G. PETROPOULOS a C. PANDAZARAS]

### 3.5.2 Laboratorní zkoušky

Laboratorními zkouškami lze obvykle zkoumat pouze některé parametry opotřebení. Výsledky těchto zkoušek lze tedy aplikovat až po důsledné analýze reálných provozních podmínek. Laboratorní přístroje lze detailně sledovat působení jednotlivých faktorů na intenzitu a charakter opotřebení. Mezi hlavní výhody laboratorních zkoušek patří nižší cena oproti polním zkouškám, ale především dobrá opakovatelnost. [23]

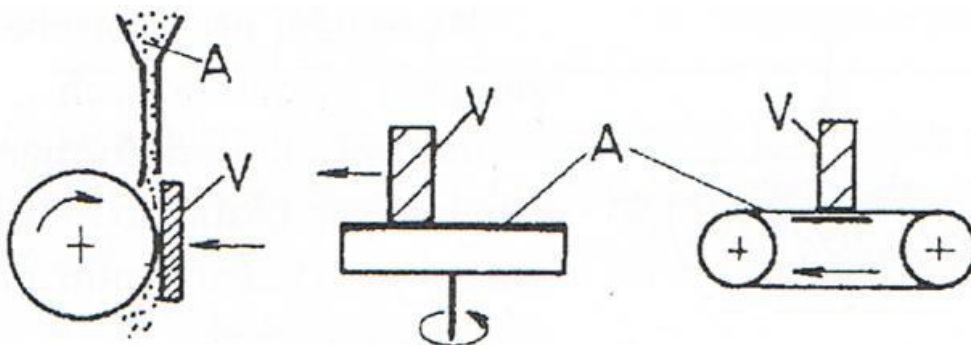
Vyhodnocení těchto zkoušek spočívá v porovnání zkoušeného vzorku s etalonu. Ukazatelem pro hodnocení jsou hmotnostní úbytky. Přístroje pro zkoušení jsou používány s volnými nebo vázanými abrazivními částicemi. [26]

Při zkouškách s volnými abrazivními částicemi mohou být částice vsypávány mezi vzorek a rotující pryžový kotouč nebo může být naplněn buben či nádoba, která se vůči vzorkům pohybuje (např. Bondův přístroj). Tyto zkoušky se více přibližují reálnému provozu. Lze využít různé druhy abrazivních částic (např. písek nebo půdu o určité vlhkosti) a nasimulovat takové podmínky, které jsou i v reálném provozu stroje. Nevýhodou je znečišťování a opotřebovávání abraziva. [26, 15, 21, 22]

Při zkouškách s vázanými abrazivními částicemi se využívá brusného plátna nebo brusného kotouče. Principem je interakce zkoušené části s abrazivním faktorem (v tomto případě plátno nebo kotouč). Nevýhodou je klesající abraze plátna nebo kotouče v průběhu zkoušek. [26, 15, 21, 22]

Na Obr. 17 je znázorněn princip laboratorních zkoušek opotřebení.

Obr. 17 Princip laboratorních zkoušek opotřebení



Zdroj: [JANOŮŠEK], Pozn.: V – zkoušený vzorek, A – abrazivo

## 4 POLNÍ ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ PLUŽNÍCH ČEPELÍ

Polní zkoušky opotřebení plužních čepelí proběhly v okolí Konstantinových Lázní na 136 ha orné půdy za pomoci traktoru Fendt 936 Vario s poloneseným oboustranným sedmiradličným pluhem Kverneland PB 100.

Ornice obsahovala posklizňové zbytky z řepky včetně vzrostlého výdrolu. Orba byla provedena během listopadu. Následující plodinou bude mák, který se seje až na jaře. Orba byla prováděna do hloubky 25 - 30 cm při rychlosti traktoru 10 km.h<sup>-1</sup>. Během experimentu nedošlo k žádným prostojům z hlediska poruch stroje.

*Obr. 18 Traktor Fendt 936 Vario s pluhem Kverneland PB 100*



*Zdroj: [autor]*

## 4.1 Příprava plužních čepelí pro experiment

Plužní čepel je potřeba před experimentem připravit. Výrobci čepelí používají na své čepeli krycí nátěr, který je potřeba odstranit. Odstraněn byl pomocí brusného kotouče na elektrické úhlové brusce. Nátěr byl odstraněn z důvodu snadnějšího průchodu elektrického proudu při navařování a také proto, aby nedošlo k znečištění sváru.

Po odstranění nátěru byl na čepeli navařen tvrdokov. Tento tvrdokov je dodáván výrobcem ve formě trubičkového drátu a byl navařen pomocí svařovacího automatu od společnosti ESAB se zdrojem LAF 635 DC a řídicí jednotkou A2-A6 Process Controller (Obr. 20). Metoda navařování byla elektrickým obloukem odtavující se kontinuálně podávanou elektrodou. Při pohledu na čepel je vidět, že jsou konstrukčně řešeny do tvaru šroubovice, proto byly při navařování zafixovány do speciálního přípravku (Obr. 19)

Pro navaření čepelí návarovým materiálem bylo použito šest různých návarových materiálů. První a poslední čepel na pluhu byla navařena stejným druhem materiálu. Pro všechny čepelí byla zvolena technika navaření šikmo (viz. Kapitola 4.5). Před navařením každé další housenky nastala časová prodleva (5-7 minut) k vychladnutí čepelí, aby tak nedocházelo při dalším navařování k tepelnému ovlivnění okolí, které by mělo za následek strukturní změny základního materiálu a sousední housenky.

Obr. 20 Svařovací automat ESAB



Zdroj: [autor]

Obr. 19 Uchycení čepelí do speciálního přípravku



Zdroj: [autor]



## 4.2 Půdní podmínky během experimentu

### 4.2.1 Vlhkost půdy

Během experimentu převládalo zatažené počasí s ranními mlhami. Poslední dva dny experimentu začal silně foukat vítr a půda velmi rychle vysychala (viz. Tab. 4, označení vzorků 11 a 12). Bylo odebráno celkem 12 vzorků půdy do uzavřených zavařovacích sklenic s gumovým těsněním, aby bylo zabráněno samovolnému vysoušení vzorku. Vlhkost byla stanovena pomocí gravimetrické metody.

Gravimetrická metoda je považována za metodu absolutní, podle které se kalibrují i jiné způsoby stanovení vlhkosti půdy. Vzorky byly odebírány zhruba ze stejné výšky brázdy, a to přibližně v polovině. Vzorky byly umístěny do zavařovacích sklenic s gumovým těsněním, aby nedošlo žádnému úniku vlhkosti. Tyto vzorky byly zváženy včetně sklenic (bez víčka) na digitální váze E6KS s přesností na jeden gram a umístěny do pece (pec Memmert UF 55) k vysušení při teplotě 110 C° po dobu 18 hodin. Po vysušení bylo opět provedeno zvážení vzorků. [12] Na Obr. 21 je vidět umístění vzorků v peci.

Obr. 21 Umístění vzorků půdy k vysušení v peci



Zdroj: [autor]

Výpočet relativní vlhkosti se provádí podle následujícího vzorce:

$$W_{hm} = \frac{M_w}{M_s} * 100 [\%]$$

$M_w$  – hmotnost vody ve vzorku (rozdíl hmotnosti vlhkého a vysušeného vzorku) [g]

$M_s$  – hmotnost vysušeného vzorku [g] [11]

V následující tabulce (Tab. 4) jsou uvedeny hmotnosti vzorků půdy před vysušením a po vysušení a jejich vlhkost stanovená dle vzorce uvedeného výše.

Tab. 4 Relativní vlhkosti půdy

Označení vzorku	Hmotnost před vysušením [g]	Hmotnost po vysušení [g]	Vlhkost [%]	Průměrná vlhkost [%]
1	483,30	439,69	9,92	9,80
2	511,35	468,95	9,04	
3	513,85	470,14	9,30	
4	429,05	392,45	9,33	
5	712,80	650,00	9,66	
6	521,70	482,75	8,07	
7	470,70	423,10	11,25	
8	458,15	413,70	10,74	
9	471,65	427,95	10,21	
10	366,20	331,35	10,52	
11	465,00	434,15	7,11	6,92
12	374,00	350,43	6,73	

#### 4.2.2 Zrnitostní složení půdy (zrnitostní rozbor)

Zrnitost půdy má vliv na několik faktorů. Patří sem:

- vliv na zvětrávání a půdotvorný proces
- vliv na biologickou činnost půdy
- vliv na sorpci v půdě
- vliv na tepelný režim půd
- vliv na technologické vlastnosti (zpracování půdy)
- vliv na stanoviště rostlin. [29]

Zrnitostní rozbor má za cíl stanovit půdní druh, k jehož určení slouží zrnitostní kategorie. Výsledkem rozboru jsou údaje o procentuálním zastoupení jednotlivých velikostních skupin tzv. frakcí. [29]

Rozbor byl proveden hustoměrnou (areometrickou) metodou podle A. Casagrande. Specifická (měrná) hmotnost půdy, jako pomocná hodnota, byla stanovena pomocí vodního pyknometru. Hustoměrná metoda je založena na principu, kdy v jednotlivých časových okamžicích je měřena hustota suspenze v odměrném válci (voda + půda), která s postupným usazováním zrn klesá. Před samotným měřením je potřeba připravit vzorek půdy k rozboru. Je používána tzv. preparace vzorku. Je založena na rozrušení půdních agregátů (lze provádět mechanicky či chemicky nebo kombinací obojího) na elementární částice. V porcelánové misce je smíchána vypreparovaná půda s destilovanou vodou a dispergačním činidlem (činidlo umožňuje smíchání jinak nesmíselných kapalin) a následně je směs přivedena do varu. [29]

Vlastní měření probíhá tak, že je preparovaná půda vložena do odměrného válce a válec je doplněn vodovodní vodou po rysku 1000 ml. Vzniklá suspenze je rozmíchána pomocí míchadla (60 sekund). Do rozmíchané suspenze je vložen hustoměr a v jednotlivých časových intervalech jsou zaznamenány hodnoty R (hodnota odečítaná ze stupnice hustoměru) a v průběhu sedimentace je zaznamenávána teplota. Veškeré tyto hodnoty slouží k tvorbě zrnitostní čáry. [29]

Pro vyhodnocení zrnitosti půdy byla požádána katedra pedologie na FAPPZ ČZU v Praze. Vzorek půdy byl vyhodnocen dle metody Kopeckého jako půda **písčítá**. V Tab. 5 je uvedeno zrnitostní složení půdy a grafický výsledek zrnitostní čáry je uveden v příloze 3. Skelet (kamenivo) nebylo ve vzorku zjištěno.

Tab. 5 Zrnitostní složení půdy

Zrnitostní kategorie	Procentuální zastoupení
< 0,002 mm (Fyz. jíł)	15,39
< 0,01 mm (I. Kat.)	44,72
0,01 - 0,05 mm (II. Kat)	28,66
0,05 - 0,1 mm (III. Kat.)	4,76
0,1 - 2 mm (IV. Kat)	21,85

- I. Kat. jílnaté částice
- II. Kat. prach
- III. Kat. práškovitý písek
- IV. Kat. písek



## 4.3 Použité návarové materiály

### 4.3.1 SK 258 TiC-O

Jedná se o trubičkový drát s vlastní ochranou, který se používá pro součásti vystavené velkému otěru a silným tlakům a rázům. Využívá se i mimo jiné pro pracovní plochy zemědělských strojů. Karbidy ve sváru dosahují tvrdosti 58 HRC. Směrné chemické složení v % je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 6 Směrné chemické složení návarového materiálu SK 258 TiC-O

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ti	Fe
1,8	0,9	0,2	6,1	1,4	5,5	základ

### 4.3.2 SK 900-O

Jedná se o trubičkový drát s vlastní ochranou pro navařování dílů extrémně opotřebovávaných otěrem při malých rázech a tlaku. Karbidy ve sváru dosahují tvrdosti 63 HRC.

Tab. 7 Směrné chemické složení návarového materiálu SK 900-O

C	Mn	Si	W	Cr	Fe
2,9	0,5	0,4	42	5,8	základ

### 4.3.3 SK A43-O

Jedná se o trubičkový drát s vlastní ochranou pro navařování dílů značně opotřebovávaných otěrem při středních rázech. Karbidy ve sváru dosahují tvrdosti 64 HRC.

Tab. 8 Směrné chemické složení návarového materiálu SK A43-O

C	Mn	Si	Nb	Cr	Fe
5,6	0,2	1,3	6,7	20,2	základ

#### 4.3.4 SK 299-O

Návarový materiál s vlastní ochranou vhodný proti opotřebení a do vysokých teplot. Karbidy dosahují tvrdosti až 64 HRC.

Tab. 9 Směrné chemické složení návarového materiálu SK A 299-O

C	Mn	Si	Cr	Nb	V	B	Fe
4,9	0,3	1,0	11,30	6,8	6	0,7	základ

#### 4.3.5 SK A45-O

Jedná se o trubičkový drát s vlastní ochranou. Karbidy dosahují tvrdosti až 63 HRC. Má dobrou odolnost vůči otěru. Materiál je vhodný až do teplot kolem 650 °C a je legovaný wolframem a vanadiem.

Tab. 10 Směrné chemické složení návarového materiálu SK A 45-O

C	Mn	Si	Nb	Cr	V	Mo	W	Fe
5,3	0,2	0,7	6	21	0,8	6,3	1,9	základ

#### 4.3.6 OK TUBRODUR 15.82

Jedná se o trubičkový drát od společnosti ESAB o průměru 1,6 mm, který je plněný kovovým práškem. Je vhodný pro navařování vrstev odolných proti opotřebení. Jeho tvrdost se pohybuje mezi 56 až 61 HRC a je velmi odolný vůči otěru. Nevýhodou pro účely navařování plužních čepelí je relativně malá odolnost vůči rázům. Návar lze opracovat pouze broušením

Tab. 11 Směrné chemické složení návarového materiálu OK TUBRODUR 15.82

C	Mn	Si	Nb	Cr	V	Mo	W	Fe
5	0,9	0,9	5,4	19	1,2	1,1	1,2	základ

## 4.4 Navařovací parametry jednotlivých návarových materiálů

Navařovací parametr je důležitou součástí navařování, protože hodnoty těchto parametrů ve výsledku ovlivňují kvalitu housenky. Mezi tyto parametry patří:

- svařovací proud,
- svařovací napětí,
- rychlost navařování,
- energie.

Hodnoty parametrů pro navařování jednotlivých materiálů byly voleny tak, aby bylo docíleno stejných rozměrů sváru u všech typů elektrod. Jednotlivé hodnoty parametrů jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 12 Hodnoty parametrů pro navařování

SK 258 TiC - O, SK A43 - O		SK 900 - O	
proud I [A]	250	proud I [A]	220
napětí U [V]	25	napětí U [V]	25
rychlost [cm/min]	25	rychlost [cm/min]	25
energie[kJ/cm3]	15	energie[kJ/cm3]	13

SK 299 - O		SK A45 - O, OK TUBRODUR 15.82	
proud I [A]	230	proud I [A]	250
napětí U [V]	25	napětí U [V]	25
rychlost [cm/min]	25	rychlost [cm/min]	25
energie[kJ/cm3]	14	energie[kJ/cm3]	15

## 4.5 Technika návaru

Pro experiment byla vybrána technika návarů šikmo. Bylo tak učiněno v ohledu na směr působení abrazivních částic v interakci s čepelí a také se očekávalo, že toto řešení

přinese jak zvýšení životnosti, tak i tzv. samoostřící (pilovitý) efekt (Obr. 22). Úhel navaření byl vůči ostří čepule stanoven na  $45^\circ$  z důvodu směru působení abrazivních částic na čepel při jejím pohybu půdou. Pod tímto úhlem bylo provedeno devět návarů s roztečí 60 mm a délkou housenky 60 mm.

*Obr. 22 Samoostřící (pilovitý) efekt plužní čepule*



*Zdroj: [autor]*

## 4.6 Ekonomické zhodnocení navaření plužních čepelí

Celkové náklady na navaření je potřeba pojmout jako součet všech dílčích nákladů. Mezi dílčí náklady byly zařazeny tyto:

- Náklady na mzdu ( $N_m$ )
- Náklady na materiál ( $N_{mat}$ )
- Náklady na elektrickou energii ( $N_e$ )

Pro výpočet nákladů na mzdu bylo potřeba znát několik parametrů. Mezi tyto parametry byly zařazeny tyto:

- Hodinová mzda pracovníka (svářeče) – 150 Kč/hod.
- Čas na obroušení krycího nátěru čepule – 15 minut
- Čas potřebný pro navaření čepule + chlazení čepule + prostoje – 55 minut
- Čas na očištění návaru od strusky – 5 minut

Pro výpočet nákladů na materiál:

- Cena návarového materiálu za 1 kg (viz. Tab. 14)
- Množství navařeného materiálu

Množství navařeného materiálu byl stanoven jako rozdíl hmotnosti čepule po navaření a před navařením (viz. Tab. 13). Příbytek návarového materiálu pro ekonomické

zhodnocení byl vypočítán aritmetickým průměrem příbytků materiálu z obou sad navařených čepelí.

Tab. 13 Množství navařeného materiálu

Označení	Návarový materiál	Váha před navařením [kg]	Váha po navaření [kg]	Příbytek materiálu [g]
A1	SK 258 TiC - O	6,560	6,660	100
B1	SK 900 - O	6,700	6,830	130
C1	SK A43 - O	6,570	6,660	90
D1	SK 299 - O	6,820	6,915	95
E1	SK A45 - O	6,800	6,900	100
F1	OK TUBRODUR 15.82	6,750	6,850	100
G1	SK 258 TiC - O	6,560	6,660	100
Označení	Návarový materiál	Váha před navařením [kg]	Váha po navaření [kg]	Příbytek materiálu [g]
A2	SK 258 TiC - O	6,660	6,745	85
B2	SK 900 - O	6,670	6,775	105
C2	SK A43 - O	6,760	6,870	110
D2	SK 299 - O	6,650	6,740	90
E2	SK A45 - O	6,680	6,745	65
F2	OK TUBRODUR 15.82	6,700	6,765	65
G2	SK 258 TiC - O	6,720	6,775	55

Pro výpočet nákladů na energii:

- Napětí
- Proud
- Svařovací čas
- Cena energie – 4 Kč/kWh

Výpočet nákladů na energii byl proveden na základě hodnot navařovacích parametrů pro jednotlivé návarové materiály (viz. Tab. 12).

#### 4.6.1 Vstupní vzorce a výpočet nákladů na navaření jedné pluzní čepelí

$$N_C = N_m + N_{mat} + N_e$$

$$N_m = M_h * (t_1 + t_2 + t_3)$$

$$N_{mat} = C_m * M_m$$

$$N_e = \frac{U * I * t}{1000} * C_e$$

$$t = \frac{d_c}{v} * \frac{1}{60}$$

$$d_c = d_l * d_n$$

kde:

$N_C$	celkové náklady na navaření [Kč]
$N_m$	náklady na mzdu [Kč]
$N_{mat}$	náklady na materiál [Kč]
$N_e$	náklady na energii [Kč]
$M_h$	hodinová mzda pracovníka (svářeče) [Kč. h <sup>-1</sup> ]
$t_1$	čas na obroušení krycího nátěru [h]
$t_2$	čas potřebný pro navaření čepele + chlazení čepele + prostoje [h]
$t_3$	čas na očištění návarů od strusky [h]
$C_m$	cena materiálu [Kč. g <sup>-1</sup> ]
$M_m$	množství navařeného materiálu [g]
$U$	napětí [V]
$I$	proud [A]
$t$	svařovací čas [h]
$C_e$	cena energie [Kč. kWh <sup>-1</sup> ]
$v$	navarovací rychlost [cm. min <sup>-1</sup> ]
$d_c$	celková délka návaru [cm]
$d_l$	délka jedné housenky [cm]
$d_n$	počet navařených housenek

Cena čepele Kverneland typu Premium Parts je 530 Kč bez DPH<sup>1</sup>. Na základě kontaktování společnosti Böhler Uddeholm CZ s. r. o. a společnosti ESAB Vamberk byly

---

<sup>1</sup> Cena čepele se může pro jednotlivé odběratele lišit.

ceny<sup>2</sup> návarových materiálů stanoveny s ohledem na to, že se jedná o prodej malého množství tzn. po jednotlivých cívkách. Ceny v českých korunách za jeden kilogram návarového materiálu jsou uvedeny v Tab. 14.

Tab. 14 Ceny návarových materiálů za jeden kilogram

<b>Materiál</b>	SK 258 TiC - O	SK 900 - O	SK A43 - O	SK 299 - O	SK A45 - O	OK TUBRODUR 15.82
<b>Cena za kg</b>	383	2019	534	754	1118	850

V Tab. 15 jsou uvedeny celkové náklady na navaření jednotlivých čepelí. Pro výpočet nákladů na materiál byly ceny návarových materiálů za kilogram převedeny na cenu za gram. Z tabulky je patrné, že nejnákladnější bylo navaření materiálu SK 900-O. Nejméně nákladné bylo navaření materiálu SK A 43-O.

Tab. 15 Celkové náklady na navaření jednotlivých čepelí

<b>Materiál</b>	SK 258 TiC - O	SK 900 - O	SK A43 - O	SK 299 - O	SK A45 - O	OK TUBRODUR 15.82
<b>N<sub>m</sub></b>	187,5	187,5	187,5	187,5	187,5	187,5
<b>N<sub>e</sub></b>	8	7,04	8	7,36	8	8
<b>N<sub>mat</sub></b>	65,11	237,2325	53,4	69,745	92,235	70,125
<b>N<sub>c</sub></b>	260,61	431,77	248,9	264,61	287,74	265,63

V Tab. 16 je uvedeno procentuální zvýšení ceny plužních čepelí na základě celkových nákladů na navaření jednotlivých čepelí. Nejvyšší navýšení ceny čepelí aplikací návarového materiálu bylo u materiálu SK 900-O a nejnižší u materiálu SK A43-O.

Tab. 16 Procentuální zvýšení ceny plužních čepelí

<b>Materiál</b>	<b>Celkové náklady v Kč</b>	<b>Navýšení ceny v %</b>
SK 258 TiC - O	260,61	49,17
SK 900 - O	431,77	81,47
SK A43 - O	248,90	46,96
SK 299 - O	264,61	49,93
SK A45 - O	287,74	54,29
OK TUBRODUR 15.82	265,63	50,12

<sup>2</sup> Bez DPH

## **4.7 Rozmístění vzorků na pluhu**

Pro experiment byl zvolen sedmiradličný polonesený oboustranný pluh Kverneland PB 100. Navařeny byly dvě sady čepelí (14 čepelí). Čepele byly vždy na pluh přidělovány tak, že jedna strana pluhu na sobě měla navařené a druhá strana nenařené čepele tzv. etalony. Bylo tak učiněno z důvodu porovnání čepelí proti sobě (navařená x etalon). Dvě sady byly navařeny z důvodu menších časových prostojů pro demontáž, přeměření a následnou montáž čepelí zpět na pluh a pro statistické vyhodnocení. Navařené čepele byly dle návarového materiálu rozmístěny na pluhu směrem od traktoru takto:

1. SK 258 TiC-O
2. SK 900-O
3. SK A43-O
4. SK 299-O
5. SK A45-O
6. OK TUBRODUR 15.82
7. SK 258 TiC-O

## **4.8 Výsledky experimentu**

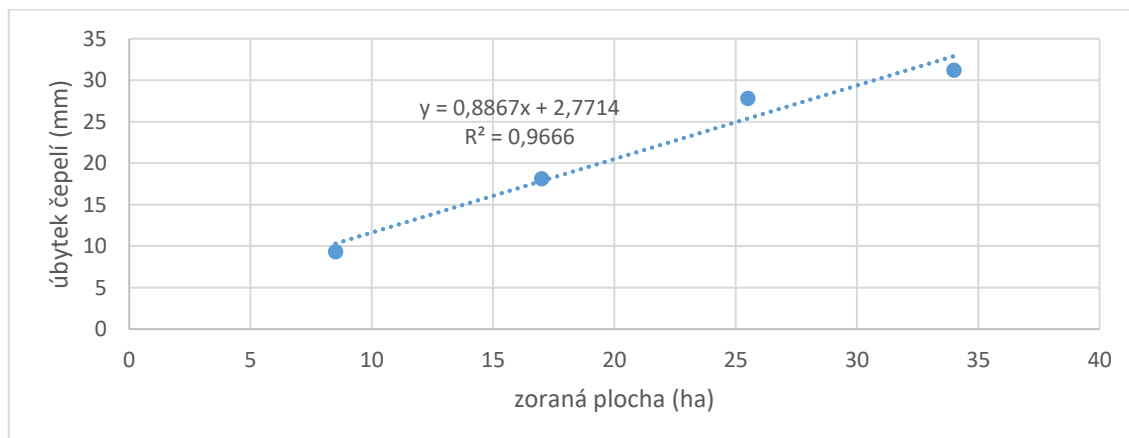
### **4.8.1 Hodnocení průběhu rozměrových úbytků**

Jak již bylo zmíněno, navařeny byly dvě stejné sady čepelí (14 čepelí) z důvodu menších prostojů stroje během demontáže a zpětné montáže čepelí na pluh a kvůli statistickému vyhodnocení. Půdní podmínky byly v průběhu experimentu pro všechny čepele stejné, a proto pro následující grafy byly použity průměrné hodnoty rozměrů i hmotností tzn. navařená čepel na první pozici z první sady s navařenou čepelí na první pozici z druhé sady atd. Pro etalony platí to samé. K hodnocení průběhu rozměrových úbytků byl použit program MS EXCEL.



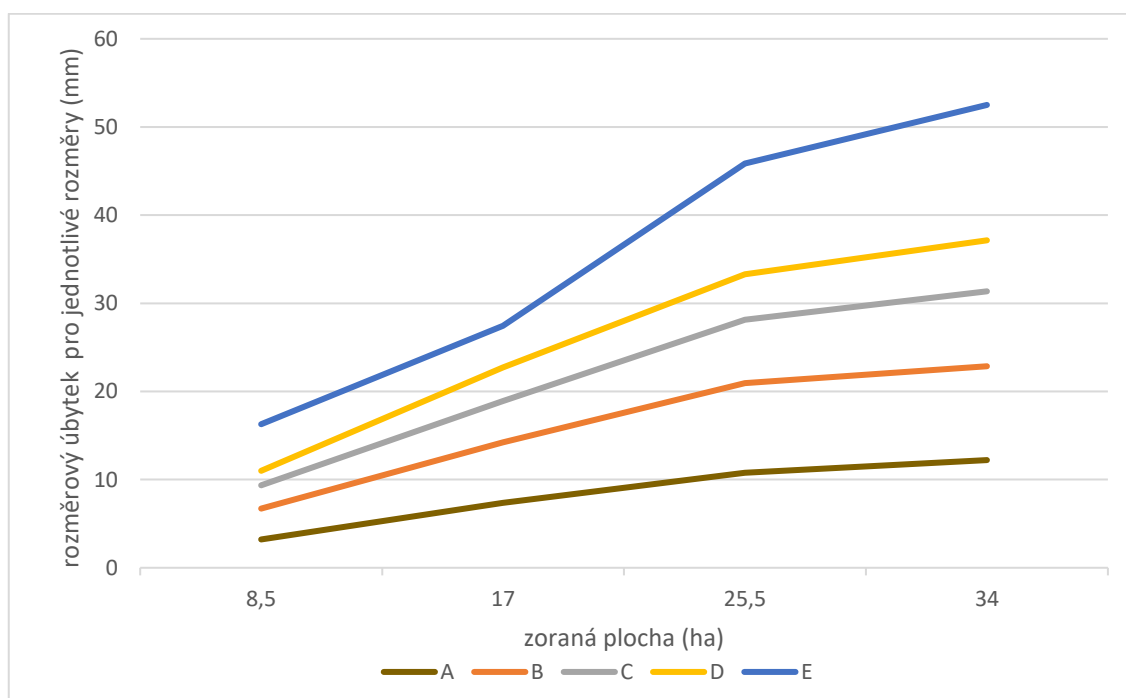
### 4.8.1.1 Navařené čepele

Obr. 23 Průběh rozměrových úbytků všech navařených čepelí



Na Obr. 23 je zobrazena závislost rozměrových úbytků navařených čepelí v závislosti na zorané ploše. Vstupními hodnotami pro graf jsou průměrné hodnoty rozměrových úbytků rozměrů A až E navařených čepelí. Koeficient determinace  $R^2 = 0,9666$  ukazuje na silnou závislost lineárního trendu. Z grafu je patrné, že rozměrový úbytek v závislosti na zorané ploše, je zhruba do 25,5 ha stejný. Po 25,5 hektarech došlo k menšímu rozměrovému úbytku.

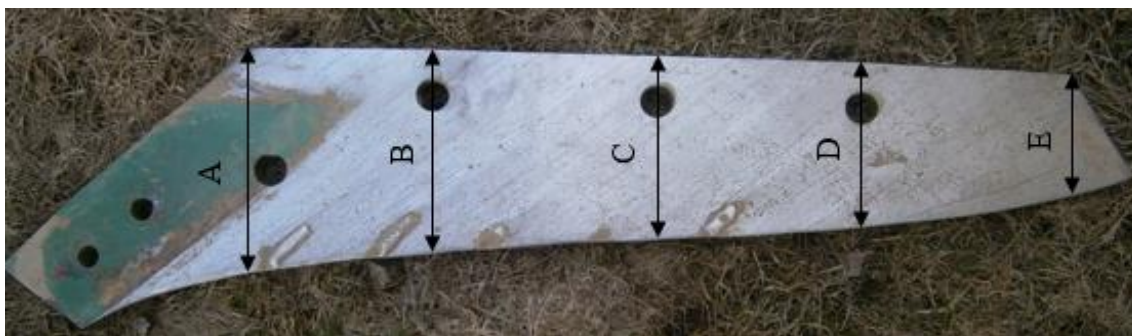
Obr. 24 Průběhy rozměrových úbytků pro jednotlivé rozměry všech navařených čepelí



Vstupními hodnotami pro graf (Obr. 24) jsou hodnoty z úbytků z jednotlivých měřených rozměrů A až E pro všechny navařené čepele v závislosti na zorané ploše. Z Obr. 24 a 25 je patrné, že opotřebení vzrůstá směrem k zadní části čepele (k její patě). Je to způsobeno tím, že v přední části čepele je umístěno vyměnitelné dláto, které přenáší větší namáhání a tím pádem u něho dochází k většímu opotřebení. Z tohoto důvodu mohou být jisté hodnoty zkreslené, protože některá dláta odpadávala během provozu stroje, a tak čepele byly vystaveny přímému opotřebení, a ne všechna dláta byla měněna ve stejný okamžik, proto na některé čepele působila jiná intenzita opotřebení. Dláto bylo měněno během experimentu jednou pro každou čepel.

Při pohledu na graf si lze všimnout, že úbytek čepele se zhruba po 25,5 hektarech snížil (křivka grafu změnila sklon). Bylo to způsobeno tím, že během posledních dnů experimentu začal velmi intenzivně foukat vítr a půda tím pádem rychle vysychat (str. 35, Tab. 4, vzorky 11 a 12). Protože půda byla vyhodnocena jako půda písčítá, byl potvrzen fakt o závislosti vlhkosti půdy na rozměrovém úbytku plužní čepele (str. 8, Obr. 4).

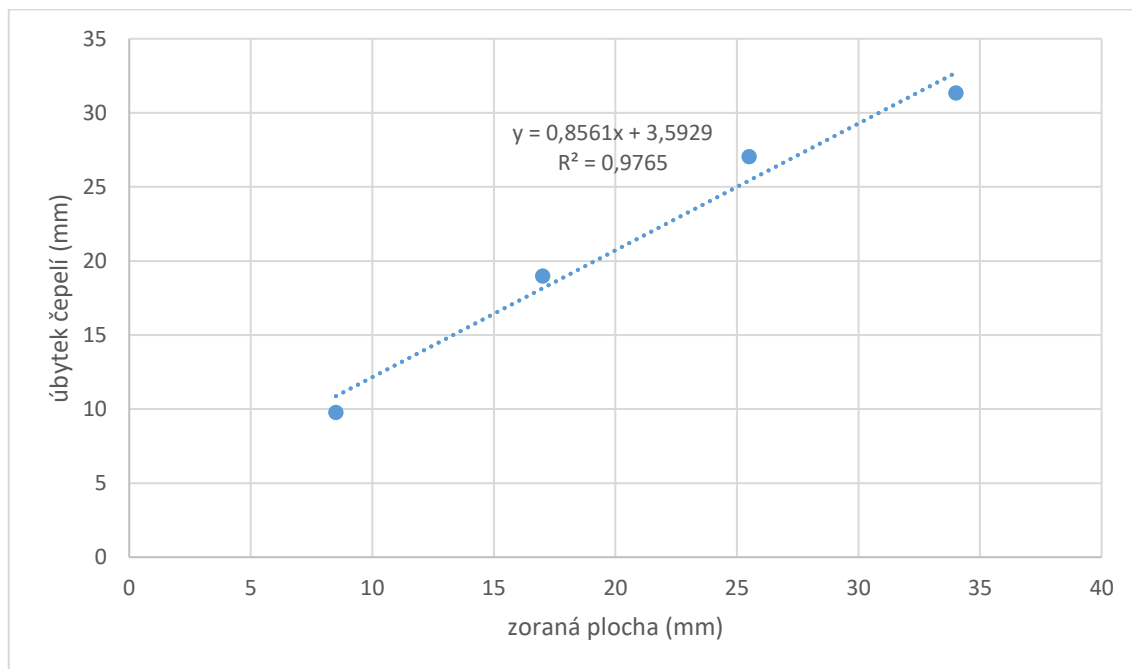
Obr. 25 Rozměrové úbytky čepele



Zdroj: [autor]

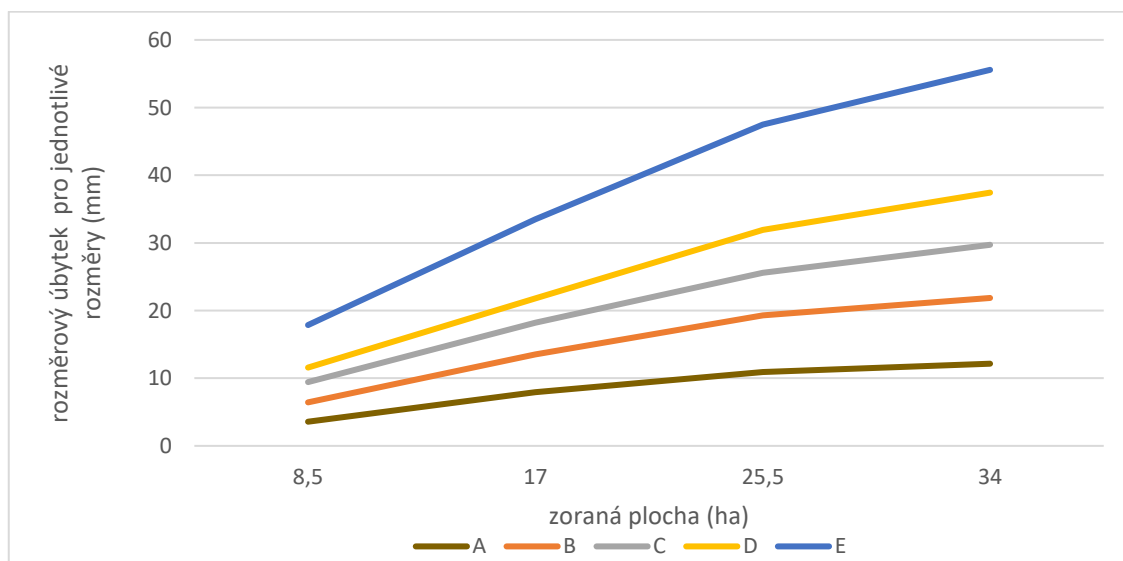
### 4.8.1.2 Etalony

Obr. 26 Průběh rozměrových úbytků všech etalonových čepelí



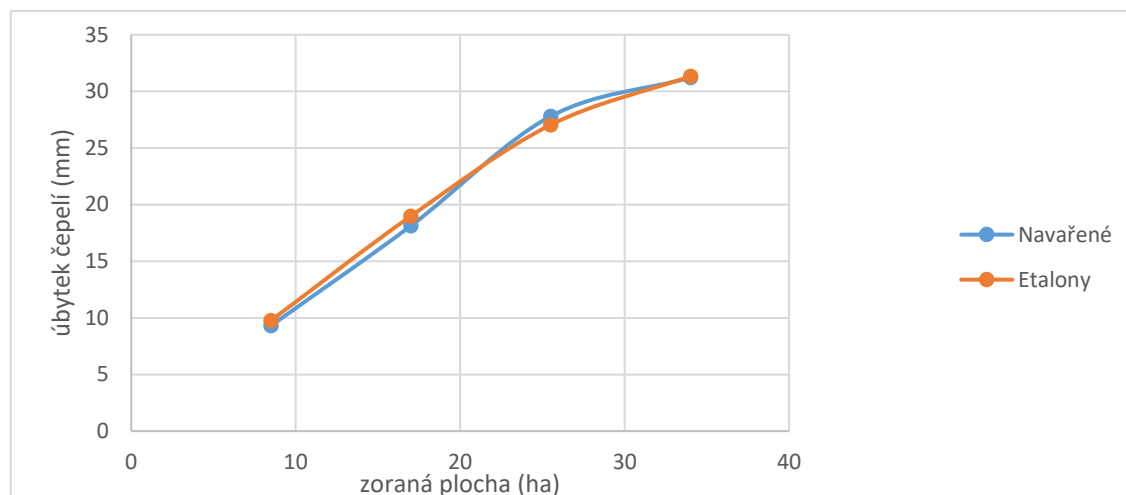
Na Obr. 26 je zobrazena závislost rozměrových úbytků etalonových na zorané ploše. Vstupními hodnotami pro graf jsou průměrné hodnoty rozměrových úbytků rozměrů A až E etalonových čepelí. Koeficient determinace  $R^2 = 0,9765$  ukazuje na silnou závislost lineárního trendu. I pro tento případ platí, že se rozměrový úbytek zhruba po 25,5 ha zmenšil. Důvod je stejný jako u navařených čepelí.

Obr. 27 Průběhy rozměrových úbytků pro jednotlivé rozměry všech etalonových čepelí



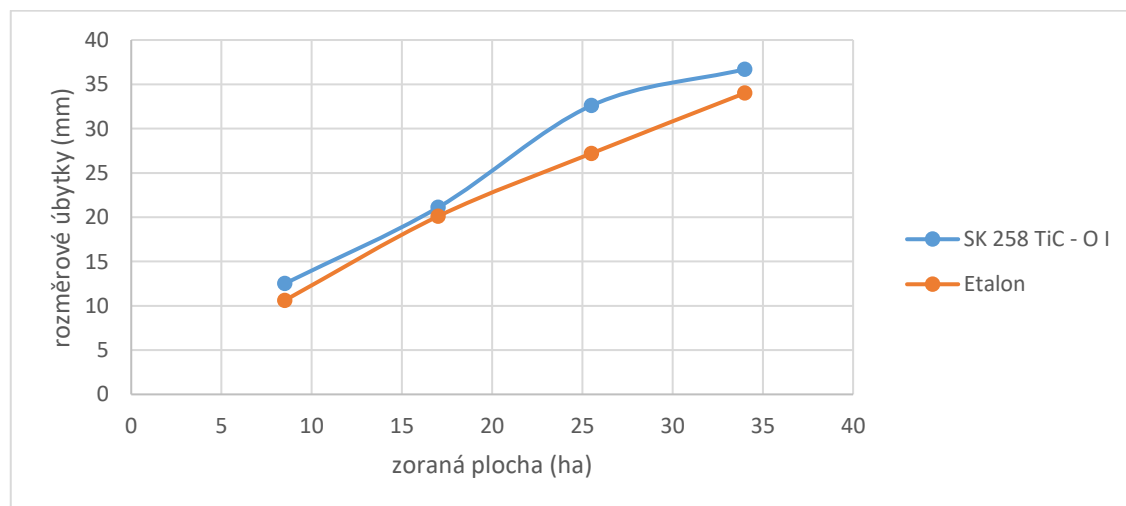
Vstupními hodnotami pro graf (Obr. 27) jsou hodnoty z úbytků z jednotlivých měřených rozměrů A až E pro všechny etalonové čepele v závislosti na zorané ploše. Z grafu je opět patrné, že se čepele opotřebovávají více směrem k jejich patě.

Obr. 28 Porovnání průběhu rozměrových úbytků všech navařených čepelí a etalonů



Na Obr. 28 je porovnán průběh rozměrových úbytků navařených čepelí a etalonů. Obrázek vznikl sloučením Obr. 23 a Obr. 26. Z grafu je vidět, že rozměrový úbytek etalonů byl v prvních zhruba 22 hektarech vyšší. Dle naměřených výsledků o 4,73 % než u navařených čepelí. V další části grafu, tedy od 22 hektarů, se navařené čepele opotřebovávaly o 2,8 % více než etalony a postupně docházelo ke stejným rozměrovým úbytkům. U etalonových čepelí byl lineárnější trend opotřebení ( $R^2 = 0,9765$ ) než u navařených ( $R^2 = 0,9666$ ).

Obr. 29 Porovnání průběhu rozměrových úbytků čepele s návarovým materiálem SK 258 TiC-O I a etalonem

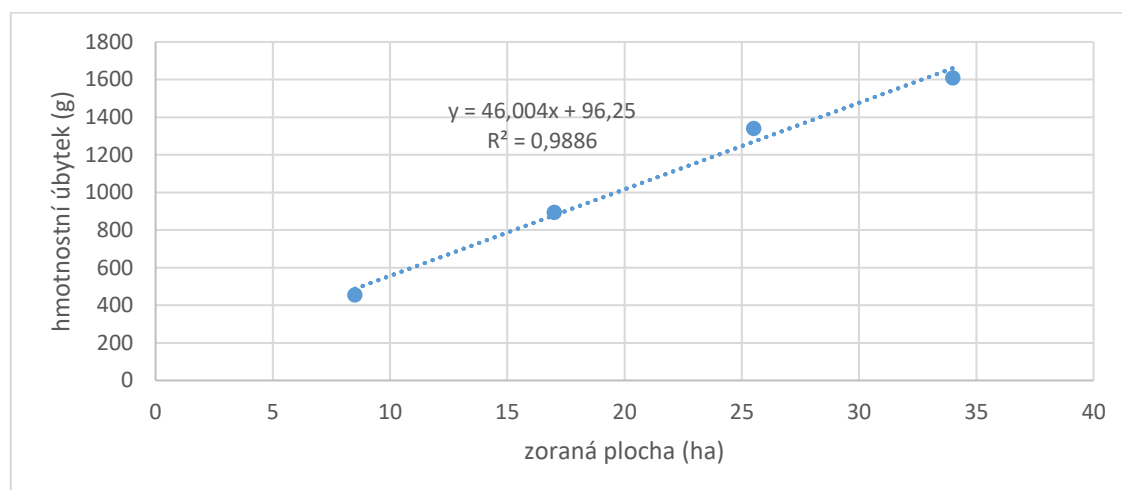


Na Obr. 29 je v grafu zobrazeno porovnání průběhu rozměrových úbytků čepel s návarovým materiálem SK 258 TiC-O a etalonu v závislosti na zorané ploše. Je patrné, že etalon vykazoval menší rozměrové úbytky v závislosti na zorané ploše a proto lze konstatovat, že nedošlo ke zvýšení životnosti čepel s návarovým materiálem. Na patě čepel, tedy na rozměru E, se navařená čepel opotřebovala na základě naměřených hodnot o 7,94 % více než etalon. Porovnání průběhu rozměrových úbytků pro ostatní čepel s návarovými materiály a etalony je obdobné jako u výše uvedeného materiálu SK 258 TiC-O a jednotlivé grafy těchto průběhů jsou uvedeny v příloze 4.

## 4.8.2 Hodnocení průběhu hmotnostních úbytků

### 4.8.2.1 Navařené čepel

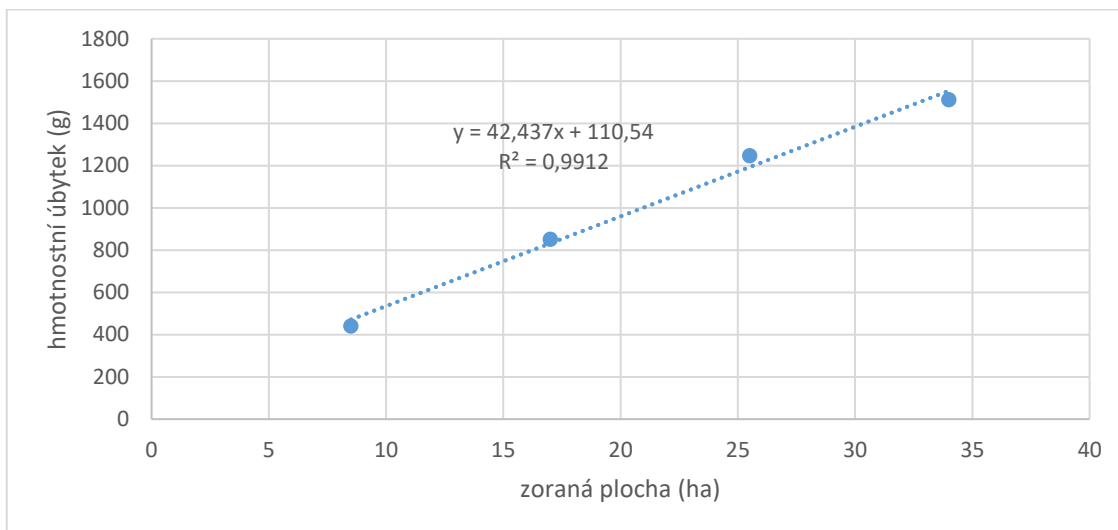
Obr. 30 Průběh hmotnostních úbytků všech navařených čepelí



Vstupními hodnotami pro Obr. 30 jsou průměrné hodnoty hmotnostních úbytků všech navařených čepelí v závislosti na zorané ploše. Koeficient determinace  $R^2 = 0,9886$  ukazuje na silnou závislost trendu lineárního opotřebení. Stejně jako u rozměrových úbytků si lze všimnout snižujícího se hmotnostního úbytku zhruba po 25,5 ha zorané plochy.

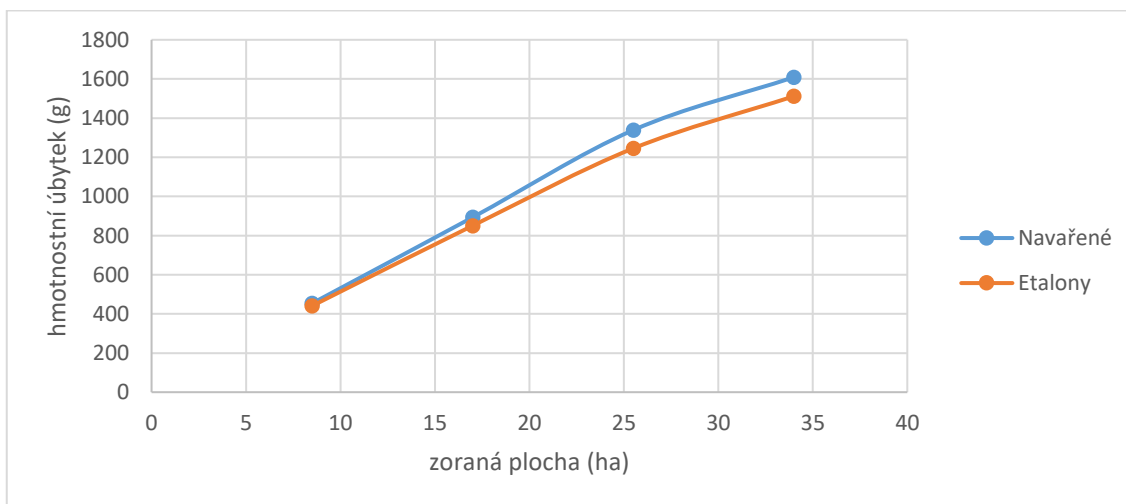
#### 4.8.2.2 Etalony

Obr. 31 Průběh hmotnostních úbytků všech etalonů



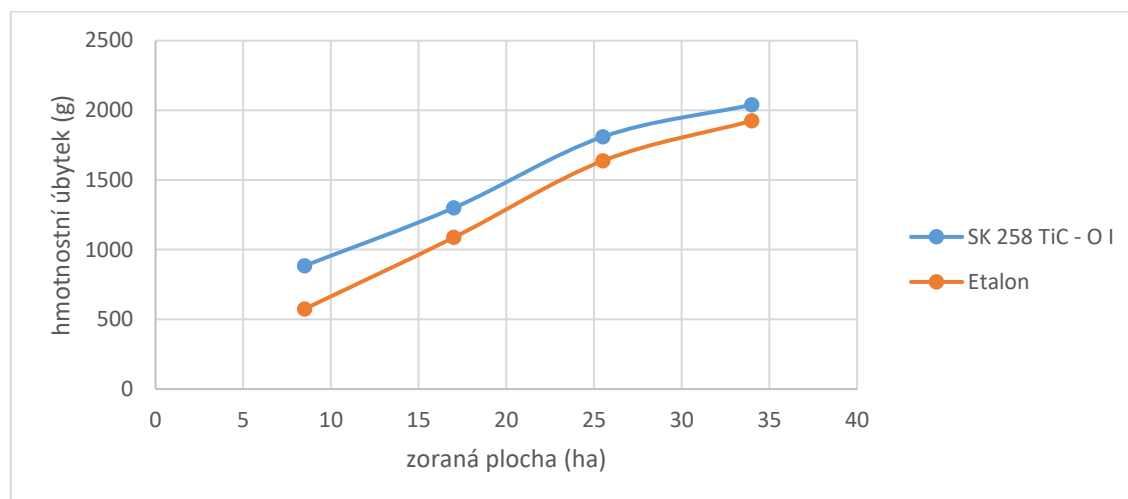
Vstupními hodnotami pro Obr. 31 jsou průměrné hodnoty hmotnostních úbytků všech navařených čepelí v závislosti na zorané ploše. Koeficient determinace  $R^2 = 0,9912$  ukazuje na silnou závislost trendu lineárního opotřebení. Opět jako u Obr. 29 si lze všimnout snižujícího se hmotnostního úbytku zhruba po 25,5 ha zorané plochy.

Obr. 32 Porovnání průběhu hmotnostních úbytků všech navařených čepelí a etalonů



Na Obr. 32 je vidět srovnání hmotnostních úbytků navařených čepelí a etalonů. Na základě naměřených hodnot mají navařené čepel ve výsledku o 5,97 % větší hmotnostní úbytek než etalony. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že nedošlo ke zvýšení životnosti navařených čepelí oproti etalonům.

Obr. 33 Porovnání průběhu hmotnostních úbytků čepel s návarovým materiálem SK 258 TiC-O a etalonem



Z Obr. 33 je patrné, že hmotnostní úbytek čepel s návarovým materiálem SK 258 TiC-O je na základě naměřených hodnot ve výsledku o 5,97 % vyšší než u etalonu. Lze tedy konstatovat, že nedošlo k zvýšení životnosti navařené čepel. Porovnání průběhu hmotnostních úbytků pro ostatní čepel s návarovými materiály a etalony je obdobné jako u výše uvedeného materiálu SK 258 TiC-O a jednotlivé grafy těchto průběhů jsou uvedeny v příloze 5.

### 4.8.3 Statistická analýza rozptylu experimentu

V průběhu experimentu bylo provedeno celkem 10 měření pro každou sadu plužních čepelí. Všechna měření jsou uvedena v tabulkách v příloze 1. Naměřené hodnoty byly podrobeny matematicko – statistickým analýzám. Pro vyhodnocení byla použita statistická metoda analýzy rozptylu tzv. Anova F-test (Analysis Of Variance).

Jak již bylo zmíněno výše, je potřeba vzít na vědomí, že během experimentu docházelo k samovolnému odpadávání dlát vlivem snižování jejich tloušťky a následnému odbroušení hlav šroubů. Z tohoto důvodu byla čepel vůči ostatním vystavena přímému

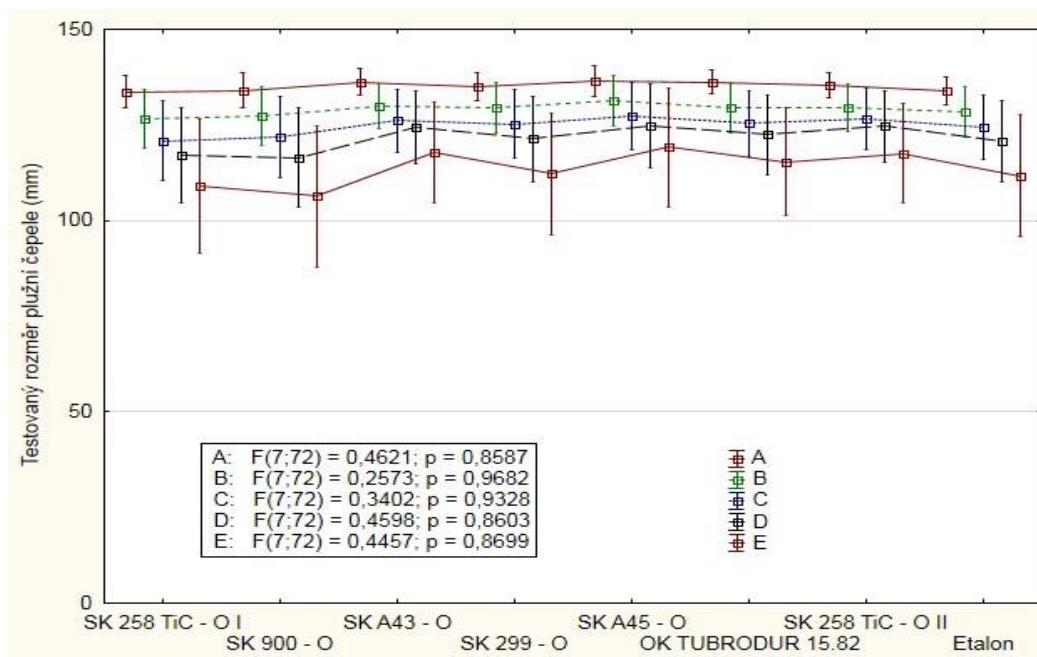
vlivu opotřebení. Tento problém byl vždy řešen až po zpozorování obsluhou stroje. Dalším faktorem ovlivňujícím naměřené hodnoty bylo, že nedocházelo k současné výměně všech dlát najednou, proto na některé čepele působila odlišná míra opotřebení.

#### 4.8.3.1 Statistická analýza rozměrových úbytků

Ke statistickému porovnání naměřených dat byl tedy použit Anova F-test. Za nulovou hypotézu  $H_0$  byl označen stav, kdy mezi jednotlivými porovnávanými soubory dat není z hlediska jejich středních hodnot statisticky významný rozdíl:  $p > 0.05$ .

Z hlediska statistického testování vlivu různých návarových materiálů je možné konstatovat, že se jedná o statisticky homogenní skupiny, tj. není rozdílu mezi variantami experimentu, tj. různými návary a etalonem (Obr. 34). Hypotéza  $H_0$  byla potvrzena, tj. není rozdílu v hladině významnosti 0,05 mezi jednotlivými testovanými variantami experimentu. Statisticky nebyl prokázán rozdíl mezi etalonem a různými návarovými materiály.

Obr. 34 Statistické testování vlivu různých návarových materiálů



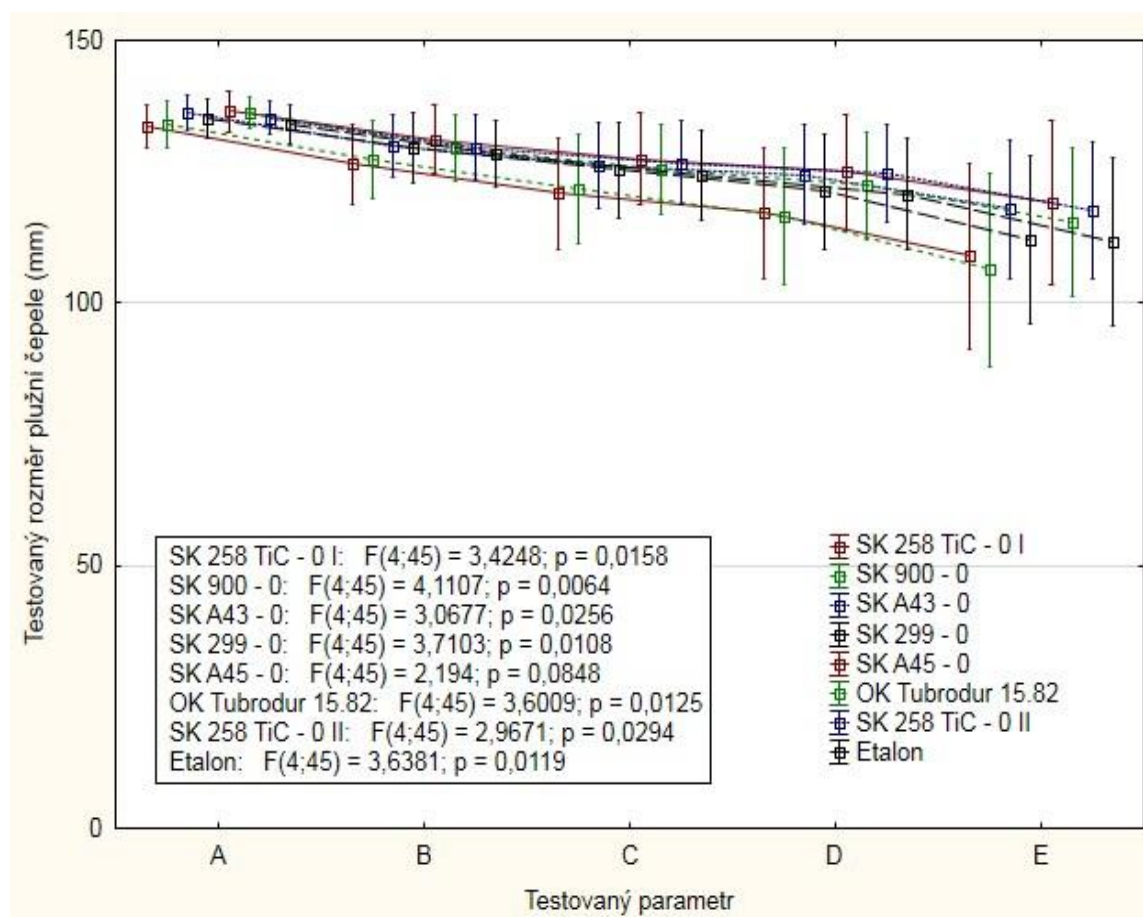
Z hlediska statistického testování rovnoměrnosti opotřebení pluzní čepele v celé délce ostří, tj. změny geometrického tvaru je možné konstatovat, že se jedná o statisticky nehomogenní skupiny, tj. je rozdíl mezi testovanými parametry (měřenými místy A, B, C, D a E).



Hypotéza  $H_0$  nebyla potvrzena, tj. je rozdíl v hladině významnosti 0,05 mezi jednotlivými testovanými variantami experimentu (SK 258 TiC-O I, SK 900-O, SK A43-O, SK 299-O, OK TUBRODUR 15.82, SK 258 TiC-O II a etalonu). Z výše uvedeného vyplývá, že plužní čepel se opotřebovává nerovnoměrně. Tento statistický závěr naměřených dat je podložen výsledky uvedenými na Obr. 35.

Tento závěr nebyl potvrzen u návaru SK A45 – O, kde  $p = 0,0848$ . U tohoto návaru nebyla hypotéza  $H_0$  potvrzena, tj. není rozdíl v hladině významnosti 0,05 mezi jednotlivými testovanými místy měření A až E. Statisticky nebyl prokázán rozdíl mezi etalonem a různými návarovými materiály.

Obr. 35 Statistické testování rovnoměrnosti opotřebení plužní čepel



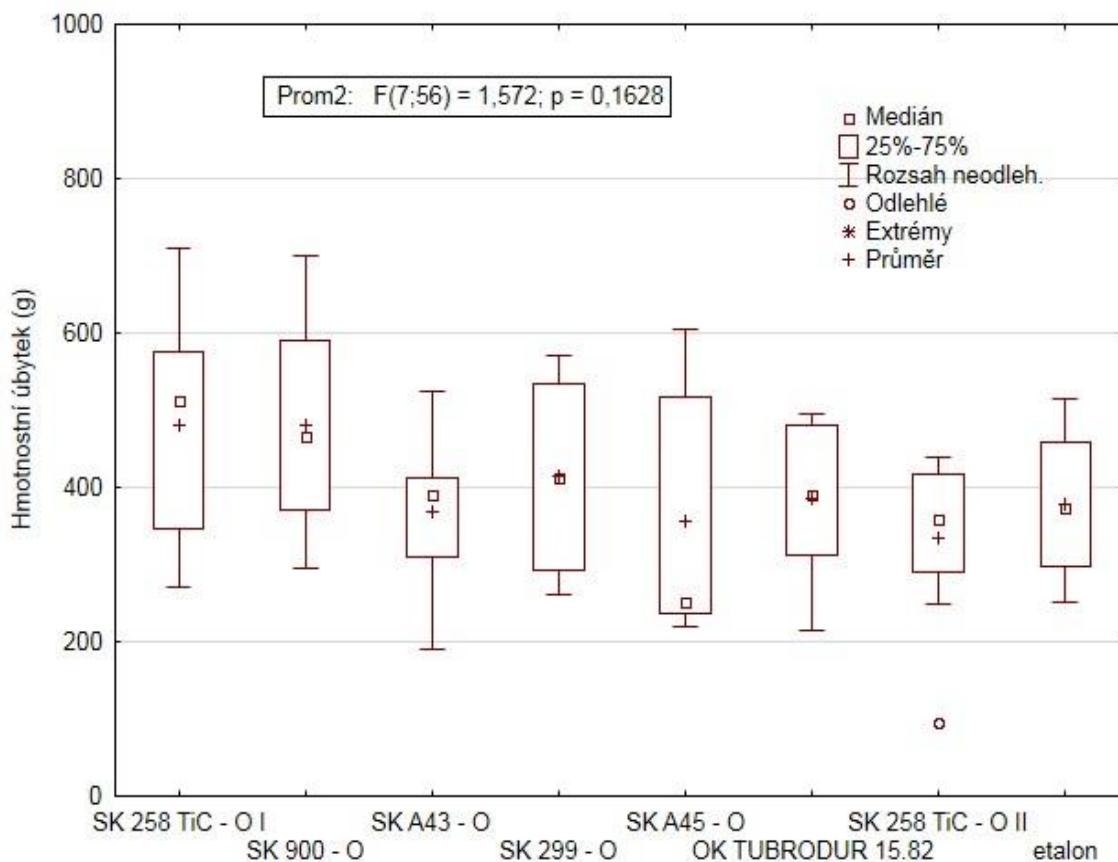
#### 4.8.3.2 Statistická analýza hmotnostních úbytků

Ke statistickému porovnání naměřených dat byl také použit *Anova F-test*. Za nulovou hypotézu  $H_0$  byl označen stav, kdy mezi jednotlivými porovnávanými soubory dat není z hlediska jejich středních hodnot statisticky významný rozdíl:  $p > 0,05$ .

Z hlediska statistického testování hmotnostních úbytků u jednotlivých variant je možné konstatovat, že se jedná o statisticky homogenní skupiny, tj. není rozdílu mezi testovanými parametry variant experimentů.

Hypotéza  $H_0$  byla potvrzena, tj. není rozdílu v hladině významnosti 0,05 mezi jednotlivými testovanými variantami experimentu (SK 258 TiC-O I, SK 900-O, SK A43-O, SK 299-O, OK TUBRODUR 15.82, SK 258 TiC-O II a etalonu)  $p = 0,1628$ . Z výše uvedeného vyplývá, že plužní čepel se opotřebovává stejně při použití návarových materiálů a etalonu.

Obr. 36 Statistické testování hmotnostních úbytků u jednotlivých variant



## 4.9 Diskuze výsledků

Byl potvrzen výsledek experimentu autora *Natsise a kol., 1999* o závislosti vlhkosti půdy na rozměrovém úbytku čepelí v určitých typech půd. Dle grafu (str. 8, Obr. 4) je patrné, že se snižující se vlhkostí rozměrový úbytek klesá u písčitéch typů půd. Půda pro experiment byla vyhodnocena zrnitostním rozbořem katedrou pedologie FAPPZ jako půda písčitá. Prvních deset dnů probíhal experiment při průměrné hodnotě vlhkosti půdy  $9,80 \pm 0,88$  %. Jedenáctý a dvanáctý den experimentu začal velmi intenzivně foukat vítr a půda začala velmi rychle vysychat a došlo tak ke snížení vlhkosti půdy na průměrných  $6,92 \pm 0,18$  %. Z tohoto důvodu došlo ke snížení rozměrového úbytku. Mezi jednotlivými měřeními (8,5 – 17 – 25,5 ha) byl rozměrový úbytek průměrně 9,3 mm. V poslední části experimentu (25,5 – 34 ha) rozměrový úbytek klesl na 3,4 mm.

Z hlediska hodnocení průběhu rozměrových úbytků všech navařených čepelí s etalonu došlo na konci experimentu k téměř stejnému rozměrovému úbytku. Rozměrový úbytek navařených čepelí byl na konci experimentu jen o 0,41 % menší než u etalonů. Koeficient determinace je vyšší u etalonů ( $R^2 = 0,9765$ ) než u navařených čepelí ( $R^2 = 0,9666$ ).

Rozhodujícím faktem, zda se zvýšila životnost navařené čepelí vůči etalonu, je rozměr naměřený na patě čepelí (v našem případě rozměr E). U čepelí s návarovým materiálem SK A43-O došlo k snížení opotřebení vůči etalonu o 17,6 %. Lze tedy konstatovat, že se životnost takto upravené čepelí vůči etalonu zvýšila. U materiálu SK A45-O došlo ke snížení opotřebení vůči etalonu na rozměru E o 1,1 % a u materiálu OK TUBRODUR 15.82 o 3,7 %. Vzhledem k pořizovacím nákladům takto upravených čepelí lze konstatovat, že se úprava nevyplatí. U materiálu SK A43-O došlo ke zvýšení ceny čepelí o 46,96 %, u materiálu SK A45-O o 54,29 % a u materiálu OK TUBRODUR 15.82 o 50,12 %.

U materiálů SK 900-O došlo dokonce na rozměru E ke snížení životnosti vůči etalonu o 7,8 % a u materiálu SK 258 TiC-O I o 7,9 %. Bylo to způsobeno s největší pravděpodobností tepelným ovlivněním základního materiálu čepelí v okolí návaru. Došlo k popuštění a následnému vyměknutí materiálu v okolí návaru a tím pádem k většímu abrazivnímu opotřebení.

Na základě naměřených dat mají navařené čepel ve výsledku o 5,97 % větší hmotnostní úbytek než etalony. Koeficient determinace je vyšší u etalonů ( $R^2 = 0,9912$ ) než u navařených čepelí ( $R^2 = 0,9886$ ). S největší pravděpodobností došlo během navaření k tepelnému ovlivnění základního materiálu i přes to, že byly provedeny krátké sváry a před navařením každé další housenky nastala časová prodleva k vychladnutí čepel.

Ze statistické analýzy rozptylu bylo zjištěno, že z hlediska vlivu různých návarových materiálů se jedná o statisticky homogenní skupiny, tj. není rozdíl mezi variantami experimentu, tj. různými návary a etalonem (Obr. 34). Z hlediska statistického testování rovnoměrnosti opotřebení plužní čepel v celé délce ostří, tj. změny geometrického tvaru je možné konstatovat, že se jedná o statisticky nehomogenní skupiny, tj. je rozdíl mezi testovanými parametry (měřenými místy A, B, C, D a E). Z výše uvedeného vyplývá, že plužní čepel se opotřebovává nerovnoměrně (Obr. 35). Tento závěr nebyl potvrzen u návary SK A45-O, kde  $p = 0,0848$  (Obr. 35).

Z hlediska statistického testování hmotnostních úbytků u jednotlivých variant je možné konstatovat, že se jedná o statisticky homogenní skupiny, tj. není rozdíl mezi testovanými parametry variant experimentů. Z výše uvedeného vyplývá, že plužní čepel se opotřebovává stejně při použití návarových materiálů a etalonu (Obr. 36).

Protože byly housenky na čepel navařeny s roztečí 60 mm, na všech čepelích vznikl pilovitý efekt. Rozteč housenek byla volena na základě výsledků experimentů jiných autorů a po konzultaci s vedoucím práce.

Plužní čepel mají v přední části čepel vyměnitelné dláto, které přebírá větší část opotřebení. Zvyšuje se tak opotřebení směrem k zadní části čepel. Je tedy předmětem dalšího výzkumu zajistit vyšší odolnost proti opotřebení zadní části čepel. V dnešní době se využívá přivaření dvou opotřebovaných čepelí pod sebe, takže se zvětší plocha, která je nadále schopna plnit svou funkci zpracování půdy.

## 5 ZÁVĚR

U strojů na zpracování půdy dochází vlivem interakce s půdou k abrazivnímu opotřebením. Změnou tvaru způsobenou tímto opotřebením dochází nejen ke zhoršení kvality zpracovávané půdy, ale i růstu nákladů na provoz těchto strojů. Výrobci strojů se snaží ve spolupráci se samotnými uživateli nalézt taková řešení, která by tyto negativní dopady minimalizovala.

Odhadem je až 60 % veškerých poruch na strojích a zařízeních způsobeno opotřebením. U strojů zpracovávajících půdu převládá abrazivní opotřebením, které je charakterizované oddělováním částic z funkčního povrchu vlivem tvrdého a drsného povrchu (půda, písek, kameny apod.) druhého tělesa. Podmínky, které nelze při provozu strojů zpracovávajících půdu ovlivnit, je vlhkost půdy, druh půdy a utužení půdy. Vysokou intenzitu opotřebením lze tedy minimalizovat dokonalejšími materiály použitými na výrobu nástrojů nebo použitím metod renovace, které povedou ke zvýšení životnosti těchto nástrojů. V krajním případě lze volit pořízení nové součásti.

Tato diplomová práce je zaměřena na zvyšování životnosti strojů zpracovávajících půdu užitím návarových materiálů. Veškeré cíle, stanovené na začátku, byly splněny. Na České zemědělské univerzitě se touto problematikou zabývají zaměstnanci Katedry materiálu a strojírenské technologie. Na základě konzultací s vedoucím práce byl zvolen postup, jakým způsobem budou čepele upraveny. Zvolena byla metoda šikmých návarů na základě známých výsledků jiných experimentů. Důvodem pro použití této metody byl předpoklad vzniku tzv. pilovitého efektu plužní čepele, který má pozitivní vliv efektivitu na zpracování půdy jako je např. kvalita zpracování půdy a spotřeba pohonných hmot. Tento efekt vzniká v místech, kde je méně materiálu nebo je materiál méně odolný proti abrazivnímu opotřebením. Na základě výsledků jednoho z výzkumů Katedry materiálu a strojírenské technologie byla potvrzena efektivita orby s čepelemi s pilovitým ostřím na základě subjektivních pocitů obsluhy stroje, který je reprezentantem České republiky v orbě.

Výsledky experimentu potvrzují mírné zvýšení životnosti čepelí s návarovým materiálem SK A43-O (o 17,6 % vůči etalonu), SK A45-O (1,1 %) a OK TUBRODUR 15.82 (3,7 %). Pokud však vezmeme v potaz ekonomiku navaření, úprava čepelí se příliš nevyplatí (str. 43, Tab. 16). U některých čepelí s návarovým materiálem došlo i k nežádoucím

účinkům. Aspektem, který tento účinek ovlivňuje, je tepelné ovlivnění základního materiálu. Samotný návar vykazuje vyšší tvrdost a odolnost, ale v jeho okolí dojde ke zhoršení vlastností jako je např. snížení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení. Bylo by tedy vhodné provést experiment, kdy jsou návary ihned po navaření tepelně zpracovány a následně řízeně schlazeny, což by mělo minimalizovat tento negativní dopad. Z výsledků experimentu vyplývá, že se čepel s vyměnitelným opotřebovávají více směrem k jejich patě. Je to způsobeno tím, že dláto přebírá v přední části větší namáhání a tím i opotřebení. Bylo by tedy vhodné se zaměřit při dalších experimentech na zadní část čepel.

Na základě výsledků experimentů zabývajících se zvyšováním životnosti plužních čepelí jsou potvrzeny kladné účinky navařování, ale z ekonomického hlediska je tato úprava ve většině případů nevýhodná.

Navařování není jediná metoda pro zvyšování životnosti plužních čepelí. Další zajímavou metodou pro experiment je např. také povlakování apod. Je předmětem zájmu materiálových inženýrů, výrobců, ale i vědců, se touto problematikou nadále zabývat a hledat nové postupy a řešení.

## 6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] KOLÁŘ, V. *Materiály používané pro zvýšení životnosti zemědělských strojů zpracovávajících půdu*. Praha, 2015. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita. Vedoucí práce Ing. Petr Hrabě, PhD.

[2] BAYHAN, Y. Reduction of wear via hardfacing of chisel ploughshare. *Tribology International*. 2006, roc. 39, c. 6, s. 570-574. ISSN 0301679x. DOI: 10.1016/j.triboint.2005.06.005. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X05001702>

[3] NATSIS, A., G. PETROPOULOS a C. PANDAZARAS Influence of local soil conditions on mouldboard ploughshare abrasive wear. *Tribology International*. 2008, roc. 41, c. 3, s. 151-157. ISSN 0301679x. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.06.002. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X07001077>

[4] ŠARAPATKA, B. *Pedologie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1996. 235 s. ISBN 80-7067-590

[5] KOSTENCKI, P, R NOWOWIEJSKI a J. B. DAWIDOWSKI Wear resistance of plough shares under differentiated soil conditions. *Problémy Inżynierii Rolniczej*. 2004, roc. 12, c. 1, s. 35-42.

[6] NATSIS, A, G PAPADAKIS a J PITSILIS The influence of soil type, soil water and share sharpness of a mouldboard plough on energy consumption, rate of work and tillage quality. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1999, roc. 42, c. 2, s. 171-176

[7] LEGÁT, V, V JURČA a Z. ALEŠ Contribution to plough shares and chisels useful life optimization. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 2011, roc. 42, c. 2, s. 73-78. ISSN 1211-3174. DOI: 1211-3174.

- [8] MÜLLER, M. a kol. Inovace materiálově konstrukčních řešení plužní čepele v oblasti konvenčního zpracování půdy při pěstování cukrové řepy. *Listy cukrovarnické a řepářské*. 2014, (3), s. 94-99.
- [9] FERGUSON, S. A., J. M. FIELKE a T. W. RILEY Wear of Cultivator Shares in Abrasive South Australian Soils. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1998, roc. 69, c. 2, s. 99-105. ISSN 00218634. DOI: 10.1006/jaer.1997.0182. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863497901827?via%3Dihub>
- [10] BÍLEK, P. a kol. *Metodika hodnocení strukturních změn v ocelích při tepelném zpracování*. 2010. Dostupné z: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf/BilekPavel-336906.pdf>
- [11] REJŠEK, K. *Lesnická pedologie: cvičení*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999, 152 s. ISBN 80-715-7352-3.
- [12] HONSOVÁ, D. *Vlhkost půdy a metody jejího měření* [online]. 2008 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=1101>
- [13] HAVLÍČEK, J. a kol. *Provozní spolehlivost strojů* (2. přepracované vydání). Praha, SNZ, 1989, 616 s., ISBN 80-209-0029-2
- [14] POŠTA, J. *Technologie údržby a oprav strojů*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 1995, 193 s., ISBN 80-213-0248-8
- [15] BŘEZINA, R. *Abrzivní opotřebení konstrukčních materiálů a návarů*. Brno, 2005. Disertační práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
- [16] POŠTA, J. a kol. *Renovace strojních součástí*. 2. vyd. Praha: SVÚM, 1998, 160 s. ISBN 80-902-0156-3.
- [17] ESAB. *Dílenská příručka*. Vamberk, 2008. Dostupné z: [http://products.esab.com/ESABImages/opravy\\_renovace.pdf](http://products.esab.com/ESABImages/opravy_renovace.pdf)



- [18] HOREJŠ, S. *Povlakování nástrojů metodou PACVD*. MM průmyslové spektrum. 2008, c. 4, s. 60.
- [19] HOREJŠ, S. *Trendy v povlakování slinutých karbidu*. MM průmyslové spektrum. 2001, c. 7, s. 43.
- [20] QUICK, D. Diamond-like carbon-coated plows to save fuel by sliding through the soil. *www.gizmag.com* [online]. 26. 7. 2011 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/dlc-coated-plows/19334/>
- [21] VOTAVA, J. *Abrazivní opotřebení zušlechtěné litiny*. Brno, 2006. Disertační práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
- [22] *Hodnocení odolnosti návaru proti abrazivnímu opotřebení*. MM průmyslové spektrum. 2003, c. 11, s. 52.
- [23] BAJDA, M. *Navarování kovu- 6. část*. Svět svaru. 2007, c. 2, s. 4-5.
- [24] BAJDA, M. *Navarování kovu- 1. část*. Svět svaru. 2006, c. 2, s. 5-6.
- [25] BAJDA, M. *Navarování kovu- 2. část*. Svět svaru. 2005, c. 2, s. 4-5.
- [26] JANOUŠEK, M. *Zařízení pro testování abrazivního opotřebení* [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-02-18]. ČVUT FS.
- [27] HORÁČEK, J. *Materiálové úpravy pluzních čepelí*. [online]. 1. 1. 2000 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/materialove-upravy-pluznich-cepeli/>
- [28] *Ochrana proti opotřebení otěrem* [online]. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.renomag.cz/sluzby/opravy-lzic-lopat-a-vylozniku/ochrana-proti-opotrebeni-otěrem/>

[29] VALLA, Miloš. *Pedologické praktikum*. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002. ISBN 80-213-0914-8.

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Metodika měření jednotlivých rozměrů plužní čepel
- Obr. 2 Plužní čepel od společnosti Vogel Noot s navařeným CDP prutem na ostří čepel
- Obr. 3 Rýhování plužní čepel a vylomení návaru vlivem působení abrazivních částic
- Obr. 4 Závislost vlhkosti půdy na rozměrovém úbytku plužní čepel
- Obr. 5 Systém plužních čepelí QUICK FIT<sup>®</sup> společnosti Kverneland
- Obr. 6 Schéma strukturních změn při navařování ocelí
- Obr. 7 Mřížový styl navařování
- Obr. 8 Bodový styl navařování
- Obr. 9 Vaflový styl navařování
- Obr. 10 Vodorovný styl navařování
- Obr. 11 Šikmý návar na ostří čepel
- Obr. 12 Vodorovný návar na zadní straně čepel společnosti Lemken
- Obr. 13 Kolmý návar na ostří čepel (vlevo) a návar na hrot podrývák (vpravo)
- Obr. 14 Polní zkouška u špičky radlice (vlevo bez povlaku, vpravo s povlakem)
- Obr. 15 Rozložení sil a jejich velikost v ohýbaném materiálu
- Obr. 16 Parametry sledované při rozměrové analýze
- Obr. 17 Princip laboratorních zkoušek opotřebení
- Obr. 18 Traktor Fendt 936 Vario s pluhem Kverneland PB 100
- Obr. 19 Uchycení čepel do speciálního přípravku
- Obr. 20 Svařovací automat ESAB
- Obr. 21 Umístění vzorků půdy k vysušení v peci
- Obr. 22 Samoostřicí (pilovitý) efekt plužní čepel
- Obr. 23 Průběh rozměrových úbytků všech navařených čepelí
- Obr. 24 Průběhy rozměrových úbytků pro jednotlivé rozměry všech navařených čepelí
- Obr. 25 Rozměrové úbytky čepel
- Obr. 26 Průběh rozměrových úbytků všech etalonových čepelí
- Obr. 27 Průběhy rozměrových úbytků pro jednotlivé rozměry všech etalonových čepelí
- Obr. 28 Porovnání průběhu rozměrových úbytků všech navařených čepelí a etalonů
- Obr. 29 Porovnání průběhu rozměrových úbytků čepel s návarovým materiálem SK 258 TiC-O a etalonem

- Obr. 30 Průběh hmotnostních úbytků všech navařených čepelí  
Obr. 31 Průběh hmotnostních úbytků všech etalonů  
Obr. 32 Porovnání průběhu hmotnostních úbytků všech navařených čepelí a etalonů  
Obr. 33 Porovnání průběhu hmotnostních úbytků čepelí s návarovým materiálem SK 258 TiC-O a etalonem  
Obr. 34 Statistické testování vlivu různých návarových materiálů  
Obr. 35 Statistické testování rovnoměrnosti opotřebení plužní čepelí  
Obr. 36 Statistické testování hmotnostních úbytků u jednotlivých variant

## **Seznam tabulek**

- Tab. 1 Rozdělení půdy podle procenta obsahu částic menších než 0,01mm  
Tab. 2 Mechanické vlastnosti  
Tab. 3 Chemické složení  
Tab. 4 Relativní vlhkosti půdy  
Tab. 5 Zrnitostní složení půdy  
Tab. 6 Směrné chemické složení návarového materiálu SK 258 TiC-O  
Tab. 7 Směrné chemické složení návarového materiálu SK 900-O  
Tab. 8 Směrné chemické složení návarového materiálu SK A43-O  
Tab. 9 Směrné chemické složení návarového materiálu SK A 299-O  
Tab. 10 Směrné chemické složení návarového materiálu SK A 45-O  
Tab. 11 Směrné chemické složení návarového materiálu OK TUBRODUR 15.82  
Tab. 12 Hodnoty parametrů pro navařování  
Tab. 13 Množství navařeného materiálu  
Tab. 14 Ceny návarových materiálů za jeden kilogram  
Tab. 15 Celkové náklady na navaření jednotlivých čepelí  
Tab. 16 Procentuální zvýšení ceny plužních čepelí

# PŘÍLOHY

## Příloha 1 Tabulky rozměrových úbytků na měřených místech A až E pro jednotlivé čepěle

- A až E je měřený rozměr,
- označení A1, A2 – návarový materiál SK TiC-O; B1, B2 – SK 900-O; C1, C2 – SK A43-O; D1, D2 – SK 299-O; E1, E2 – SK A45-O; F1, F2 – OK TUBRODUR 15.82; G1, G2 – SK TiC-O
- označení 11 až GG – etalony

### NAVA- ŘENÉ

0 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
A	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
B	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
C	142	142	142	143	142	142	143	142	143	143	143	142	142	142
D	142	142	143	143	142	142	143	142	142	142	143	143	143	142
E	142	142	142	142	143	142	142	142	142	142	142	143	143	143

### ETALONY

0 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
A	142	142	143	142	143	142	142	139	138	139	142	139	139	140
B	142	142	142	143	142	142	142	138	138	139	142	139	139	139
C	142	142	143	142	142	142	143	140	139	139	142	139	139	139
D	142	142	142	142	142	142	142	141	140	141	142	140	139	141
E	143	142	142	142	142	142	142	142	143	143	143	144	142	144

**NAVA-  
ŘENÉ**

Zoráno 34 ha

8,5 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
A	136	137	140	138	142	138	138	138	139	140	139	140	140	138
B	133	133	135	136	141	136	136	133	135	135	136	136	135	134
C	129	129	135	134	140	135	135	129	132	132	133	135	132	132
D	126	126	135	130	139	134	134	128	129	132	131	134	131	131
E	120	118	130	124	123	126	130	123	125	130	126	134	128	127

**ETALONY**

8,5 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
A	139	140	139	139	140	139	139	136	134	135	137	134	134	137
B	136	137	137	137	139	137	137	130	131	134	133	131	129	131
C	132	135	134	134	137	135	134	128	129	130	129	128	126	130
D	131	133	133	133	136	134	133	126	128	122	125	128	123	131
E	127	129	130	129	136	130	130	120	121	116	114	120	116	128

**NAVA-  
ŘENÉ**

Zoráno 68 ha

17 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
A	133	132	136	134	133	135	134	134	135	136	135	138	136	134
B	124	124	128	128	130	127	130	126	128	129	129	131	128	127
C	118	118	125	122	122	126	129	120	123	125	125	128	123	124
D	112	112	122	116	116	118	126	117	119	124	123	128	121	122
E	112	98	114	113	113	116	117	114	112	124	118	127	116	118

**ETALONY**

17 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
A	134	136	135	135	137	136	135	132	130	128	131	130	130	132
B	128	131	131	132	134	131	130	123	124	120	125	123	122	126
C	123	127	126	128	130	127	126	119	120	114	120	119	116	123
D	119	124	124	124	130	125	124	116	116	107	114	116	112	122
E	110	114	119	115	128	116	115	106	104	86	98	101	100	115

**NAVA-  
ŘENÉ**

Zoráno 102 ha

25,5 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
A	127	125	129	128	128	131	131	131	133	135	133	137	135	134
B	114	114	119	119	119	119	119	120	123	126	124	129	125	125
C	104	105	113	111	111	112	112	114	115	120	119	125	118	120
D	97	96	109	103	103	106	106	111	106	120	113	124	115	119
E	78	77	97	85	85	92	92	98	93	111	100	125	107	110

**ETALONY**

25,5 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
A	133	132	131	130	134	132	131	129	126	127	129	127	128	130
B	124	122	124	124	128	125	124	112	119	117	121	119	118	122
C	118	115	117	118	124	118	117	110	113	109	115	113	111	117
D	112	108	113	111	121	114	114	103	105	99	106	106	104	115
E	112	91	106	96	118	99	103	86	88	75	85	84	87	101

**NAVA-  
ŘENÉ**

Zoráno 136 ha

34 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
A	125	124	129	127	128	130	130	129	131	133	133	135	133	130
B	112	112	119	116	116	118	121	119	120	124	123	126	122	120
C	100	101	112	107	108	110	115	110	110	115	116	121	114	115
D	90	92	107	99	100	104	111	107	100	110	112	120	110	112
E	70	69	95	79	79	87	99	91	87	94	93	119	97	98

**ETALONY**

34 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
A	129	130	132	130	133	132	130	127	125	125	128	125	126	130
B	118	120	123	122	126	122	121	115	115	113	119	115	115	119
C	109	110	115	116	121	115	113	107	106	103	111	109	108	114
D	100	100	110	107	119	109	110	100	97	91	102	100	99	110
E	84	80	100	91	115	94	98	82	77	67	79	75	80	96



## Příloha 2 Tabulky hmotnostních úbytků pro jednotlivé čepele

### NAVAŘENÉ

0 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
m [kg]	6,660	6,830	6,660	6,915	6,900	6,850	6,660	6,745	6,775	6,870	6,740	6,745	6,765	6,775

### ETALONY

0 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
m [kg]	7,010	7,010	6,685	6,710	6,845	6,995	6,725	6,710	6,580	5,770	5,795	6,410	6,100	5,940

### NAVAŘENÉ

Zoráno 34 ha

8,5 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
m [kg]	6,075	6,225	6,260	6,385	6,395	6,360	6,320	6,180	6,320	6,485	6,300	6,515	6,360	6,355

### ETALONY

8,5 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
m [kg]	6,525	6,605	6,355	6,360	6,600	6,605	6,365	5,425	5,980	5,155	6,100	5,845	5,630	5,560

### NAVAŘENÉ

Zoráno 68 ha

17 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
m [kg]	5,535	5,650	5,865	5,845	5,865	5,865	5,945	5,695	5,845	6,170	5,915	6,260	5,985	5,940

### ETALONY

17 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
m [kg]	6,030	6,210	5,985	5,970	6,350	6,235	5,985	5,090	5,435	4,655	5,595	5,370	5,235	5,230

**NAVAŘENÉ**

Zoráno 102 ha

25,5 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
m [kg]	4,825	4,950	5,340	5,275	5,260	5,395	5,505	5,305	5,425	5,865	5,605	6,040	5,665	5,690

**ETALONY**

25,5 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
m [kg]	5,410	5,590	5,590	5,480	6,015	5,745	5,600	4,690	5,025	4,375	5,325	5,040	4,980	4,980

**NAVAŘENÉ**

Zoráno 136 ha

34 ha	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
m [kg]	4,520	4,655	5,150	5,015	5,015	5,180	5,410	5,035	5,105	5,440	5,330	5,790	5,360	5,360

**ETALONY**

34 ha	11	22	33	44	55	66	77	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
m [kg]	5,115	5,250	5,370	5,245	5,820	5,510	5,355	4,525	4,655	4,105	5,010	4,705	4,725	4,730

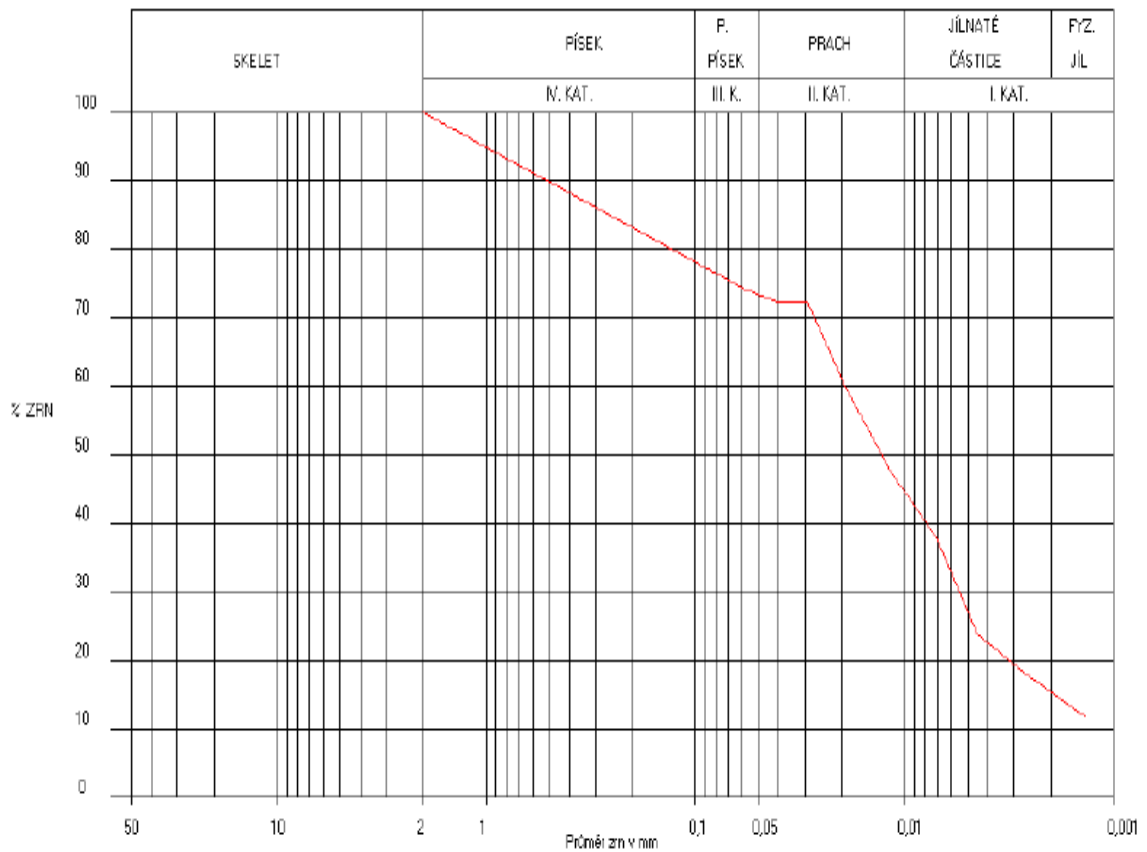
## Příloha 3 Zrnitostní čára

### ZRNITOSTNÍ ČÁRA:

Půdní druh: Hlína písčítá  
 Lokalita:  
 Číslo sondy:  
 Hloubka:

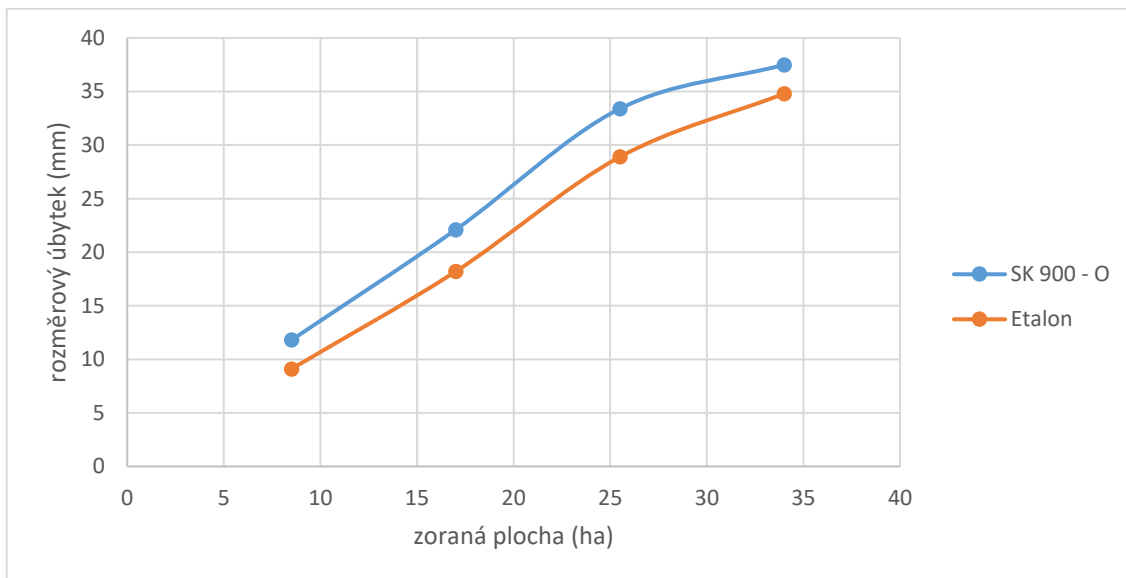
#### Zrnitostní kategorie:

< 0,002 mm (Fyz. jíł)	15,39 %	0,05 - 0,1 mm (III. Kat.)	4,76 %
< 0,01 mm (I. Kat.)	44,72 %	0,1 - 2 mm (IV. Kat.)	21,85 %
0,01 - 0,05 mm (II. Kat.)	28,66 %		

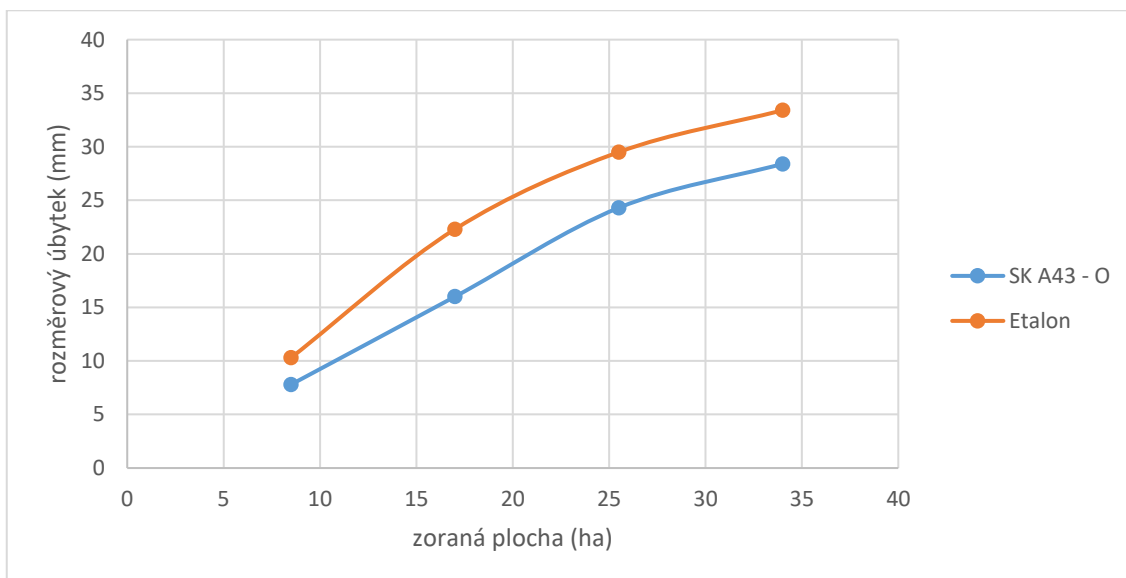


## Příloha 4 Porovnání průběhu rozměrových úbytků

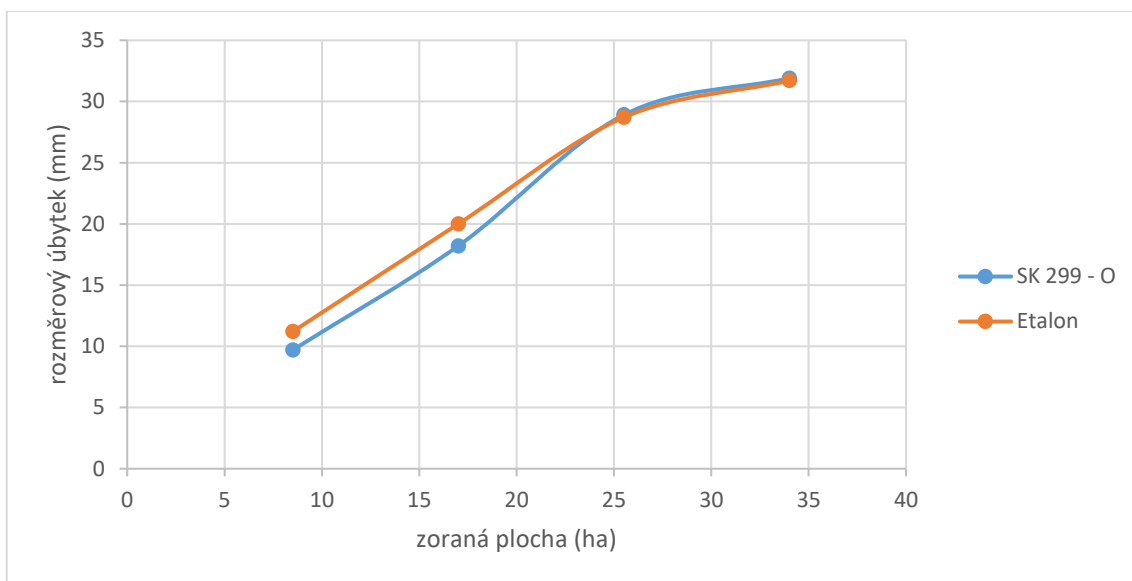
SK 900-O



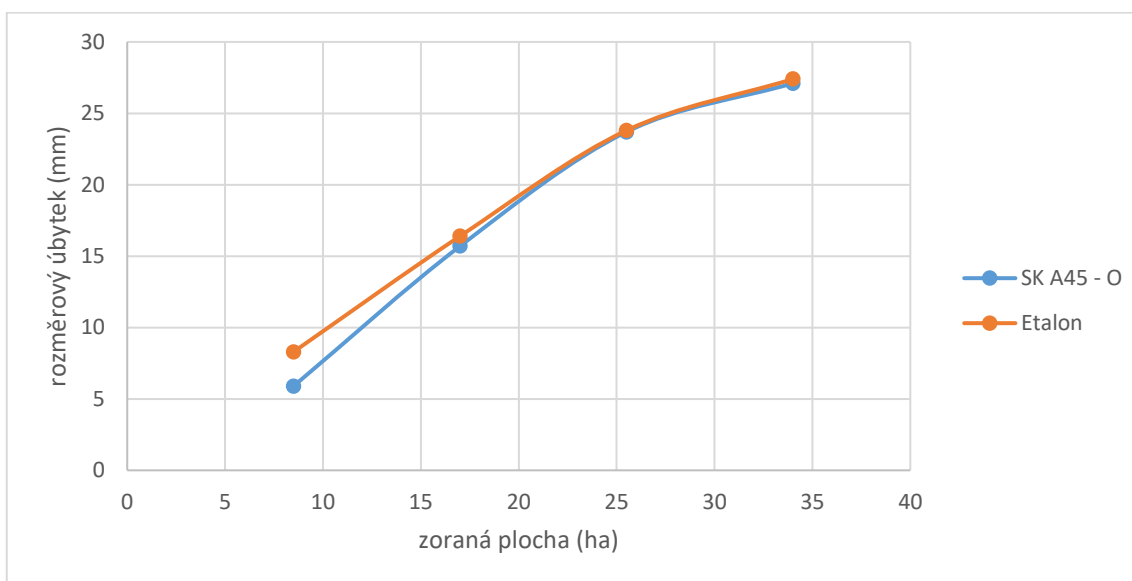
SK A43-O



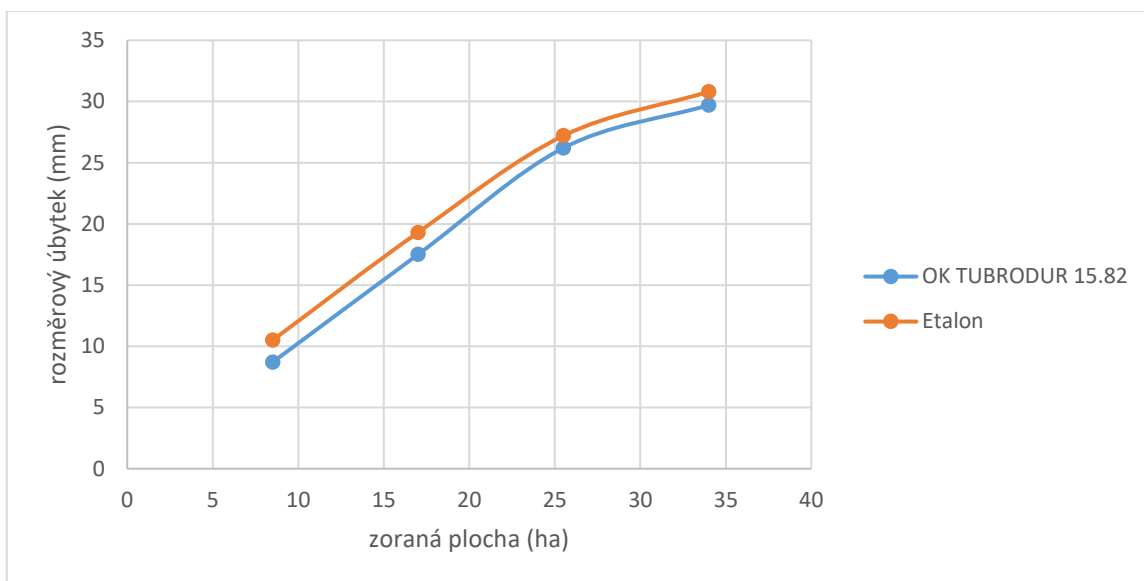
### SK 299-O



### SK A45-O



## OK TUBRODUR 15.82



## SK 258 TiC-O II

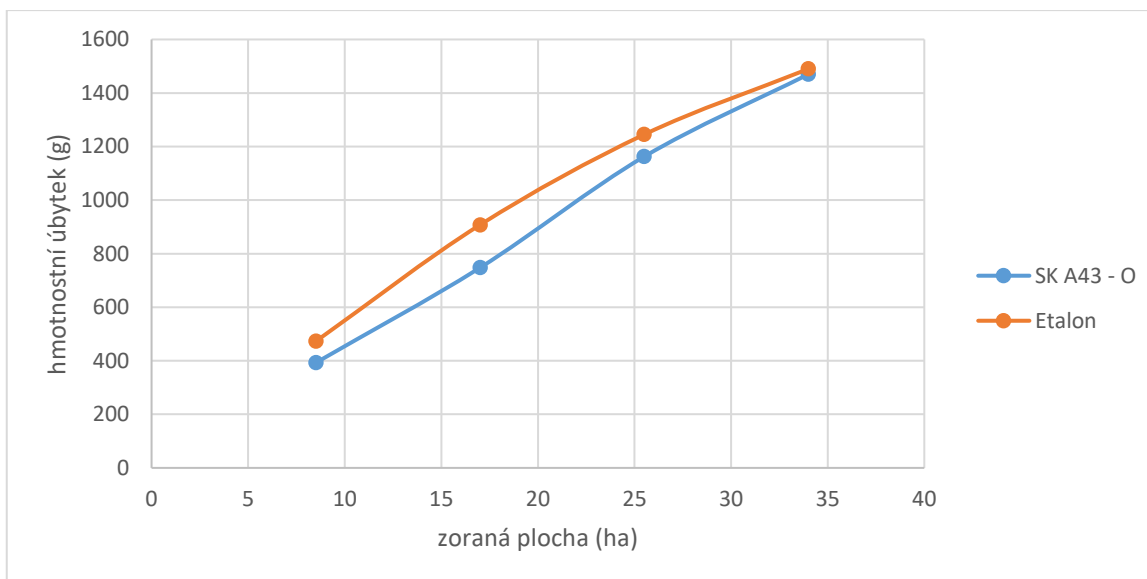


## Příloha 5 Porovnání průběhu hmotnostních úbytků

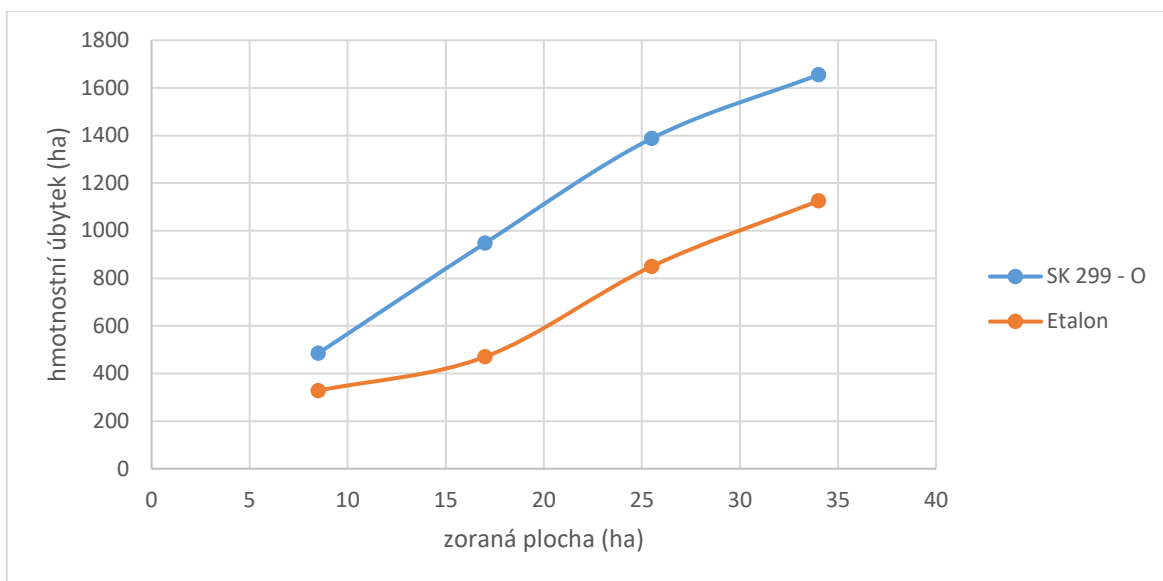
### SK 900-O



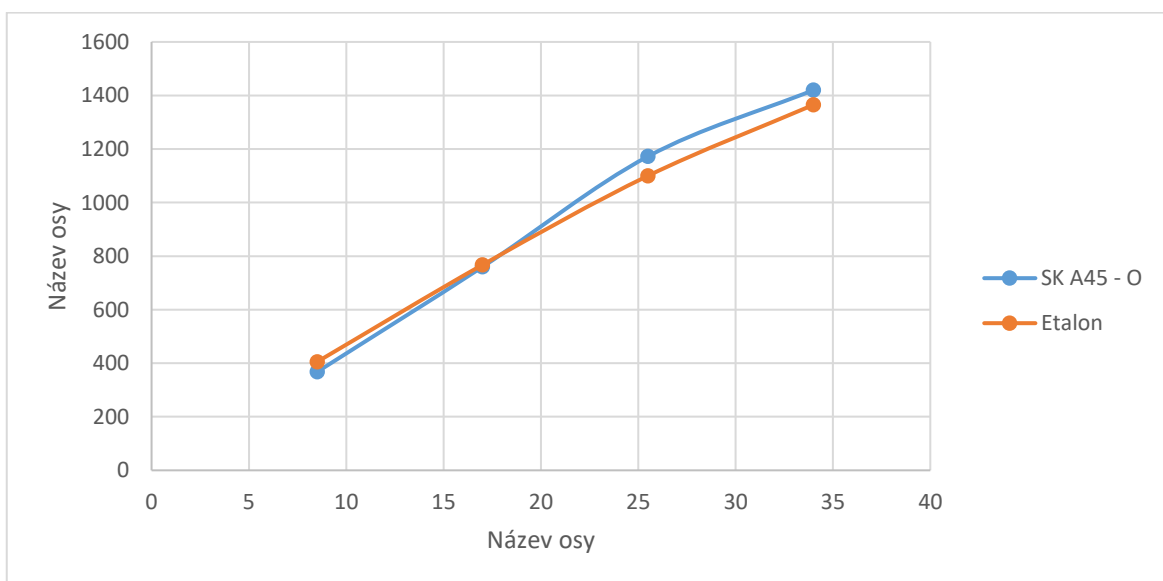
### SK A43-O



### SK 299-O



### SK A45-O





## OK TUBRODUR 15.82



## SK 258 TiC-O II

