

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



Degradační procesy u strojů pro zpracování půdy

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Jiří Votava, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Petr Kubík

Brno 2015

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: Degradáční procesy u strojů pro zpracování půdy vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpis a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Jiřímu Votavovi, Ph.D. za odborné vedení, užitečné připomínky, cenné rady, konzultace a pomoc při konečném zpracování práce.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na degradační procesy u strojů pro zpracování půdy. Hlavním záměrem práce je sledování a porovnání abrazivního opotřebení současných technických materiálů. Opotřebení je vyhodnoceno pomocí hmotnostního úbytku při provozní a laboratorní zkoušce.

V teoretické části je zpracováno základní rozdělení strojů pro zpracování půdy, popis jednotlivých degradační procesů se zaměřením na abrazivní opotřebení zemědělských strojů.

Praktická část je zaměřena na charakteristiku jednotlivých technických materiálů. Je zde popsána výroba zkušebních vzorků a jejich tepelné zpracování. Následují provozní a laboratorní zkoušky.

Ze získaných výsledků lze doporučit vhodný materiál, který nejlépe odolá abrazivnímu opotřebení a zajistí funkčnost v podobě optimálně ostré řezné hrany.

Klíčová slova:

abrazivní opotřebení, zpracování půdy, technické materiály, provozní zkouška, laboratorní zkouška, degradační proces

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on degradation processes in machines tillage. The main intention of this thesis is monitoring and comparing abrasive wear of current technical materials. Wear is evaluated by using weight decrease at operational and laboratory test.

In the theoretical part is processed basic division machinery for tillage, description of the particular degradation processes focused on abrasive wear of agricultural machinery.

The practical part is focused on describing particular technical materials. It describes the production of test specimens and their heat treatment. Followed by operational and laboratory tests.

The obtained results can recommend suitable material that can withstand the best abrasive wear and ensure functional as optimally sharp cutting edge.

Key words:

abrasive wear, tillage, technical materials, operational test, laboratory test, degradation process

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CÍL PRÁCE	11
3	MECHANIZAČNÍ PROSTŘEDKY PRO ZPRACOVÁNÍ PŮDY	12
3.1	Vymezení technologií zpracování půdy	12
3.1.1	Konvenční způsob zpracování půdy.....	12
3.1.2	Minimalizační způsob zpracování půdy	12
3.1.3	Půdoochranný způsob zpracování půdy	13
3.1.4	Setí do nezpracované půdy	13
3.2	Radličné pluhy	13
3.2.1	Zpracování půdy orbou.....	13
3.2.2	Rozdělení pluhů.....	14
3.2.3	Hlavní části radličných pluhů	15
3.3	Stroje s talířovými pracovními orgány	17
3.3.1	Talířové pluhy	17
3.3.2	Talířové podmiče	17
3.3.3	Talířové brány	18
3.3.4	Samostatně uložené talíře s mechanickým jištěním	19
3.4	Stroje s poháněnými rotačními pracovními orgány	20
3.4.1	RPO s horizontální osou rotace kolmou na směr jízdy	20
3.4.2	RPO s horizontální osou rotace souběžnou se směrem jízdy	20
3.4.3	RPO se svislou osou rotace	21
3.5	Smyky	21
3.6	Brány.....	22
3.7	Kultivátory	22
3.7.1	Kypřiče	22
3.7.2	Plečky	23

3.7.3	Hrobkovače.....	23
3.8	Válce	23
3.9	Kombinátory	24
4	OPOTŘEBENÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ.....	25
4.1	Adhezivní opotřebení.....	26
4.1.1	Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení	26
4.1.2	Účinky adheze na povrchy	26
4.1.3	Příklady součástí vystavených adhezivnímu opotřebení	27
4.2	Erozivní opotřebení.....	27
4.2.1	Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení	27
4.2.2	Účinky eroze na povrchy.....	28
4.2.3	Příklady součástí s výskytem erozivního opotřebení	28
4.3	Kavitační opotřebení.....	29
4.3.1	Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení	29
4.3.2	Účinky kavitace na povrchy	29
4.3.3	Příklady součástí s výskytem kavitačního opotřebení.....	30
4.4	Únavové opotřebení.....	30
4.4.1	Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení	31
4.4.2	Účinky únavy na povrchy.....	31
4.4.3	Příklady součástí s výskytem únavového opotřebení.....	31
4.5	Vibrační opotřebení	32
4.5.1	Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení	32
4.5.2	Účinky vibrace na povrchy.....	33
4.5.3	Příklady součástí s výskytem únavového opotřebení.....	33
5	OPOTŘEBENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ	34
5.1	Abrazivní opotřebení	34
5.1.1	Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení	35

5.1.2	Účinky abraze na povrchy	35
5.1.3	Příklady součástí s výskytem abrazivního opotřebení.....	36
5.1.4	Analytický model abrazivního opotřebení	38
5.1.5	Mechanismus abraze	39
6	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	42
6.1	Charakteristika testovaných materiálů.....	42
6.1.1	Otěru-vzdorné materiály typu Creusabro	43
6.1.2	Chemická analýza plužního dláta určená pro pluhy Kverneland	44
6.1.3	Tvrdonávarové elektrody.....	45
6.2	Výroba zkušebních vzorků	46
6.3	Tepelné zpracování tetovaných materiálů	47
6.4	Zkouška rázem v ohybu ČSN EN 10045-1	50
6.5	Metalografické vyhodnocení použitých materiálů	53
6.6	Analýza tvrdosti testovaných materiálů a mikrotvrdosti strukturních fází.....	56
6.7	Laboratorní zkoušky	58
6.7.1	Opotřebení na brusném plátně ČSN 01 5084	58
6.7.2	Abrazivní odolnost v Bondově přístroji	60
6.8	Provozní zkoušky opotřebení.....	64
6.8.1	Analýza půdního profilu pro orební zkoušky	64
6.8.2	Stanovení objemové hmotnosti redukované, pórovitosti a okamžité vlhkosti.....	65
6.8.3	Podmínky a metodika měření zkušebních vzorků – polní testy	66
6.9	Diskuse.....	71
7	ZÁVĚR	73
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
10	SEZNAM TABULEK.....	78

1 ÚVOD

Půda patří mezi životně důležité a těžko obnovitelné přírodní zdroje. Je jednou ze základních složek životního prostředí, její funkce produkční a mimoprodukční jsou nezastupitelné. Zpracováním se má půda upravit do stavu, kdy plodinám poskytuje dobré podmínky pro růst a vývoj. Tento stav je ovšem nutné realizovat vhodným zpracováním půdy pro zachování klasického půdního edofónu.

Abrazivní opotřebením strojních součástí má za následek až 75% odstávek a následných oprav zemědělských strojů. Opotřebením způsobuje geometrickou změnu funkčních ploch, což vede ke znehodnocení stroje. Tyto změny ovlivňují životnost stroje, jeho spolehlivost a spotřebu energie.

Důležitým faktorem jsou náklady na údržbu a opravy strojů, které se snažíme co nejvíce snížit. Jednou z možností, jak tyto náklady snížit, je správná volba materiálu a konstrukce a dodržování intervalu výměn strojních součástí, aby nedošlo k vážným poruchám nebo úplné destrukci stroje. Proto se během fází konstruování, výroby a údržby strojů využívají poznatky tribologie.

Tribologie je věda zabývající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu a s tím souvisejícími ději. (*Blaškovitš, 1990*).

Jestliže se k sobě přibližují povrchy dvou součástí, např. působením vnějšího zatížení nebo vlastní hmotnosti, dojde k prvnímu dotyku povrchových ploch teoreticky ve třech bodech. V těchto bodech je skutečný měrný tlak tak veliký, že dochází k plastické deformaci a k odlamování částí povrchu (to vše samozřejmě v mikroskopických rozměrech). V důsledku toho přicházejí do kontaktu další místa povrchu. Na nich probíhají stejné děje a to tak dlouho, než skutečná plocha dotyku dosáhne takové velikosti, že skutečný měrný tlak už nevyvolává další plastické deformace. Je zřejmé, že dosažení tohoto rovnovážného stavu závisí na více činitelích, zejména na vnějším zatížení a vlastnostech povrchových vrstev součástí.

Jedno z velmi účinných opatření, kterým zvyšujeme odolnost proti opotřebením, je navařování funkčních povrchů vhodným návarovým materiálem. Návarové materiály, které můžeme pro tento účel využít, mají různé vlastnosti. Při jejich volbě musíme vycházet ze složení základního kovu a způsobu namáhání navařované součásti. Navařování se uplatňuje nejen při opravách, ale i při výrobě nových součástí.

2 CÍL PRÁCE

Zpracování půdy patří mezi základní operace v rostlinné výrobě. Veškeré stroje určené pro jednotlivé postupy půdního zpracování jsou značně zatíženy abrazivním opotřebením. Jejich technické řešení i využití současných materiálů má zvýšit jejich životnost i odolnost proti nadměrnému opotřebením.

Cílem diplomové práce je vytvořit ucelený přehled používaných strojů pro zpracování půdy a jejich znehodnocení vlivem opotřebením. V jednotlivých kapitolách budou zpracovány poznatky o vývoji a použití strojů pro zpracování půdy, degrační procesy a opotřebením zemědělských strojů.

Experimentální část je zaměřena na problematiku tepelného zpracování standardně používaných ocelových materiálů, které lze aplikovat pro výrobu strojních součástí určených na výrobu abrazivně zatížených nástrojů. Jako možnost zvýšení životnosti jednotlivých nástrojů bude do testu zařazena analýza tvrdonávarových materiálů vytvořených metodou pomocí obalené elektrody.

Vhodnost jednotlivých materiálů pro využití u nástrojů na zpracování půdy bude vyhodnocena na základě výsledků mechanických zkoušek. Jedná se o analýzu vnitřní struktury daného materiálu, tvrdosti a rázové houževnatosti.

Jednotlivé testy abrazivní odolnosti jsou rozděleny na laboratorní a provozní zkoušky. Laboratorní zkouška bude provedena na brusném plátně a v Bondově přístroji. Provozní testy jsou následně již aplikovány do reálných podmínek klasické orby.

Na základě jednotlivých měření a výsledků lze doporučit vhodné materiály do prostředí se značným abrazivním zatížením.

3 MECHANIZAČNÍ PROSTŘEDKY PRO ZPRACOVÁNÍ PŮDY

Zpracování půdy je soubor operací a agrotechnických zásahů upravujících půdu do stavu, který umožňuje kulturním rostlinám optimální podmínky pro vzcházení, růst a dosažení optimálních výnosů. (*Procházka, 1986*)

3.1 Vymezení technologií zpracování půdy

V současnosti rozdělujeme způsoby zpracování půdy na:

- **konvenční způsob,**
- **minimalizační způsob,**
- **půdoochranný způsob,**
- **setí do nezpracované půdy.** (*Hůla, 2010*)

3.1.1 Konvenční způsob zpracování půdy

Při tomto způsobu zpracování půdy je sled pracovních operací následující:

- **podmítka** - mechanizované zpracování půdy po sklizni. Povrchová vrstva půdy musí být stejnoměrně prokypřena v celé šíři. Hloubka musí být stavitelná v rozmezí 5 - 12 cm nesmí se při práci libovolně měnit,
- **orba** - rostlinné zbytky předplodin, biomasa meziplodin a nadzemní části plevelů jsou zapravovány do půdy,
- **předset'ová příprava** - vytvoření optimálních podmínek pro uložení osiva nebo sadby do půdy. Zahrnuje operace smykování, vláčení, kypření, válení. (*Škoda, 2002*)

3.1.2 Minimalizační způsob zpracování půdy

Jedná se o bezorebný způsob zpracování půdy. V případě výskytu příznaků zhutnění lze ornici jednorázově hlouběji prokypřit bez obracení. Cílem je snížení počtu přejezdů po pozemku, snížení utužení půdy, snížení nákladů na prováděné operace, zrychlení jednotlivých operací a tím dodržování agrotechnických termínů. (*Hůla, 2010*)

3.1.3 Půdochranný způsob zpracování půdy

Způsob, při kterém zůstává nejméně 30% povrchu půdy po zasetí pokryto rostlinnými zbytky předplodiny nebo meziplodiny. Jedná se o technologie:

- **bezorebné setí/sázení,**
- **setí/sázení do mulče,**
- **setí/sázení do mělké podmítky**
- **setí/sázení do ochranné plodiny,**
- **důlkování.** (*Kontrola podmíněnosti, 2014*)

3.1.4 Setí do nezpracované půdy

Zpracování půdy po sklizni předplodiny odpadá. Seje se speciálními stroji do rýh nebo pruhů, přičemž většina povrchu půdy není mechanicky zasažena. (*Hůla, 2010*)

3.2 Radličné pluh

3.2.1 Zpracování půdy orbou

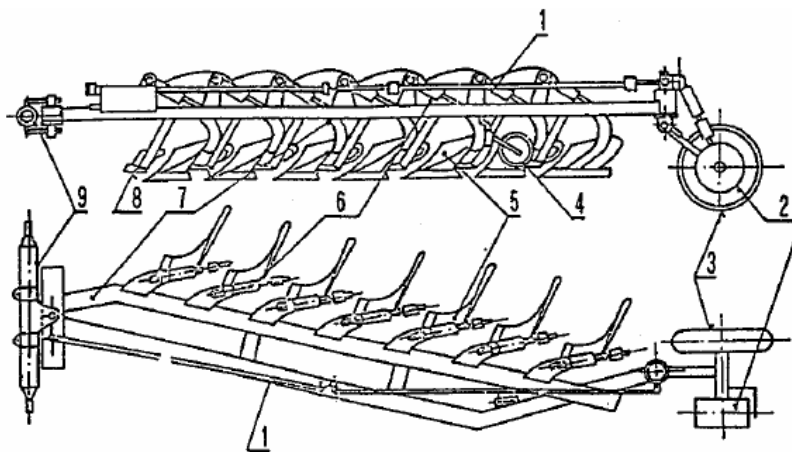
Orba je mechanické zpracování půdy, kdy je brázdová skýva orebním tělesem odřezávána, zvedána, odsouvána do strany, drobena, mísená a obrácena. Do profilu zpracovávané ornice jsou vpravovány rostlinné zbytky, porost a organická i anorganická hnojiva. Podle hloubky ornice rozeznáváme:

- **podmítku** - 5 až 12 cm,
- **mělkou orbu** - 12 až 18 cm,
- **střední orbu** - 18 až 24 cm,
- **hlubokou orbu** - 24 až 30 cm,
- **velmi hlubokou orbu** - nad 30 cm,
- **rigolování** - 50 až 60 cm. (*Neubauer, 1989*)

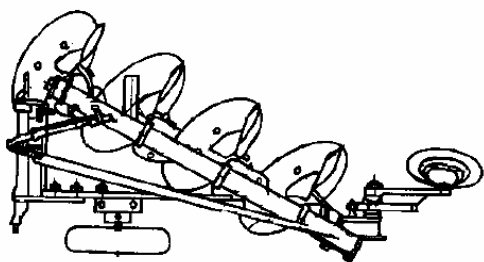
3.2.2 Rozdělení pluhů

Pluhy rozdělujeme:

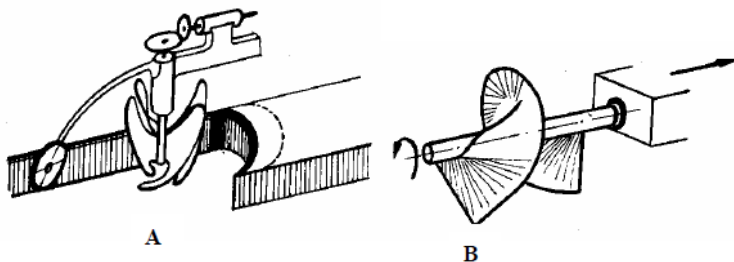
- a) podle konstrukce pracovního ústrojí:
 - **radličné,**
 - **talířové,**
 - **kombinované,**
 - **speciální.**
- b) podle způsobu obracení skývy:
 - **jednostranné,**
 - **oboustranné,**
 - **výkyvné.**
- c) podle relativního pohybu pracovních orgánů vzhledem k rámu stroje:
 - **bez relativního pohybu** - radličné pluhy,
 - **s relativním pohybem** - talířové nebo rotační pluhy.
- d) podle účelu použití:
 - **podmítací,**
 - **pro orbu,**
 - **pro rigolování.**
- e) podle energetického prostředku:
 - **potažní,**
 - **traktorové** - návěsné nebo nesené,
 - **samochoďné.** (Kumhála, 2007)



Obr. 1 Radličný pluh (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

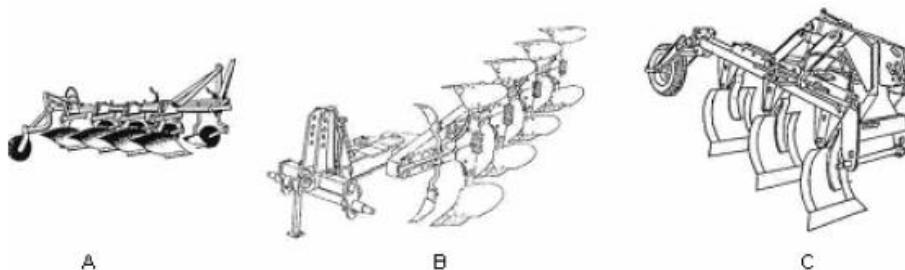


Obr. 2 Taliřový pluh (<http://kzt.zf.jcu.cz>)



A - rotační, B - šroubovicový

Obr. 3 Speciální pluchy (<http://kzt.zf.jcu.cz>)



A - jednostranný, B - oboustranný, C - výkyvný

Obr. 4 Druhy pluhů (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

3.2.3 Hlavní části radličných pluhů

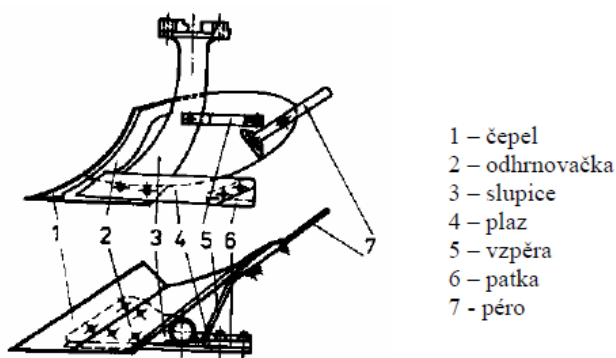
Radličné pluchy tvoří hlavní části a orební ústrojí. Hlavní části radličných pluhů jsou:

- **rám,**
- **zavěs,**
- **pojezdové ústrojí** (pouze u návěsných pluhů),
- **seřizovací ústrojí,**
- **zvedací ústrojí** (pouze u návěsných pluhů),
- **zařízení pro drcení hrud, rovnání povrchu, utužení půdy,**
- **speciální zařízení** (aplikace hnojiv, setí apod.).

Orbu vykonává orební ústrojí, které se zpravidla skládá z:

- **orebního tělesa,**
- **předradličky,**
- **krojidla,**
- **podrýváku.**

Orební těleso je základní součástí orebního ústrojí. Skládá se z pracovních a pomocných částí. Pracovními částmi jsou čepel, odhrnovačka, škrabka, plaz a péro. Pomocné části tvoří slupice, vzpěra a spojovací šrouby. (Neubauer, 1989)



Obr. 5 Orební těleso (Neubauer, 1989)

Čepel odřezává skývu v horizontální rovině. Podle konstrukce může být lichoběžníková, dlátovitá a s výměnným dlátem.

Odhrnovačka skývu zvedá, drobí a obrací. Dělí se na hruď a křídlo. Pro lepší překlápění skývy může být ke křídlu odhrnovačky přišroubováno stavitelné péro. Podle tvaru pracovního povrchu rozlišujeme odhrnovačky: válcové, kulturní, pološroubové a šroubové.

Škrabka zlepšuje obracecí a zaklápěcí schopnost odhrnovačky. Používá se místo předradličky.

Plaz se opírá o dno a stěnu brázdy. Částečně zachycuje boční tlaky působící na orební těleso a zlepšuje stabilitu pluhu.

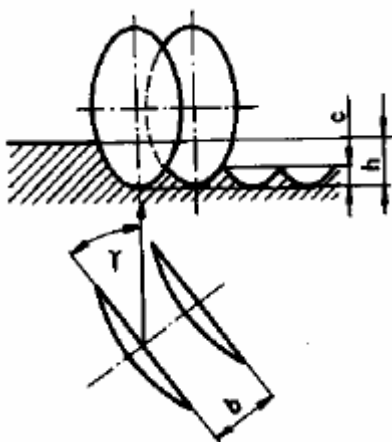
Slupice spojuje pracovní část orebního tělesa s rámem pluhu. Jsou na ní připevněny pracovní i pomocné části orebního tělesa.

Předradlička je zjednodušené orební těleso.

Krojidlo odděluje půdní skývu od záhonu, zabraňuje trhání stěn a zlepšuje práci orebního tělesa. (Kumhála, 2007)

3.3 Stroje s talířovými pracovními orgány

Talířový pracovní nástroj má tvar dutého kulového vrchlíku a má obvodový břit, který může být hladký nebo vykrajovaný. Používá se u talířových pluhů, talířových podmítačů a talířových bran. Při práci dochází k otáčení talíře vlivem tření mezi půdou a talířem. Břit talíře odřezává skývu, drobí, mísí, posouvá do strany a částečně obrací. Stébla a kořeny jsou zatlačovány do půdy, kde je břit talíře rozřeže nebo na kypré půdě poškodí. Pokud talíř najede na nepoddajnou překážku, tak se vyhloubí a překážku přejede. (Neubauer, 1989)



Obr. 6 Talířový pracovní nástroj (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

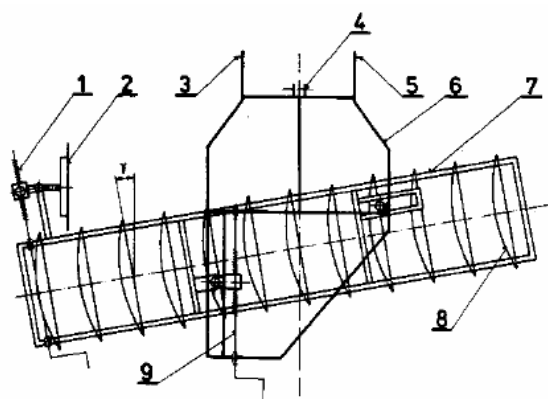
3.3.1 Talířové pluhy

Talířové pluhy orají do hloubky 12 až 30 cm. Každé talířové orební těleso je připojeno k rámu jednotlivě. Dno brázdy je hřebenité. Výška hřebenu závisí na průměru talířů a jejich rozmístění na rámu pluhu. Talířové pluhy pro hlubokou orbu nejsou moc rozšířeny, protože mají následující nedostatky:

- **mají sklon se obalovat hlínou** - musí se používat škrabáky,
- **hůře překlápí skývu,**
- **v kamenitých půdách se vydroluje nebo vylamuje břit.**

3.3.2 Talířové podmítače

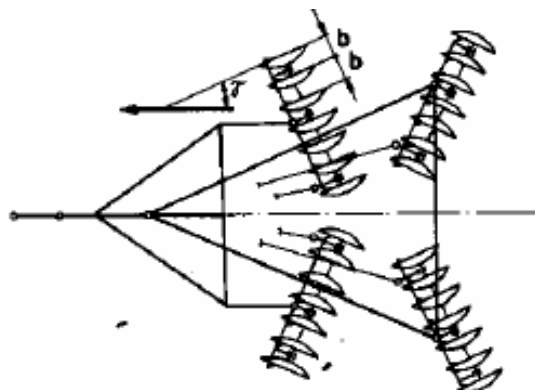
Talířové podmítače mají obvykle talíře uspořádané na společné hřídeli. Všechny talíře obrací skývu na jednu stranu. Mívají možnost seřízení náběhového úhlu. (Kumhála, 2007)



Obr. 7 Talířový podmítač (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

3.3.3 Talířové brány

Talířové brány mají nástroje uspořádané v bateriích na společných hřídelích. Polovina talířů odklápí skývu napravo a polovina nalevo. Jednotlivé skupiny talířů jsou spojeny táhly s regulačním ústrojím, které slouží k nastavení náběhového úhlu.



Obr. 8 Dvousledné talířové brány (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

Talířová nářadí, kde jsou talíře na společné hřídeli, jsou náchylné na vydrolení nebo vylomení břitů, mají omezenou pracovní rychlost, vzhledem ke konstrukčnímu provedení lze nastavit pouze náběhový úhel a nelze nastavit odklon talířů od svislé osy. Výhodou je jednoduchá konstrukce, od které se odvíjí nízké výrobní náklady. Kvůli převažujícím nevýhodám se přechází ke konstrukci samostatně uložených talířů s mechanickým jištěním. (Neubauer, 1989)

3.3.4 Samostatně uložené talíře s mechanickým jištěním

Samostatně uložené talíře mají vyšší drobcí účinek, velmi dobré kopírování terénu a vyšší pracovní rychlosti. Jištění může být:

- pryžovými silentbloky,
- ocelovou pružinou,
- pružnou slupicí. (Kumhála, 2007)



Obr. 9 Jištění pryžovými silentbloky (www.agrowest.cz)



Obr. 10 Pružinové jištění (www.danhel.cz)



Obr. 11 Jištění pružnou slupicí (www.agrisem.com)

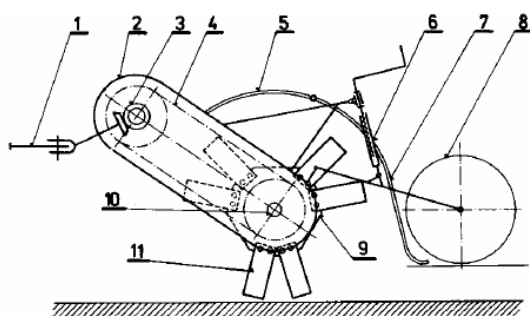
3.4 Stroje s poháněnými rotačními pracovními orgány

Rotační pracovní nástroje se používají u rotavátorů, pluhů a pleček. Osa otáčení může být:

- **horizontální kolmá na směr jízdy,**
- **horizontální souběžná se směrem jízdy,**
- **svislá.** (Neubauer, 1989)

3.4.1 RPO s horizontální osou rotace kolmou na směr jízdy

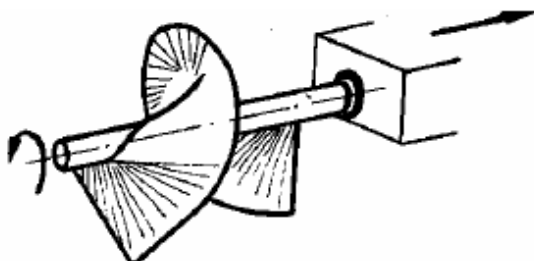
Nože frézy mají většinou tvar písmene L. Mohou mít rovněž tvar šípových radliček, klínových hřebů, motyček, úzkých dlát nebo pružných háků. Soustava nožů bývá připojena ke kotoučům, které jsou na vodorovné hřídeli naklínovány, spojeny pomocí třecích spojek nebo přivařeny. Zahloubení rotoru je závislé na poloze opěrných plazů nebo opěrného kola.



Obr. 12 Fréza s horizontální osou rotace kolmou na směr jízdy (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

3.4.2 RPO s horizontální osou rotace souběžnou se směrem jízdy

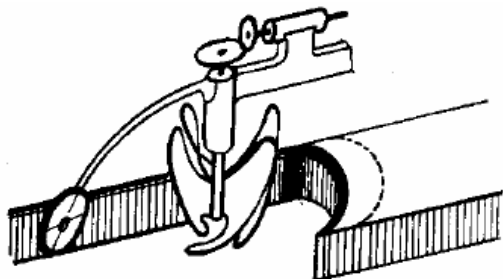
Rotační pracovní orgán s horizontální osou rotace souběžnou se směrem jízdy odřezává skývu přední hranou šroubového orebního tělesa. Skýva je nadzvedávána, drobená, mísená a obrácena šroubovou plochou.



Obr. 13 RPO s horizontální osou rotace souběžnou se směrem jízdy (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

3.4.3 RPO se svislou osou rotace

Rotační pracovní orgán se svislou osou rotace pracuje obdobně jako fréza. Frézovací nože odřezávají půdu, drobí ji a mísí s rostlinnými zbytky. V současné době se tento způsob zpracování půdy využívá v kombinaci se secím strojem. (Kumhála, 2007)



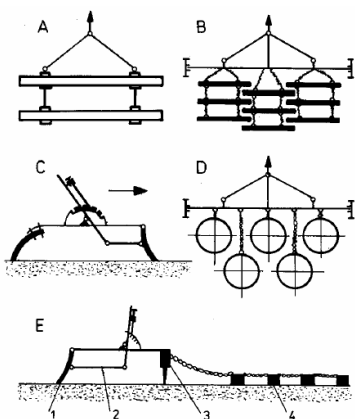
Obr. 14 RPO se svislou osou rotace (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

3.5 Smyky

Smyk slouží k urovňování povrchu pole, drcení hrud, prokypření vrchní vrstvy půdy a zatlačování menších hrud. Pracují jen do malé hloubky, proto je možné je použít brzy na jaře. Smykuje se pokud možno šikmo na směr brázdy.

Smyky rozdělujeme podle konstrukce a tvaru pracovních částí na:

- **trámové smyky (hladké nebo ozubené) jednoduché nebo dělené,**
- **deskové smyky (hladké nebo ozubené),**
- **prstencové smyky,**
- **kombinované smyky.** (Neubauer, 1989)



A - trámový jednoduchý, B - trámový dělený, C - deskový, D - prstencový, E - kombinovaný

Obr. 15 Smyky (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

3.6 Brány

Brány jsou různorodou skupinou nářadí a strojů, jejímž společným úkolem je mělké povrchové zpracování půdy a porostů. Používají se ke kypření, urovnávání povrchu ornice, rozrušení půdního škraloupu, zničení mladého plevelu a zapravení hnojiva i semen do půdy.

Brány se rozdělují podle druhu pohybu pracovních nástrojů na:

- **brány s nepohyblivými pracovními nástroji** - hřebové, radličkové, síťové, luční, prutové,
- **brány s pohyblivými pracovními nástroji** - talířové, hvězdicové, nožové,
- **brány s poháněnými pracovními nástroji** - kývavé, vibrační, rotační-vířivé.

(Kumhála, 2007)

3.7 Kultivátory

Kultivátory se používají pro plošnou i meziřádkovou kultivaci půdy. Podle tvaru pracovního orgánu se používá ke kypření, promísení půdních částic, ošetření porostu, tvarování hrůbků, podřezávání a vytrhávání plevelů.

Kultivátory rozdělujeme podle určení na:

- **kypřiče,**
- **plečky,**
- **hrobkovače.** *(Neubauer, 1989)*

3.7.1 Kypřiče

Jejich úkolem je rozdrobit, nakypřit a provzdušnit půdu, podříznout nebo vytáhnout plevelu a zapravit hnojiva do půdy. Podle druhu pracovních nástrojů a jejich pohybu vzhledem k rámu stroje jsou kypřiče rotační a radličkové.

Radličkové kypřiče se dělí podle druhu použitých slupic radliček na:

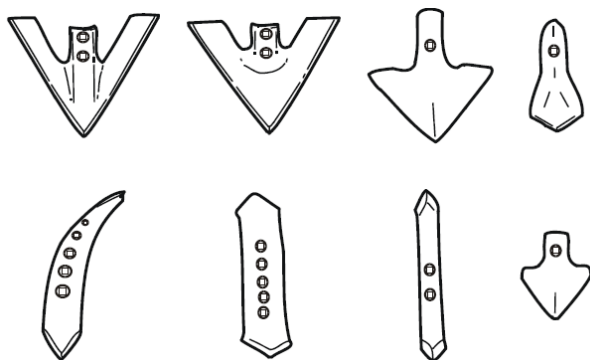
- **tuhé,**
- **odpružené,**
- **pružné.** *(Kumhála, 2007)*

3.7.2 Plečky

Používají se k ničení plevelu v meziřádcích kulturních rostlin. Rozeznáváme plečky rotační a radličkové. Jejich pracovní orgány zasahují do půdy většinou jen do malé hloubky, podřezávají kořeny plevelů a prokypří vrchní vrstvu půdy.

3.7.3 Hrobkovače

Pracovními nástroji jsou hrobkovací tělesa, která se obvykle připevňují k rámu prostřednictvím paralelogramových závěsů, aby bylo zajištěno lepší kopírování povrchu pozemku. K rámu se připojují hrobkovací tělesa v přestavitelných vzdálenostech, protože rozteče řádků oborávaných plodin se mohou lišit. (Neuber, 1989)



Obr. 16 Příklady různých typů nástrojů použitých na kultivátoru (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

3.8 Válce

Hlavním úkolem válců je utužení nakypřeného povrchu půdy, obnovení kapilarity a vzlínavosti vody, rozdrobení hrud a urovnání pole. Válce rozdělujeme dle tvaru pracovního povrchu a funkce na:

- hladké,
- rýhované,
- hřbové,
- zubové,
- kotoučové,
- hvězdicové,
- prutové,
- cambridgeské,
- hrudořezy,

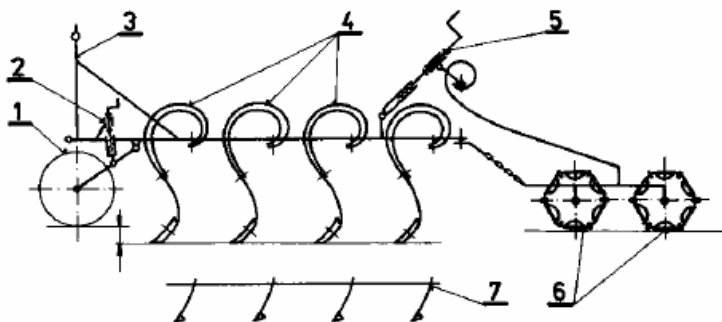
- pěchy,
- crosskilské,
- článkové,
- pneumatikové,
- Rol-Flex,
- T - válce
- spirálové.

Pracovním nástrojem je válec s hladkým, tvarovaným nebo jinak upraveným povrchem či obvodem, který se odvaluje po poli a přitom stlačuje a utužuje vrchní vrstvu půdy a drobí hroudy.

3.9 Kombinátory

Snížení počtu přejezdů je možné dosáhnout použitím kombinovaných souprav nebo kombinovaných strojů. U kombinovaných souprav (pluh-brány, pluh-smyky, smyky-brány) jde o dočasné spojení dvou nebo více strojů, které je možné od sebe oddělit a používat samostatně. Kombinované stroje mají společný rám, na kterém je uchyceno několik různých pracovních ústrojí, která vykonávají současně několik rozdílných operací. Pracovní ústrojí je možné demontovat, ale nelze jej bez dalších úprav použít samostatně. Kombinované stroje se rozdělují na:

- kombinované stroje pro přípravu půdy,
- kombinované stroje pro přípravu půdy spojené s nejméně jednou operací (setí, hnojení, aplikace pesticidů). (Kumhála, 2007)



Obr. 17 Kombinovaný kyprič (kombinátor) (<http://kzt.zf.jcu.cz>)

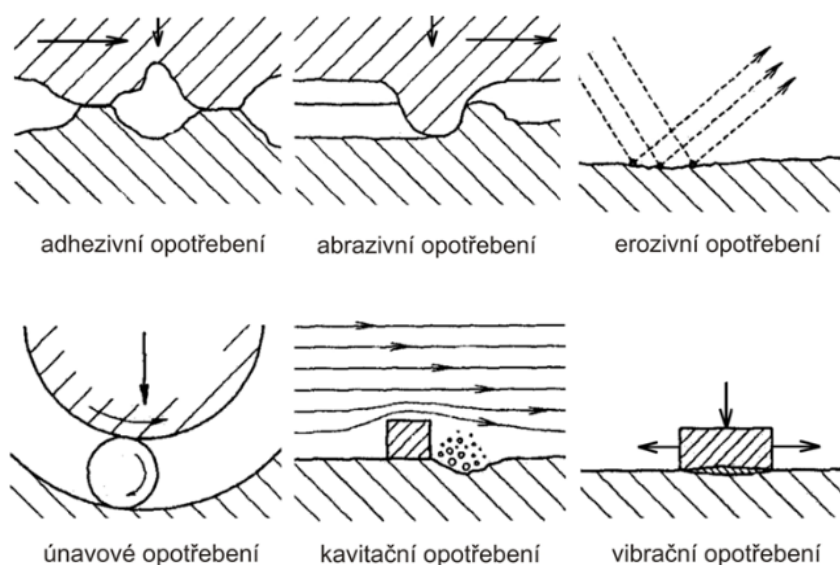
4 OPOTŘEBENÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ

Opotřebení je trvalá, funkčně nežádoucí změna povrchu nebo rozměru pevných těles, způsobená mechanickými procesy při vzájemném působení funkčních povrchů dvou těles, nebo funkčního povrchu tělesa s určitým tekutinovým médiem (kapalina, plyn).

Důsledky opotřebení se projeví zhoršením vlastností a chování technického objektu v provozu s vazbou na okolí. Nebezpečné je opotřebení v oblastech, kde se nepředpokládá, že iniciace opotřebení byla způsobena poškozováním povrchu. Příčinou zhoršení mechanických vlastností jsou změny struktury. Vibrace mohou vyvolat změnu geometrie, která vede ke ztrátě funkčnosti. Změna kvality povrchu (např. oxidace) vede ke změně drsnosti povrchu, která iniciuje poškození, zvyšuje hlučnost, způsobuje ekologické a ekonomické ztráty, poruchy, případně i havárie. (Stodola, 2008)

Opotřebení můžeme rozdělit na následující druhy:

- **adhezivní,**
- **abrazivní,**
- **erozivní,**
- **kavitační,**
- **únavové,**
- **vibrační.** (Pošta, 2002)



Obr. 18 Schematická znázornění různých druhů opotřebení (Stodola, 2008)

4.1 Adhezivní opotřebení

Charakteristickým znakem adhezivního opotřebení je vysoká hodnota součinitele tření. Adhezivní opotřebení relativně rychle porušuje tribologický kontakt. V extrémních případech je zabráněno kluznému tření vysokým součinitelem tření nebo zadřením. (Stodola, 2008)

4.1.1 Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení

- **hloubka vnikání a poloměr zakřivení povrchových mikronerovností,**
- **velikost zatížení a rychlost relativního pohybu,**
- **schopnost materiálu vytvářet adhezivní spoje.**

V závislosti na úrovni jednotlivých faktorů pak dochází k různě intenzivnímu opotřebení. Intenzitu navíc velmi výrazně ovlivňuje látka přítomná mezi funkčními povrchy (mazivo). (Pošta, 2002)

Tab. 1 Adhezivní síla pro vybrané kovy v kontaktu s Fe ve vakuu (Stodola, 2008)

Kov	Rozpustnost v železu (%)	Adhezivní síla k železu [N]	Kov	Rozpustnost v železu (%)	Adhezivní síla k železu [N]
Železo	-	$> 0,004$	Nikl	9,5	0,0016
Měď	$< 0,25$	0,0013	Stříbro	0,13	0,6
Zlato	$< 1,5$	0,0005	Platina	20	0,001
Hliník	22	0,0025	Olovo	nerozpustné	0,0014

4.1.2 Účinky adheze na povrchy

Silná adheze mezi nerovnostmi povrchů při opotřebení vyvolává vícesložkovou třecí sílu, která je generována nerovnostmi a zaniká v případě odstranění částic opotřebení nebo jejich přemístěním.

Součinitel tření je definován vztahem:

$$\mu = \tau / p_y$$

kde: τ = smykové (tečné) namáhání materiálu [Pa]

p_y = plastické deformační napětí materiálu [Pa]

Skutečné povrchové smykové namáhání materiálu vede k adhezivnímu spojení při hodnotě $\mu = 0,2$.

4.1.3 Příklady součástí vystavených adhezivnímu opotřebení

- kolejnice,
- brzdové obložení,
- přítlačný kotouč,
- ozubená kola. (Stodola, 2008)



Obr. 19 Adhezivní opotřebení přítlačného kotouče (<http://degradace.tf.czu.cz>)

4.2 Erozivní opotřebení

K erozivnímu opotřebení povrchu dochází v důsledku opakovaných srážek tvrdších částic s povrchem. Při nárazu se kinetická energie každé částice mění v deformační práci, která způsobuje plastickou deformaci na povrchu objektu formou stopy (rýhování) vedoucí k oddělování částic. Opakované nárazy na povrch mohou mít charakter únavového zatěžování. (Stodola, 2008)

4.2.1 Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení

- **podmínky nárazu** - úhel nárazu, dopadová rychlost částic apod.,
- **charakteristiky směsi média a částic** - velikost, tvar, druh a tvrdost částic, druh a teplota nosného média, jeho chemický účinek na povrchové vrstvy erodovaného materiálu, množství a rozložení částic v proudu média,
- **charakteristiky erodovaného materiálu** - fyzikálně-mechanické vlastnosti (pevnost, tvrdost, houževnatost apod.), makro- i mikrostruktura. (Suchánek, 2014)

4.2.2 Účinky eroze na povrchy

Jsou charakteristické nerovnoměrným porušením funkčního povrchu. Mohou nastat tyto případy:

- částice s dostatečnou energií vniknou do povrchu, materiál vytlačí nebo oddělí,
- částice zatíží povrch jen v elastické oblasti,
- dojde k elastické a plastické deformaci a částice se může odrazit. (Stodola, 2008)

4.2.3 Příklady součástí s výskytem erozivního opotřebení

- parní kotle,
- fluidní systémy,
- lopatky spalovacích turbín,
- lopatky tryskačů,
- cyklonové odlučovače popílku,
- vodní turbíny,
- čerpadla,
- potrubní systémy,
- ventily,
- míchací zařízení. (Suchánek, 2014)



Obr. 20 Erozivní opotřebení koule uzávěru (<http://degradace.tf.czu.cz>)

4.3 Kavitační opotřebení

Poškození kavitací je přechod mezi korozí a mechanickým poškozením. Je to makroskopicky zjištělná změna kvality povrchu tělesa v podobě zvrásnění, zdrsnění, změny tvaru reliéfu tělesa, výskytu trhlin, kaveren nebo makrolomů.

Kavitace je fyzikální jev v kapalině, při němž vznikají, vyvíjejí se a zanikají kavitační bubliny. Při jejich zanikání (implozi) dochází tlakovými vlnami k cyklickému a únavovému namáhání povrchu materiálu. (*Stodola, 2008*)

4.3.1 Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení

- **obsah plynů v kapalině** - v kapalinách, které při normálním tlaku obsahují viditelné bubliny vzduchu (plynu), se kavitační dutiny tvoří při snížení tlaku expanzí těchto bublin, vylučováním vzduchu z kapaliny nebo spojováním menších bublin. V kapalinách, ve kterých při normálním tlaku nejsou bubliny viditelné, vznikají kavitační dutiny až při poklesu místního tlaku přibližně na hodnotu tlaku syté páry při dané teplotě. Tyto dutiny jsou vyplněny převážně sytou párou kapaliny,
- **teplota a tlakové poměry** - se vzrůstající teplotou kapaliny se zvětšuje počet vznikajících kavitačních dutin. Současně se však zvyšuje tlak nasycených par, takže vznikající dutiny mají menší objem. Tyto jevy působí na intenzitu kavitačního opotřebení protichůdně. Průběh kavitačního poškození v závislosti na teplotě má lokální maximum při určité teplotě, u vody je to v rozmezí asi 45 až 50 °C, asi při 80 °C je již intenzita poškození prakticky nulová,
- **povrchové napětí a viskozita kapaliny** - čím je větší povrchové napětí, tím větší dutiny vznikají za jinak stejných podmínek. Větší dutiny znamenají větší intenzitu kavitačního opotřebení. (*Pošta, 2002*)

4.3.2 Účinky kavitace na povrchy

Pokud je hodnota nárazového tlaku a tím vzniklého napětí nižší než hodnota považovaná za práh opotřebení, k mechanickému poškození nedojde. Tento úkaz je podobný pojetí meze únavy. I když v daném případě ke kavitačnímu opotřebení nedojde, může být vyvoláno poškození materiálu elektrochemickým působením.

Napětí, která vznikají následkem dynamického působení kapaliny na povrch materiálu, jsou menší než mez skluzu. K opotřebení v tomto případě dochází následkem únavových dějů povrchových vrstev materiálu, které je možné charakterizovat jako vysokocyklovou únavu.

Povrchová vrstva materiálu je napadena do té míry, že vzniklá napětí jsou větší než mez skluzu. V tomto případě dochází k plastické deformaci povrchu materiálu. Mnohonásobně se opakující působení mikroobjemů na povrchu způsobí zpevňování povrchové vrstvy materiálu, což vede ke zvýšení tvrdosti. V praxi může docházet též k únavovému poškození povrchu materiálu, avšak při menším počtu cyklů zatížení je proces obdobný jako u nízkocyklové únavy.

Povrchová místa materiálu jsou ihned porušována působením jednotlivých mikroúderů, kdy dochází k překročení meze pevnosti materiálu (srovnatelné s mechanickým lomem).

4.3.3 Příklady součástí s výskytem kavitačního opotřebení

- lopatková kola,
- turbíny,
- hydraulické prvky. (Stodola, 2008)



Obr. 21 Kavitační opotřebení lopatkového kola (<http://degradace.tf.czu.cz>)

4.4 Únavové opotřebení

Únavové opotřebení je typické kumulací poruch v povrchové vrstvě při cyklickém namáhání, kde v místech maximálního smykového namáhání dochází k porušení mate-

riálu. Při vysokém smykovém namáhání dochází k oddělování materiálu a vytvořená lomová plocha vykazuje mechanismus křehkého porušování s typickým lasturovým lomem. Dochází k vydrolování materiálu, vzniku důlků, tzv. pittingů. (Stodola, 2008)

4.4.1 Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení

Vznik, průběh i intenzita poškození únavovým opotřebením jsou velmi závislé na provozních podmínkách.

Kromě provozních podmínek mají vliv také:

- **tvrdost povrchové vrstvy** - experimentálně bylo prokázáno, že odolnost proti poškození únavovým opotřebením se zvyšuje s tvrdostí povrchu. Tato závislost je lineární a projevuje se i v oblasti vysokých tvrdostí (55 až 68 HRC),
- **nečistoty a vměstky** - vměstky působí nepříznivě, neboť se projevuje jejich vrubový účinek a proto na nich nejdříve vznikají únavové mikrotrhliny. Nepříznivé působení vměstků se zvětšuje s jejich velikostí,
- **drsnost povrchu** - drsnost povrchu má rovněž výrazný vliv na odolnost proti únavovému opotřebením. Vysvětlit to lze opět vrubovými účinky drsnějších povrchů. Zejména u povrchově tvrzených materiálů je vliv drsnosti povrchu na jejich odolnost výrazný. (Pošta, 2002)

4.4.2 Účinky únavy na povrchy

Postupná kumulace poruch v povrchové vrstvě materiálu při opakovaných stykových napětích.

Pokud se únavové opotřebením projevuje nejvíce v místech dotyku zakřivených povrchů, označujeme tuto únavu materiálu jako kontaktní únavu. V technické praxi bývá únavový proces převážně v kombinaci s adhezivním opotřebením.

4.4.3 Příklady součástí s výskytem únavového opotřebení

- **valivá ložiska,**
- **ventily a zdvihátka,**
- **ozubená kola,**
- **kolejnice,**
- **pneumatické kladivo.** (Stodola, 2008)



Obr. 22 Únavové opotřebení kroužku ložiska (<http://degradace.tf.czu.cz>)

4.5 Vibrační opotřebení

Vibrace souvisí s mechanickým kmitáním těles s různými amplitudami.

Mechanismus opotřebení:

- **tvorba malých částic plasticky deformovaných kovů,**
- **první stádium - oxidace - oddělování oxidů,**
- **druhé stádium vytvoření jiného změněného povrchu** - změna povrchu, geometrie a mechanických vlastností. (Stodola, 2008)

4.5.1 Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení

- **amplituda pohybu** - vibrační opotřebení vzniká především tehdy, je-li amplituda pohybu větší, než může být vyrovnáno pružnými deformacemi povrchů a kdy tedy dochází ke skluzům. S rostoucí amplitudou pohybu se intenzita vibračního opotřebení zvyšuje,
- **frekvence pohybu** - při nižších frekvencích je opotřebení intenzivnější. Vysvětluje se to tím, že při nižších frekvencích se výrazněji mohou projevit chemické (korozní) složky procesu. Chemické reakce potřebují pro svůj průběh určitý čas. Se zvětšováním kmitočtu se zkracuje doba působení korozních činitelů na čerstvě obnažený kov i na již oddělené částice,
- **měrný tlak ve styku se součástí** - s rostoucím měrným tlakem se zvětšuje tření, tím se zmenšuje amplituda vibrací a tedy i opotřebení. Je-li vzájemný pohyb v důsledku vysokého měrného tlaku zcela vyloučen, k vibračnímu opotřebení

nedochází. Tato podmínka však v praxi nebývá často splněna ani u nalisovaných spojení,

- **vlastnosti materiálu** - z vlastností materiálu působí na vibrační opotřebení především jeho schopnost tvořit oxidy, bránící kovovému styku součástí. Odolnost materiálu, který snadno a rychle tvoří oxidy je pak závislá především na abrazivních vlastnostech těchto oxidů. Tvrdost povrchu zpravidla zvyšuje odolnost proti vibračnímu opotřebení. (Pošta, 2002)

4.5.2 Účinky vibrace na povrchy

Oddělování částic a poškozování materiálu vzájemnými kmitavými tangenciálními posuvy povrchů při působení normálového zatížení.

Amplitudy vibrací jsou 0,1-100 μm .

Produkt opotřebení - oxidy železa způsobující charakteristické zbarvení povrchu.

4.5.3 Příklady součástí s výskytem únavového opotřebení

- **valivá ložiska,**
- **čepy,**
- **hřídele a spojky,**
- **náboje těles,**
- **setrvačníky,**
- **šrouby.** (Stodola, 2008)



Obr. 23 Vibrační opotřebení ložiska (<http://degradace.tf.czu.cz>)

5 OPOTŘEBENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Hlavním problémem při práci zemědělských strojů s půdou je abrazivní opotřebení. Pracovní nástroj, který přemísťuje nebo zpracovává půdu podléhá dynamickému zatížení, abrazivnímu opotřebení a chemickému působení okolního prostředí. Typickým příkladem pracovních částí zemědělských strojů, které podléhají intenzivnímu opotřebení jsou: čepel pluhu, odhrnovačka, radlička kypřiče, hrot brán, disk podmítače. U většiny uvedených příkladů jsou vlastnosti prvků tribologického systému stejné nebo velmi podobné. Podobné jsou také proměnné faktory ovlivňující opotřebení.

Základní charakteristické proměnné veličiny jsou:

- **typ pohybu,**
- **specifický tlak,**
- **rychlost pohybu,**
- **nárazy,**
- **pulzace tlaků,**
- **přítomnost kamenů.**

Vzájemný pohyb půdy a nástroje je kluzný pohyb částečně vázaných abrazivních částic půdy po nástroji. Velikost specifického tlaku je v různých místech stykové plochy různá. Různým zatížením a dráhou relativního pohybu částic se pracovní povrch opotřebovává nerovnoměrně. (*Blaškovitš, 1990*)

Při volbě materiálu pracovního nástroje zemědělských strojů se vychází z požadavků zajistit životnost při minimálních výrobních a provozních nákladech. Hlavním předpokladem pro optimální volbu materiálů je znalost jejich chování v různých podmínkách provozu. Velká pozornost se věnuje namáhání vyvolaného působením statických a dynamických sil. Při překročení meze pevnosti nebo meze únavy dochází k náhlé změně kvality - lomu. Podstatně menší pozornost je při volbě materiálu věnována procesům opotřebení, které postupně mění rozměry a tvar povrchu funkčních součástí. (*Suchánek, 2010*)

5.1 Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení je způsobeno rozrýváním a řezáním měkčího povrchu jednoho tělesa drsnějším povrchem druhého tvrdšího tělesa. K podobnému efektu může dojít

působením oddělených úlomků nebo vytrhaných částic z funkčních povrchů, které zůstanou mezi těmito pohybujícími se povrchy.

Celý proces abrazivního opotřebení je podobný svými důsledky jiným mechanismům opotřebení. Rozdílnost je třeba vidět v abrazivních parametrech a charakteru částic dopadajících na povrch druhého objektu. Volné částice jsou vtlačovány do měkkého povrchu, který rýhují nebo odřezávají ve směru jejich pohybu. Úlomky a částice (třísky, piliny, vytrhnutá zrna, písek, prachové částice aj.) povrchový materiál deformují nebo přemísťují až do jeho dalšího porušení, kdy vznikají mikrotrhliny přecházející do lomů, čímž proces abrazivního opotřebení přechází do stádia porušování. (Stodola, 2008)

5.1.1 Faktory ovlivňující intenzitu opotřebení

- **množství abrazivních částic mezi opotřebovávanými povrchy** - pokud je částic hodně, dochází k jejich shlukování a vrstvení a tím k abrazivnímu opotřebení i v případě, že většina částic má menší velikost, než je vůle mezi povrchy,
- **tvár abrazivních částic** - ostrohranné částice působí intenzivněji než zaoblené,
- **velikost abrazivních částic** - pokud jsou abrazivní částice mezi dvěma povrchy volné, dochází k opotřebení jen těmi částicemi, které jsou větší než vůle mezi oběma povrchy, případně než tloušťka mazacího filmu,
- **pevnost abrazivních částic** - při nízké pevnosti abrazivních částic dochází k jejich drcení a otupování částic olamováním hran. Zároveň se však při drcení vytvářejí nové částice s ostrými hranami. Tyto jevy působí protikladně. Výsledkem je, že s rostoucím zatížením povrchů, působícím na abrazivní částice, nedochází prakticky ke změně jejich abrazivity,
- **tvrdost abrazivních částic** - čím jsou abrazivní částice tvrdší než opotřebovávaný povrch, tím snadněji do něj vnikají a intenzita opotřebení je větší. (Pošta, 2002)

5.1.2 Účinky abraze na povrchy

Tyto účinky jsou charakteristické úběrem materiálu z funkčního povrchu tvrdým a drsným povrchem druhého tělesa nebo abrazivních částic. Poškození má formu:

- **rýhování,**
- **oddělování různých objemů materiálu,**

- vzniku nerovnosti povrchu.

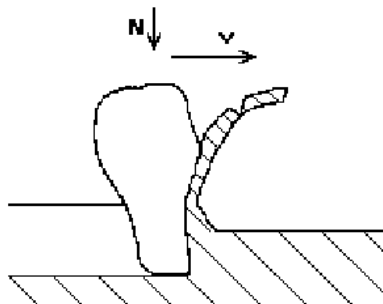
5.1.3 Příklady součástí s výskytem abrazivního opotřebení

- zuby rýpadel, lžíce nebo břity,
- opotřebení pluhu a zemědělské techniky pro práci v půdě,
- vodící plochy obráběcích strojů, čepy a vodící oka,
- třecí plochy v endoprotézách,
- válečková valivá ložiska, pístní kroužky,
- železniční kola a kolejnice. (Stodola, 2008)

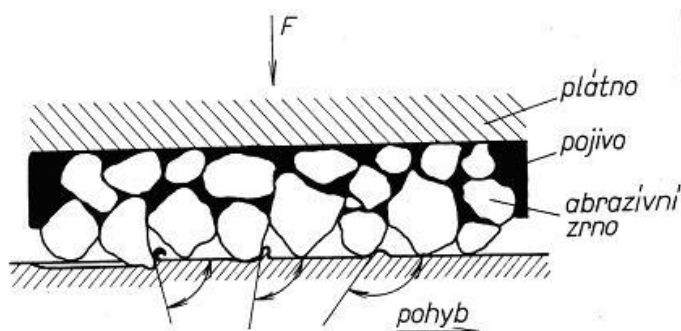


Obr. 24 Abrazivní opotřebení plužní čepel (http://degradace.tf.czu.cz)

Uvádí se, že více jak 50% všech opotřebení strojů a strojních zařízení je způsobováno abrazí. Nejjednodušší model pro abrazivní opotřebení kovů je případ dvou těles, kdy pevně vázané tvrdé částice nebo nerovnosti povrchu vnikají do povrchu a při relativním pohybu částic a měkčího opotřebovávaného povrchu kovu ho rýhují. Tento proces může a také nemusí vést k oddělování třísek opotřebovávaného materiálu. Existují 2 extrémní případy. (Suchánek, 2010)



Obr. 25 Schéma mechanismu abrazivního opotřebení (http://degradace.tf.czu.cz)



Obr. 26 Působení pevně vázaných abrazivních částic na opotřebovaný povrch (Suchánek, 2010)

U prvního případu dochází k rýhování povrchu spojeného s plastickou deformací, kdy se před abrazivní částicí vytváří nárůstek a materiál je kontinuálně vytlačován do boků a vytváří valy kolem rýhy. Teoreticky nedochází k otěru, protože se nevytváří částice otěru a nedochází k přenosu materiálu. Ve skutečnosti pravděpodobně bude otěr způsoben delaminačním mechanismem po vyčerpání deformační schopnosti povrchových vrstev materiálu podle Suha.

V druhém případě je tvorba rýh spojena s odstraňováním materiálu z povrchu mikrořezáním. Extrémem v tomto případě je odstranění celého objemu materiálu rýhy ve formě třísky bez tvorby valů po stranách rýhy. V reálných podmínkách na různých místech opotřebovaného povrchu houževnatého materiálu může docházet k porušování jeho povrchových vrstev:

- **vysokocyklovým kontaktním únavovým procesem** - abrazivní částice nevnikají do povrchu a způsobují pouze elastické deformace,
- **nízkocyklovým kontaktním únavovým procesem** - plastická deformace při vnikání abrazivních částic do povrchu,
- **rýhováním spolu s oddělováním částic opotřebovaného materiálu.**

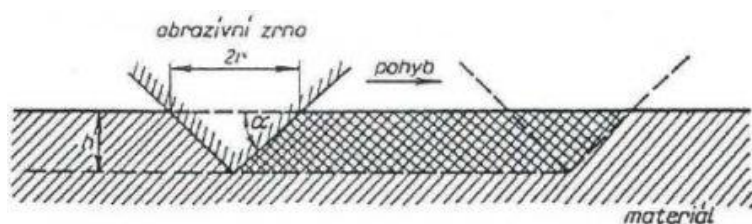
Při vysokých rychlostech relativního pohybu abrazivních částic vůči opotřebovanému povrchu je nutné uvažovat i o dalších degradačních mechanismech:

- **tepelné ovlivnění materiálu** - popouštění ocelí, měknutí polymerních materiálů,
- **adsorpční porušování** - reakce opotřebovaného materiálu s povrchově aktivními látkami snižujícími povrchovou tvrdost,
- **tribochemické reakce opotřebovaného materiálu s okolním prostředím.**

I když nastává plastická deformace během abrazivního opotřebení křehkých materiálů, křehký lom často určuje rychlost opotřebení. Podle Zum Gahra dokonce i při abrazivním opotřebení houževnatých materiálů může nastat porušování křehkým lomem a ovlivňovat tak tvorbu třísek a částic otěru. U houževnatých materiálů tato porucha nastane pravděpodobně těsně za abrazivní částicí, protože zde působí tahové napětí. Typ porušení při vnikání hrotu do povrchových vrstev křehkého materiálu závisí na působícím zatížení, na tvaru hrotu, na tom, klouže-li hrot po povrchu nebo působí staticky a na okolním prostředí. Odstraňování materiálu abrazí u křehkých materiálů tedy dochází spíše křehkým lomem než plastickou deformací. Také při abrazivním opotřebení heterogenních materiálů, které obsahují houževnaté a křehké fáze, může nastat porušování křehkým lomem. Převládající mechanismus odstraňování materiálu bude záviset na vlastnostech jednotlivých fází a na jejich objemovém podílu.

5.1.4 Analytický model abrazivního opotřebení

Relativně jednoduchý model abrazivního opotřebení využívá kužel příčně pronikající do povrchu. Tento model předpokládá, že veškerý materiál přemístěný pomocí kuželu se mění na úlomky - abrazivní částice opotřebení. Výhodou tohoto modelu je jeho analytická jednoduchost, i když jeho přílišné zjednodušení může vést k nepřesnosti. V modelu je individuální zatížení na abrazivní částici (úlomek) přenášeno vrubem způsobeným kuželem do povrchu materiálu a výsledkem je mezní namáhání projevující se jako průnik. (Stodola, 2008)



Obr. 27 Zjednodušený model interakce abrazivní částice s opotřebovávaným povrchem podle Rabinowicze (Suchánek, 2010)

5.1.5 Mechanismus abraze

Pro rovnováhu sil platí vztah:

$$F = p_m \times r^2$$

kde: p_m = tvrdost povrchu (přesněji tlak potřebný k dosažení plasticity povrchových vrstev materiálu)

r = poloměr vtisku v úrovni původního povrch

Při pohybu kužele po dráze l se odstraní objem materiálu:

$$dW_0 = r \times h \times dl = \frac{F \times \operatorname{tg} \alpha}{p_m \times \pi} dl$$

Hodnota p_m není konstantní, mění se s úhlem α .

Celkový objem odstraněného materiálu (tj. objemový otěr W_0) je však výsledkem působení velkého množství abrazivních částic s různým úhlem α . Proto platí vztah:

$$W_0 = K_{abr} \times \frac{F \times l}{p_m}$$

kde: K_{abr} = průměrný tg všech abrazivních částic v daném případě

Podle Rabinowicze jsou obvykle hodnoty K_{abr} v mezích $2 \cdot 10^{-1} \div 2 \cdot 10^{-2}$. (Suchánek, 2010)

Zatížení, které bude působit na vybraný úlomek z povrchu materiálu, který se zapojuje do procesu:

$$W_g = 0,5\pi \times (d \times \operatorname{cotg} \alpha)^2 \times H$$

kde: W_g = individuální zatížení na úlomek [N]

kde: d = hloubka zářezu [m]

kde: α = úhel sklonu kužele

kde: H = mezní namáhání pod zářezem (mez pevnosti) [Pa] (Stodola, 2008)

Tab. 2 Tvrdost některých minerálů, abraziv a kovových materiálů (Suchánek, 2010)

Materiál	Tvrdost (HV)	Kovový materiál	Tvrdost (HV)
vápenec	110	železo Armco	90
sklo	500	žíhané oceli	100 - 250
živec	600 - 750	perlitická ocel	230 - 350
křemen	900 - 1280	ocel pro valivá ložiska	700 - 950
WC	1900	nástrojové oceli	700 - 1000
korund	2000	cementovaná ocel	900
TiC	2450	nitridovaná ocel	900 - 1250
SiC	2500	WC+Co	1400 - 1800

V praktickém nasazení strojů a strojních zařízení, kde se setkáváme s přírodními materiály, je obvykle nejtvrdší složkou SiO_2 (1000 HV). Proto vysokou odolnost proti opotřebení budou mít materiály s tvrdostí 500 - 770 HV. Avšak naše laboratorní experimenty ukázaly, že ani oceli s vysokým podílem velmi tvrdých komplexních a speciálních karbidů nemají konstantní hodnoty poměrné odolnosti proti abrazivnímu opotřebení.

Intenzivní abrazivní ořez závisí výrazně na mineralogických vlastnostech abraziva. Významnou úlohu mají tvrdost, tvar jednotlivých zrn (makro- a mikrogeometrie), zrnitost, štěpitelnost a houževnatost.

U ocelí a litin závisí odolnost proti abrazivnímu opotřebení na pevnosti základní kovové hmoty a na obsahu karbidů, tj. na obsahu uhlíku a dalších prvků ovlivňujících pevnost základní hmoty a tvorbu tvrdých strukturních složek. Podle chemického složení, tepelného zpracování a mikrostruktury mohou mít oceli a litiny velmi rozdílnou odolnost proti abrazivnímu opotřebení.

Tab. 3 Poměrné odolnosti proti abrazivnímu opotřebení vybraných ocelí a litin (Suchánek, 2010)

Opotřebovávaný materiál	Tvrdość (HV)	Poměrná odolnosť proti abrazivnímu opotřebení
ocel 12 014 (žíhaná) - ferit	95 - 105	1.0
ocel 12 020 (žíhaná) - ferit + perlit	152	1.2
ocel 12 050 (žíhaná) - ferit + perlit	195 - 205	1.32
ocel 19 152 (žíhaná na měkko) - perlit	167	1.19
ocel 12 050 (kalená) - martenzit	789	1.96
ocel 19152 (kalená) - martenzit	865	2.57
ocel 19 255 (kalená) - martenzit + cementit	750	1.89
ocel 19 436 (kalená) - martenzit + austenit + karbidy M_7C_3	876	3.85
ocel 42 2920 (aust. žíhaná) - austenit	260	1.59
bílá chromová litina Cr15Mo2 (kaleno) - martenzit + austenit + karbidy M_7C_3	67.1 HRC	4.01
nástřík K50	488 - 583	2.3
návar OTS 517	760	2.96

Při volbě materiálu se musí zvážít celá řada faktorů. Hlavně provozně-ekonomické hledisko a výrobně-technické hledisko. Materiál použitý pro konkrétní součást musí zajistit dostatečnou životnost a pevnost a to i při nahodilém překročení provozních parametrů. Z daných materiálů se v praxi volí ten, který při dlouhodobém provozu dovolu- je docílit nejnižší provozní náklady, nejmenší pracnost při údržbě nebo renovaci. (Suchánek, 2010)

6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Abrazivní opotřebení technických materiálů tvoří až 80% poruch strojního zařízení. Experimentální část diplomové práce je zaměřena na analýzu otěruvzdorných materiálů určených do podmínek zvýšeného abrazivního opotřebení v zemědělském provozu. Jedná se především o využití těchto materiálů pro stroje na zpracování půdy. Hlavní oblastí jsou čepele a dláta určená jak pro mělké zpracování, tak i pro hlubokou orbu. Na základě celkového srovnání jsou provedeny laboratorní i polní testy jednotlivých materiálů.

6.1 Charakteristika testovaných materiálů

Při zpracování půdy dochází nejen k abrazivnímu opotřebení břitů jednotlivých nástrojů, ale v závislosti na skeletovitosti půdy jsou rovněž nástroje vystaveny značnému dynamickému namáhání. Z tohoto důvodu je důležitá především houževnatost celé čepele. Zvolené materiály byly voleny dle tohoto parametru.

Ocel 14 100: Jedná se o materiál s vysokou tvrdostí povrchu odolným proti opotřebení. Využití nachází především ve výrobě čepů, vaček, ale i pístních kroužků či upínacích čelistí obráběcích strojů. V závislosti na množství uhlíku bude tento materiál žihán na nižší hodnoty. Tento postup byl zvolen z důvodu zvýšení houževnatosti po tepelném zpracování. Chemické složení je uvedeno v tab. 4.

Tab. 4 Chemické složení ocelí 14 XXX

Označení dle ČSN	Chemické složení [%]									Body přeměny [°C]			
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	Ni	Ost.	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
14 100	0,95	0,60	0,40	1,25	-	-	-	-	-	750	780	625	705
14 260	0,50	0,50	1,30	0,50	-	-	-	-	-	760	810	690	720

Ocel 14260 (54 SiCr6): Využití tohoto materiálu je především pro značně dynamicky namáhané strojní součásti. Jedná se o listové i válcové pružiny určené pro automobilový průmysl. Tento materiál je vhodný i do provozu se zvýšenou teplotou (300 °C). Při vhodném tepelném zpracování se vyznačuje dobrou abrazivní odolností. Chemické složení je uvedeno v tab. 4.

Ocel 15 130: Daný materiál je vhodný pro středně namáhané strojní součásti. Jedná se především o výrobu ojnic, klikových hřídelí nebo pevnostně namáhaných šroubů. Na základě chemického složení viz tab. 5 se doporučuje delší doba austenitizace. Materiál se vyznačuje velice dobrou prokalitelností i minimální náchylností proti povrchovému oduhličení.

Tab. 5 Chemické složení ocelí 15 XXX

Označení dle ČSN	Chemické složení [%]									Body přeměny [°C]			
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	Ni	Ost.	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
15 130	0,32	0,70	0,17	0,90	0,15	-	-	-	-	740	790	660	770
15 230	0,24	0,80	0,40	2,50	-	0,2	-	-	-	750	840	650	750

Ocel 15 230: Jedná se o materiál pro staticky i dynamicky namáhané součásti strojů. Lze ho použít i pro výrobu střížných kolíků i nosných prvků. Tento materiál se s výhodou používá pro výkovky ventilů či vahadel. Chemické složení viz tab. 5 zajišťuje nízkou intenzitu opotřebení i při vyšších teplotách nad 100°C.

6.1.1 Otěru-vzdorné materiály typu Creusabro

Jedná se o nízkouhlíkovou ocel se zvýšenou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Vnitřní mikrostruktura tohoto materiálu je tvořena především martenzitickými lamelami a bainitem. Část mikrostruktury je rovněž tvořena zbytkovým austenitem, který zajišťuje dobrou houževnatost během dynamického namáhání. Ve struktuře se nacházejí také velmi tvrdé homogenně rozptýlené karbidy titanu a chromu. Materiál je vhodný především pro nástroje zpracovávající půdu nebo u strojů pracujících v dolech a lo-mech. Chemické složení a mechanické parametry testovaných materiálů jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Chemické složení Creusabro

	Chemické složení [%]							Body přeměny [°C]		
	C	Mn	Ti	Cr	Mo	Ni	Ost.	Tvrđost [HB]	Pevnost v tahu [MPa]	KCV [J/cm ²]
Creusabro 4 800	0,20	1,60	0,20	1,90	0,40	0,20	zbytek	370	1200	45
Creusabro 8 000	0,28	1,60	-	1,60	0,20	0,40	zbytek	750	1630	40

6.1.2 Chemická analýza plužního dláta určená pro pluhy Kverneland

Testované materiály jsou porovnávány s originálním dlátem určeným pro pluhy Kverneland PB/RB. Jelikož výrobce udává pouze základní chemické složení testovaného materiálu, byla provedena chemická analýza na elektronovém rastrovacím mikroskopu VEGA II XMU (Tescan) ve spojení s energiově dispersním mikroanalyzátořem QUANTAX 800.

Měření prvkového složení vzorku se provádělo ve třech ploškách při přístrojovém zvětšení 100x. Napětí na měřicí sondě bylo stanoveno na 15 kV. Tato hodnota byla stanovena z důvodu eliminace okolních vlivů. Hodnoty měření jsou hmotnostní koncentrace na 100%. Výsledky chemického složení jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tab. 7. Jedná se o průměrnou hodnotu ze třech měření.

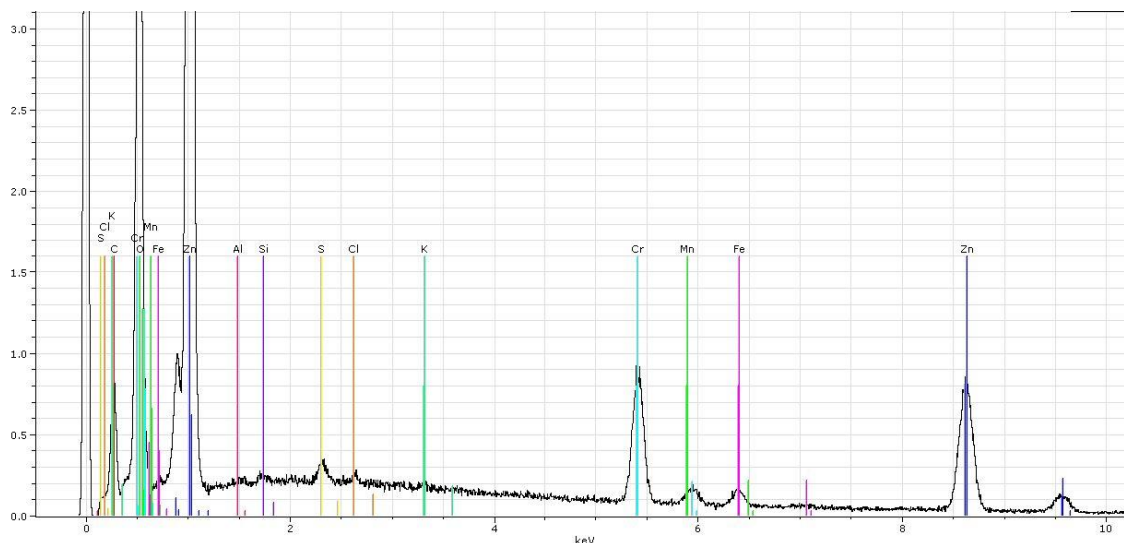
Na základě chemického složení testovaného materiálu lze konstatovat vyšší procentuální zastoupení karbidotvorných prvků. Rovněž byl zaznamenán i výskyt niklu a wolframu, což vede k tvorbě houževnaté matrice jednotlivých strukturních fází.

Tab. 7 Chemické složení originálního dláta

	Chemické složení [%]									
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Al	Zn	W	Ni	Ost.
Originální dláto	0,38	2,18	1,41	1,98	0,40	0,15	0,02	0,14	0,24	-

Jednotlivé píky prvkového složení jsou zaznamenány na obr. 28. Dle dané charakteristiky se v materiálu vyskytuje i zastoupení zinku, což může být způsobeno nečisto-

tou kalící pece při tepelném zpracování. Z důvodu mechanických vlastností daného materiálu je zastoupení zinku nežádoucí.



Obr. 28 EDS spektrum pluzního dláta (výsledky chem. složení viz tab. 7)

6.1.3 Tvrdonávarové elektrody

Testované elektrody byly podrobeny laboratorním zkouškám za účelem určení optimální varianty pro výrobu pluzního dláta s dosažením pilového a samoostřícího efektu. Průměr elektrod byl zvolen 2,5 mm, navařovací proud 60 A. Pro omezení vlivu promísení se základním materiálem byly jednotlivé vzorky navařeny vždy ve dvou vrstvách svarové housenky. Chemické složení svarového kovu je uvedeno v tab. 8.

- OK 8350: daný typ elektrody je vhodný pro použití na renovaci opotřebovaných dílů zemědělských strojů. Jedná se především o půdu-zpracující nástroje. Dle chemického složení se jedná o materiál legovaný Cr a Mo. Při aplikaci na opotřebovanou součást je třeba provést její předehřev na cca 250 °C,
- E-B 511: Materiál je vhodný pro navařování funkčních ploch odolávajících opotřebování při dynamickém zatížení. Houževnatost svarového kovu zaručuje využití i u renovací ventilů nebo ostří štěpkovačů. Samotný svarový kov rovněž odolává teplotám do 400 °C. Návar se obvykle tepelně nezpracovává,
- OK 8484: Elektroda poskytuje svarový kov s vysokým podílem jemných karbidů v martenzitické matici. Svarový kov odolává intenzivnímu abrazivnímu namáhání především minerálními látkami. Optimální tvrdost svarového kovu je zaručena již v první vrstvě návaru. Jedná se tedy o minimální promísení svarového kovu se základním materiálem. Předehřev součásti je 200 °C.

Tab. 8 Chemické složení svarového kovu

Testované materiály	Tvrdost HRC	Chemické složení testovaných elektrod [%]				
		C	Si	Mn	Cr	Ti
OK 8350	51	0,4	0,4	0,7	6,0	-
E-B 511	48	0,2	0,3	0,6	13,0	-
OK 8484	60	3,0	2,0	0,3	6,3	4,8

6.2 Výroba zkušebních vzorků

Na základě specifikace jednotlivých testů byly vyrobeny zkušební vzorky s patřičnými rozměry pro dané analýzy. Dle charakteru laboratorních i provozních zkoušek lze jednotlivé vzorky rozdělit do těchto skupin:

- analýza houževnatosti (Charpyho kladivo) rozměr 10x10x55 mm s vrubem – tyto vzorky budou rovněž využity pro testy na brusném plátně,
- vzorky pro test v Bondově přístroji s volným abrazivem rozměr 50x10x55 mm,
- speciálně upravené vzorky s drážkou pro aplikaci svarového kovu,
- vzorky pro testování v provozních podmínkách určené na pluh Kverneland PB 100.

Pro frézování byly použity vyměnitelné břitové destičky (VBD) uvedeny v tab. 9. Tyto destičky byly použity v kombinaci s rovinnou frézou 63A06R- S90AD16E-C.

Tab. 9 Technické parametry břitové destičky ADMX160608SR

Označení	Materiál	Rozměry [mm]				
		l	d	s	d ₁	r _ε
ADMX160608SR	8230	16,00	9,95	6,25	4,50	0,80

Jednotlivé vzorky byly opracovány s přesností na 0,05 mm. Pro třískové obrábění byla použita vertikální nástrojová frézka viz obr. 29.



Obr. 29 Vertikální frézka FNK 25

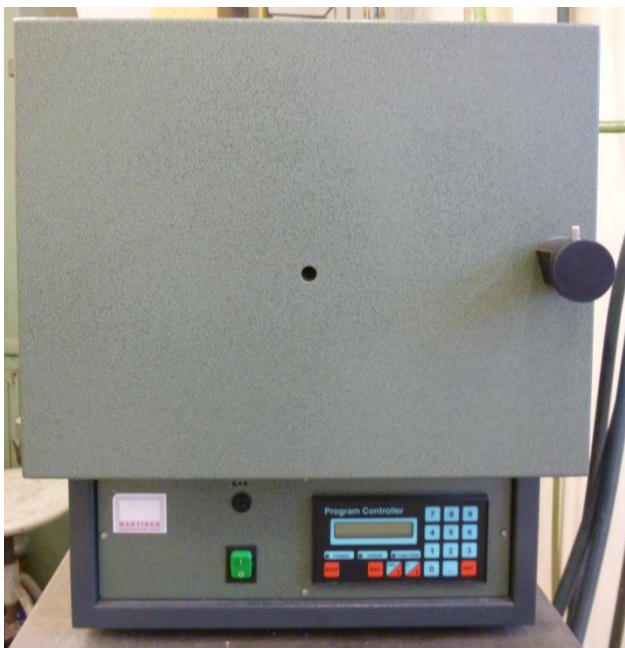
Z materiálu 14 260 byly rovněž připraveny vzorky pro aplikaci svarových housenek viz obr. 30. Z důvodu maximální abrazivní odolnosti byly použity tvrdokovové elektrody určené do podmínek se zvýšeným opotřebením.



Obr. 30 Příprava vzorků pro aplikaci tvrdokovu

6.3 Tepelné zpracování tetovaných materiálů

Na základě chemického složení byl stanoven postup tepelného zpracování daných materiálů. Jedná se o nejdůležitější operaci během přípravy vzorků. Tepelné zpracování ovlivňuje veškeré mechanické vlastnosti daných materiálů. Při nevhodně zvolených teplotách může nastat velké množství vnitřních defektů, které zásadně ovlivňují výslednou mikrostrukturu finální součásti. Tepelné zpracování bylo provedeno v muflové peci viz obr. 31.



Obr. 31 Muflová kalící pec s plynulou regulací náběhové teploty

Velice důležitým aspektem při tepelném zpracování kovových materiálů je povrchová ochrana jednotlivých součástí proti oduhličení vrchní části tepelně zpracovaných vzorků. Z tohoto důvodu byl použit u všech tepelně zpracovávaných vzorků přípravek Tinderex K 12124. Jedná se o vysoce kvalitní homogenní povlak určený pro zamezení volné difuze uhlíku do okolního prostředí. Příprava vzorků viz obr. 32.



Obr. 32 Tepelné zpracování vzorků pro zkoušku na Charpyho kladivu

Parametry tepelného zpracování byly zvoleny dle technických norem daného materiálu. Prvotní analýza po tepelném zpracování byla zaměřena na houževnatost daného materiálu. Z tohoto důvodu byly zvoleny u testovaných vzorků dvě popouštěcí teploty. V tab. 10 jsou charakterizovány jednotlivé teploty pro ocel 14 100.

Tab. 10 Tepelné zpracování oceli 14 100

Ocel 14 100	Kalení			Popouštění	
	Austenizace [°C]	Výdrž [°C]	Ochlazovací médium	Ohřev [°C]	Ochlazovací médium
Vzorek1	840	20	<i>olej</i>	450	<i>vzduch</i>
Vzorek 2	840	20	<i>olej</i>	600	<i>vzduch</i>

Ocel 14 260 je určena do podmínek s dynamickým namáháním. Tepelné zpracování tohoto materiálu viz tab. 11 je charakteristické širokým intervalem popouštěcích teplot.

Tab. 11 Tepelné zpracování oceli 14 260

Ocel 14 260	Kalení			Popouštění	
	Austenizace [°C]	Výdrž [°C]	Ochlazovací médium	Ohřev [°C]	Ochlazovací médium
Vzorek1	860	20	<i>olej</i>	300	<i>vzduch</i>
Vzorek 2	860	20	<i>olej</i>	600	<i>vzduch</i>

Z důvodu rychlejšího odvodu tepla během kalicího procesu byla u vzorků z oceli 15 XXX použita vodní lázeň. Tepelné zpracování je uvedeno v tab. 12.

Tab. 12 Tepelné zpracování ocelí 15 XXX

Ocel 14 260	Kalení			Popouštění	
	Austenizace [°C]	Výdrž [°C]	Ochlazovací médium	Ohřev [°C]	Ochlazovací médium
Ocel 15 130 Vzorek1	850	20	<i>voda</i>	530	<i>vzduch</i>
Ocel 15 130 Vzorek 2	850	20	<i>voda</i>	690	<i>vzduch</i>
Ocel 15 230 Vzorek1	880	20	<i>voda</i>	550	<i>vzduch</i>
Ocel 15 130 Vzorek 2	880	20	<i>voda</i>	650	<i>vzduch</i>

6.4 Zkouška rázem v ohybu ČSN EN 10045-1

Pro stanovení užitečných vlastností materiálu při rázovém namáhání slouží zkouška rázem v ohybu. Jedná se o velice důležité hodnoty, na základě kterých lze do jisté míry předpokládat chování technického materiálu v reálných podmínkách. Získané výsledky korelují s chováním zkoušeného materiálu z hlediska odolnosti vůči křehkému porušení. Vzorky byly vyrobeny dle rozměrů uvedených v normě ČSN EN 10045-1. Patříčné vzorky byly vyrobeny i z patříčného dřeva dodávaného dealerem pro firmu Kverneland. Testy byly prováděny na zkušebním zařízení (Charpyho kladivu) viz obr. 33.

Pro daný experiment bylo vyrobeno 5 vzorků od každého testovaného materiálu. Z jednotlivých měření byl vypočten aritmetický průměr viz tab. 13. Tvrdokovové materiály aplikované pomocí elektrod testované nebyly.



Obr. 33 Zkušební zařízení Charpyho kladivo

Pro stanovení houževnatosti technických materiálů lze použít jednoduchého matematického vztahu. Míra houževnatosti K_c je vlastně spotřebovaná práce na porušení zkušebního tělesa, vztažená k počátečnímu průřezu zkušebního tělesa v místě vrubu.

$$K_c = \frac{K}{s_0} [\text{J}/\text{cm}^2]$$

Spotřebovaná práce K je dána rozdílem potenciálních energií kladiva před a po rázu.

$$K = G \times (H - h) [\text{J}]$$

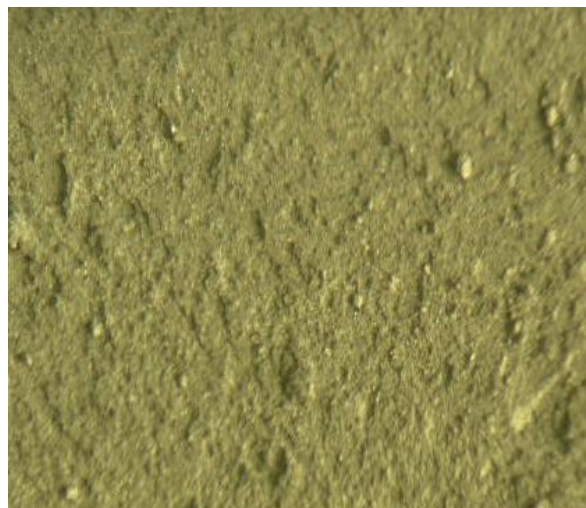
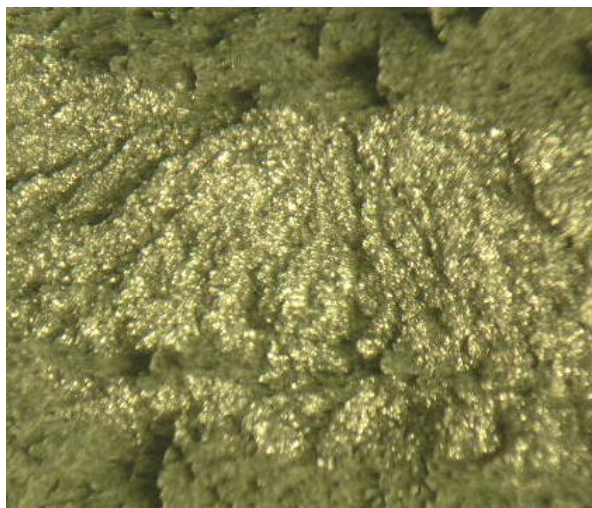
Výsledek zkoušky stanoví náchylnost testovaného materiálu ke křehkému, nebo naopak houževnatému lomu.

Tab. 13 Výsledek houževnatosti po tepelném zpracování

Testovaný materiál	Počet měření					Průměr [J/cm ²]
	1 [J/cm ²]	2 [J/cm ²]	3 [J/cm ²]	4 [J/cm ²]	5 [J/cm ²]	
14 100 popuštěno 450°C	12,5	11,9	13,5	12,2	12,8	12,58
14 100 popuštěno 600°C	18,3	21,6	19,4	17,9	19,1	19,26
14 260 popuštěno 300°C	19,6	22,1	22,9	21,1	20,9	21,32
14 260 popuštěno 600°C	25,9	27,1	26,3	25,8	26,8	26,38
15 130 popuštěno 530°C	29,5	28,3	28,7	27,4	29,1	28,60
15 130 popuštěno 690°C	33,2	34,0	33,1	33,8	31,9	33,20
15 230 popuštěno 550°C	30,4	29,7	28,9	30,1	31,2	30,06
15 230 popuštěno 650°C	36,2	37,8	35,2	36,7	36,9	36,56
Creusabro 4 800	40,1	41,2	40,0	42,1	39,9	40,66
Creusabro 8 000	36,2	35,2	35,7	36,9	36,4	36,08
Tvrdokovový návar	<i>Touto metodou nelze testovat</i>					
Originální materiál	45,3	45,9	44,9	44,8	45,0	45,18

Jak je patrné z tab. 13, tepelné zpracování a především obsah uhlíku v materiálu má zásadní vliv na houževnatost vytvoření struktury. Křehký lom byl zaznamenán především u materiálů s nižší popouštěcí teplotou.

Pro sledování fragmentované části zkušebních vzorků byl použit binokulární mikroskop Meopta se standardním zvětšením 10×. Jednotlivé lomové plochy jsou znázorněny na obr. 34-35.



Lomová plocha oceli 14 260 popuštěno 600°C (a) Lomová plocha oceli 14 100 popuštěno 450°C (b)

Obr. 34 Lomová plocha oceli 14 XXX

Jak je patrné z obr. 34 (a) lomová plocha oceli 14 260 vzkazuje jednoznačně známky krystalického lomu. Značné množství různě orientovaných lesklých faset poukazuje na transkrystalické štěpení základní kovové hmoty. Na obr. 34 (b) se jedná jednoznačně o křehký lom s razantní destrukcí základní hmoty.



Originální plužní dláto (a)

Lomová plocha oceli 15 130 popuštěno 530°C (b)

Obr. 35 Lomová plocha originálního dláta a oceli 15 130

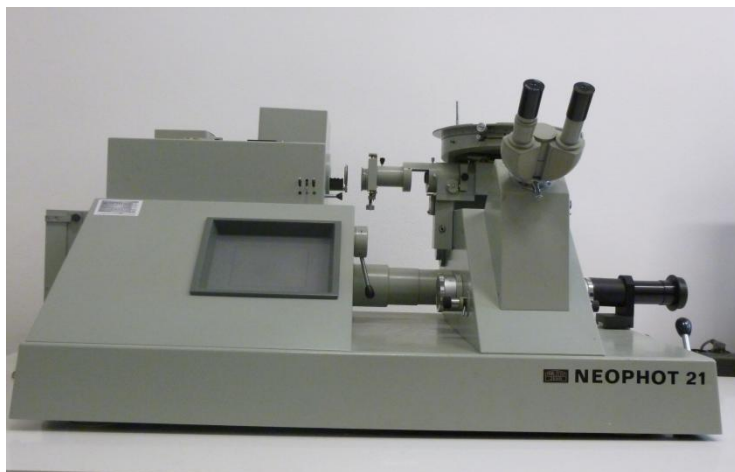
Lomová plocha obr. 35 (a) originálního dláta, je tvořena ve střední části lomem krystalickým, který postupně přechází v lomovou plochu houževnatého charakteru. Množství lesklých faset rovněž poukazuje na křehké porušení střední části. Na obr. 35 (b) je rovněž znázorněn křehký lom oceli 15 130.

6.5 Metalografické vyhodnocení použitých materiálů

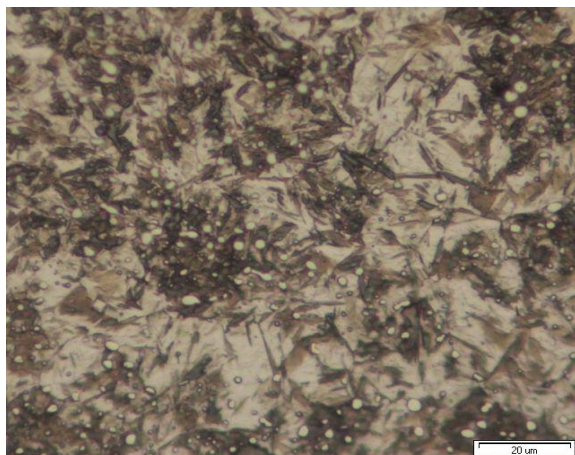
Metalografie patří mezi základní vědní disciplínu zabývající se vnitřní strukturou kovových materiálů. Připravené vzorky byly podrobeny metalografické analýze jednotlivých strukturních fází vzniklých po tepelném zpracování. Přípravu metalografických preparátů lze shrnout do následujících kroků:

- **dělení vzorků** - pro tuto operaci byla použita metalografická pila Mikron 110. V této fázi nesmí být tepelně ovlivněn řez ani jeho okolí,
- **výroba metalografické kapsle** - část metalografického vzorku je zalita do polymethylmetakrylátové licí pryskyřice „dentacryl“,
- **broušení** - jednotlivé vzorky byly broušeny na metalografické brusce Struers DAP-7. Stanovení zrnitosti bylo od 220, 400, 600, 1 500, 2 500 zrn na čtvereční palec,
- **leštění** - Pro leštění vzorků byla použita metalografická leštička MTH. Zvolené abrazivo bylo OPS + diamantový sprej 1 μm ,
- **leptání** - jedná se o jednu z nejdůležitějších operací během přípravy vzorků. K leptání byl použit roztok kyseliny dusičné v alkoholu (Nital).

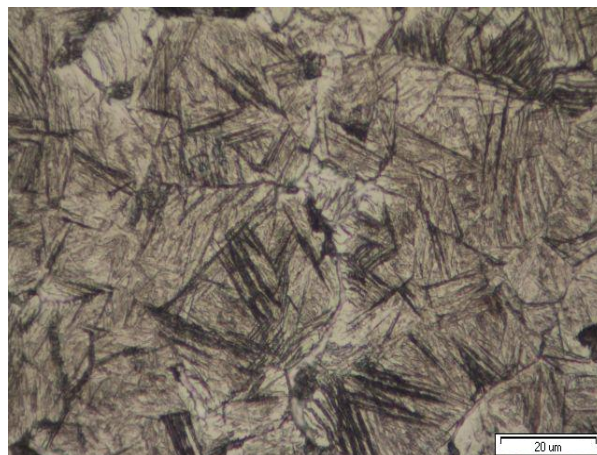
Světelná mikroskopie: fotografie jednotlivých struktur byly zhotoveny na metalografickém mikroskopu Neophot 21 viz obr. 36. Tento mikroskop je osazen fotoaparátem Canon EOS 1100 D.



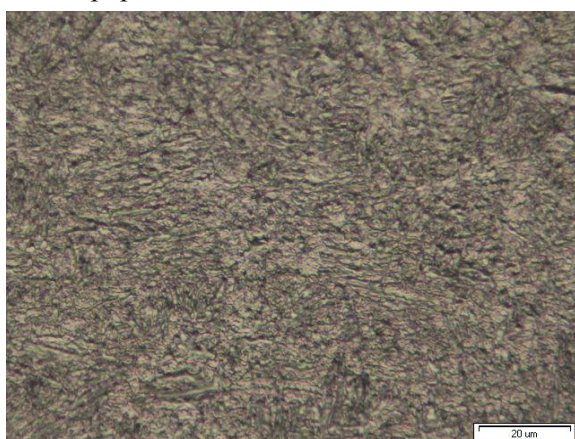
Obr. 36 Metalografický mikroskop Neophot 21



14 100 popuštěno 450°C



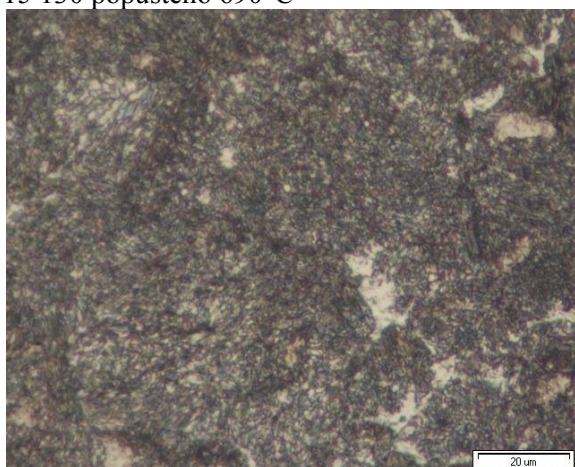
14 260 popuštěno 600°C



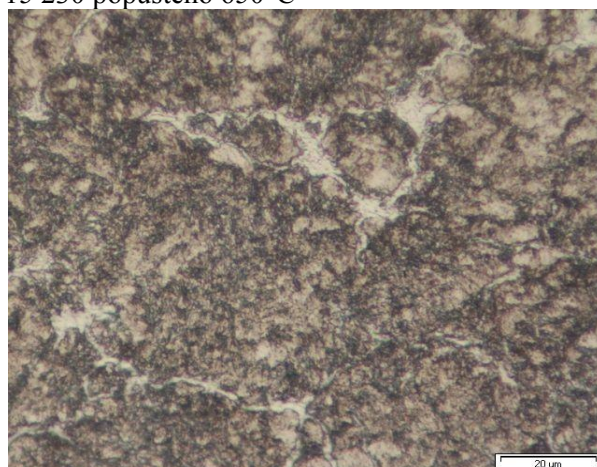
15 130 popuštěno 690°C



15 230 popuštěno 650°C



Originální materiál



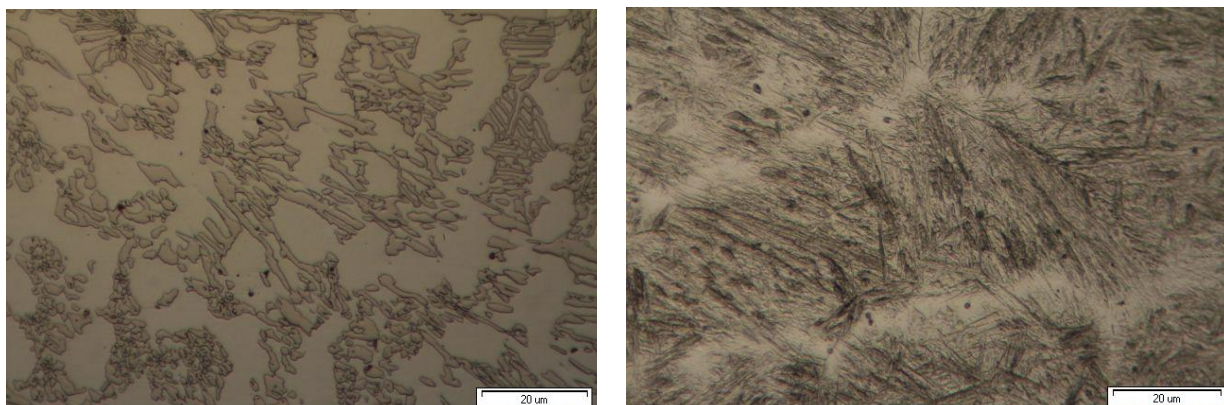
Creusabro 4 800

Obr. 37 Strukturní fáze testovaných materiálů

Jak je patrné z obr. 37 zásadní vliv na strukturální fáze jednotlivých vzorků má chemické složení daného materiálu. Jedná se především na vliv uhlíku a legujících prvků Cr, Mn nebo Si. U oceli 14 XXX jsou patrné jak karbidy rozmístěné v kovové matici, tak převážně popuštěná martenzitická struktura, která je doplněna bainitem. Tyto bainitické jehlice jsou orientovány podle základní martenzitické struktury. Ocel

15 XXX je tvořena převážně sorbitickou strukturou. Jedná se o houževnatou strukturální fázi, která se vyznačuje značnou eliminací vnitřního pnutí. Tento jev se projevuje v tlumení rázu a postupným houževnatým lomem. U otěru-vzdorného materiálu Creusabro i originálního dláta je strukturální složka tvořena převážně kombinací sorbitické a bainitické struktury. Dle metalografického výbrusu lze pozorovat i drobné ostrůvky zbytkového austenitu nebo feritu. Výskyt této strukturální fáze ovšem může způsobovat sníženou schopnost abrazivní odolnosti. Kladným faktorem je ovšem houževnatost, kterou tyto materiály disponují.

Metalografické hodnocení strukturálních fází tvrdonávarových elektrod bylo provedeno na podkladové oceli 11 373. Z důvodu eliminace promísení svarového kovu byly použity návary s tloušťkou návaru min. 15 mm. Tato hodnota je adekvátní 2-3 vrstvám svarové hmoty nad sebou.



Obr. 38 Návar OK 8478 (vlevo) a OK 8350 (vpravo)

Jak je patrné z obr. 38, chemické složení obalené elektrody primárně určuje morfologii strukturálních fází ve svarovém kovu. U návarových elektrod typu OK 83XX je základní charakteristikou množství uhlíku. Se stoupajícím procentem uhlíku přechází vnitřní struktura svarového kovu od feriticko-sorbitické až po martenzitickou. Druhý typ testovaných materiálů OK 84XX lze zařadit do kategorie ledeburitických návareů. Rovněž dle obr. 38 je zřejmé, že převážnou část svarového kovu tvoří karbidy. Jedná se o primárně vyloučené karbidy chromu (návar OK 8478) v austeniticko-martenzitické matici. V obou případech se karbidy vyznačují rovnoměrným rozptýlením ve svarovém kovu. Řádkovitost karbidů nebyla pozorována.

6.6 Analýza tvrdosti testovaných materiálů a mikrotvrdosti strukturních fází

Výsledná tvrdost ocelové součásti má značnou vypovídající schopnost o její životnosti a celkovém opotřebení (Dillinger 2007). V podmínkách zpracování půdy ovšem do značné míry záleží na schopnosti materiálu tlumit rázy při styku s půdními frakcemi (skeletem). Měření tvrdosti bylo provedeno na pěti vzorcích od každého materiálu metodou HRC viz obr. 39 (vtlačování diamantového kužele s vrcholovým úhlem 120° silou 1470 N do vzorku). Z výsledného aritmetického průměru je zřejmé, že na výslednou tvrdost má zásadní vliv chemické složení a tepelné zpracování daného materiálu.



Obr. 39 Vtlačovací injektor pro metodu HRC

Měření mikrotvrdosti bylo provedeno pomocí Hannemannova mikrotvrdoměru, který je součástí metalografického mikroskopu Neophot 21 viz obr. 40. Jedná se o klasickou metodu dle Vickerse. Do materiálu je vtlačován diamantový kužel o vrcholovém úhlu 136° silou 0,1 kp. Podle délky úhlopříček je následně odečtena mikrotvrdost HV. Z důvodu nízké houževnatosti byly měřeny pouze vzorky s vyšší popouštěcí teplotou.

Měření mikrotvrdosti bylo provedeno opět na souboru 3 vzorků od každého materiálu. Bylo odečteno 5 hodnot z každého vzorku a vypočítán aritmetický průměr. Jednotlivé hodnoty mikrotvrdosti jsou uvedeny v tab.14.



Obr. 40 Mikrotvrdoměr Hanneman

Jelikož byl Hannemanův mikrotvrdoměr disponuje injektorem s nižší rozlišovací schopností, jsou naměřené hodnoty částečně zkresleny velikostí jednotlivých strukturálních složek.

Tab. 14 Hodnoty mikrotvrdosti jednotlivých strukturálních fází testovaných materiálů

Použitá ocel	Popuštěný Martenzit [HV]	Sorbit [HV]	Bainit [HV]	Kardiby [HV]	Tvrdost HRC
14 100 popuštěno 600°C	942	-	-	1187	48
14 260 popuštěno 600°C	886	-	620	-	42
15 130 popuštěno 690°C	852	562	-	-	51
15 230 popuštěno 650°C	-	511	-	-	39
Creusabro 4 800	-	-	527	-	40
Creusabro 8 000	-	-	635	-	44
Originální dláto	-	493	-	-	32
Návar OK 8350	798	593	-	-	53
Návar 511	788	-	611	-	47
Návar OK 8478	-	644	-	1153	62

6.7 Laboratorní zkoušky

6.7.1 Opotřebení na brusném plátně ČSN 01 5084

Prvotní analýza vhodnosti testovaných materiálů pro aplikaci na půdu-zpracující nástroje byla provedena na brusném plátně. Principem abrazivního opotřebení je tzv. interakce dvou těles. Rovněž lze tuto zkoušku zařadit do analýz s pevnými abrazivními částicemi. Jedná se o částice oxidu hlinitého (Al_2O_3) které odebírají „třísku“ z testovaného materiálu. Rotující pohyb kotouče a radiální posuv vzorku zajišťuje neustálý kontakt testovaného materiálu s ostrými částicemi korundu. Hmotnostní úbytky byly váženy na digitálních vahách s přesností 0,01 g. Pro statistický výpočet průměrné hodnoty byly provedeny opakovaně tři měření s každým testovaným materiálem. Zkušební zařízení je znázorněno na obr. 41.



Obr. 41 Zkušební zařízení dle ČSN 01 5084

Dále byla vypočítána poměrná objemová odolnost proti abrazivnímu opotřebení ψ_{abr} podle vztahu:

$$\psi_{abr} = \frac{m_{et} \times \rho_{vzo}}{m_{vzo} \times \rho_{et}}$$

kde: m_{et} = hmotnostní úbytek etalonu [g]

m_{vzo} = hmotnostní úbytek vzorku [g]

ρ_{et} = hustota etalonu [g/cm^3]

ρ_{vzo} = hustota vzorku [g/cm^3]

Podmínky laboratorní zkoušky:

Tvar zkušebních vzorků pro abrazivní opotřebenění na brusném plátně s pevnými částicemi byl zvolen $10 \times 10 \times 10$ mm. Od každého testovaného materiálu byly vyrobeny tři vzorky. Jako porovnávací etalon byla zvolena tepelně nezpracovaná ocel 19 436. Pro jeden testovaný cyklus byla zvolena délka třecí dráhy 250 m. Celkový průměr otáčející se desky je 480 mm. Maximální kluzná rychlost zkušebního tělesa nesmí přesáhnout $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Přítlačný měrný tlak, který je vyvozen na zkušební vzorek nesmí přesáhnout $0,32 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Radiální posuv zkušebního tělesa je dimenzován na $3 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$.

Abrazivní médium na brusném plátně je tvořeno korundem. Dle normy ČSN 01 5084 je stanovena zrnitost na 120 jednotek.

Jednotlivé vzorky byly připraveny na metalografické pile metodou přesného dělení. Důležitým faktorem při přípravě vzorků je především zajistit optimální chlazení vzorku. Maximální odvod tepla z místa řezu eliminuje tepelně ovlivněnou oblast, která by mohla mít za následek zvýšení hmotnostních úbytků v prvním měření.

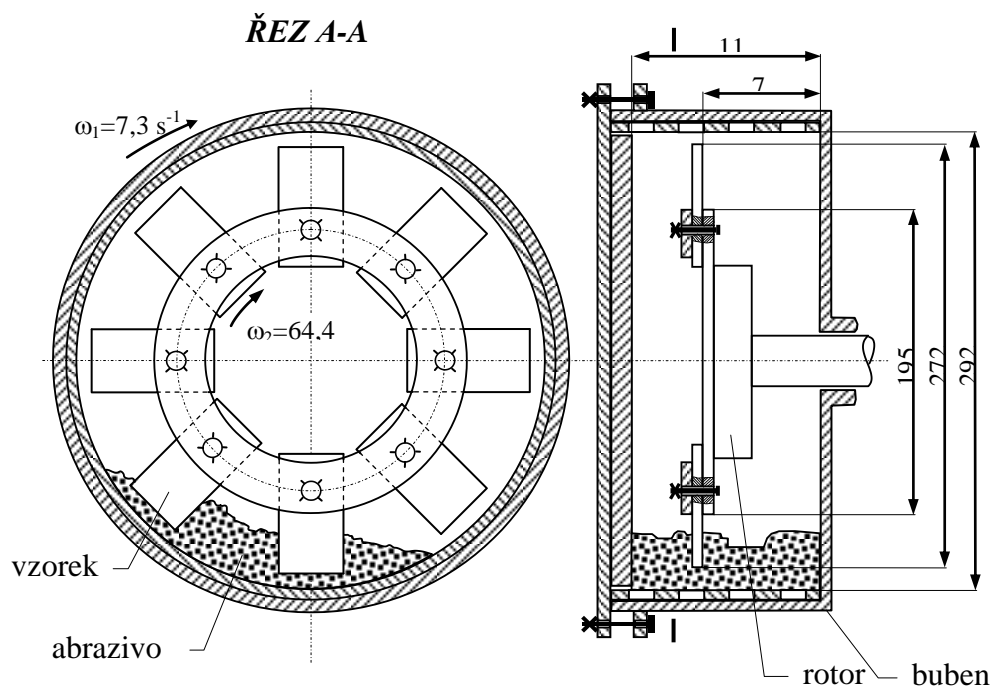
Tab. 15 Hmotnostní úbytky na brusném plátně

Testovaný materiál	Počet měření			Průměr [mg]	Odolnost proti opotřebenění	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
	1	2	3				
14 100 popuštěno 450°C	120	112	124	118,7	1,33	4,99	24,89
14 100 popuštěno 600°C	141	142	138	140,3	1,12	1,7	2,89
14 260 popuštěno 300°C	164	172	141	159	0,99	13,14	172,67
14 260 popuštěno 600°C	184	182	171	179	0,88	5,72	32,67
15 130 popuštěno 530°C	125	118	135	126	1,25	6,98	48,67

15 130 popuštěno 690°C	163	185	175	174,3	0,9	8,99	80,89
15 230 popuštěno 550°C	175	189	167	177	0,98	9,09	82,67
15 230 popuštěno 650°C	201	171	184	185,3	0,85	12,28	150,89
Creusabro 4 800	112	139	127	126	1,25	11,05	122
Creusabro 8 000	87	89	105	93,7	1,69	8,06	64,89
Návar OK 8350	134	149	131	138	1,14	7,87	62
Návar 511	139	149	151	146,3	1,08	5,25	27,56
Návar OK 8478	79	88	85	84	1,8	3,74	14
Originální materiál	151	149	174	158	1	11,34	128,67

6.7.2 Abrazivní odolnost v Bondově přístroji

K analýze odolnosti proti opotřebení ve volném abrazivu byl použit Bondův bubnový přístroj, viz obr. 42. Jedná se o zařízení s volnými abrazivními částicemi. Značná výhoda tohoto zařízení spočívá v simulaci abrazivně erozivního opotřebení, které nastává i v technické praxi. Svarové housenky byly aplikovány na zušlechťenou ocel 14 260. Důvodem bylo využití obdobné struktury, která se používá u abrazivně namáhaných součástí. Aplikace svarového kovu byla provedena na celé ploše zkušební vzorku. Vždy po aplikaci svarového kovu následovalo broušení na rovinné brusce. Důvodem je rovnoměrná plocha bez vnitřních vad, dutin či zavalenin strusky. Testované materiály byly aplikovány na zkušební vzorek vždy ve dvou vrstvách.



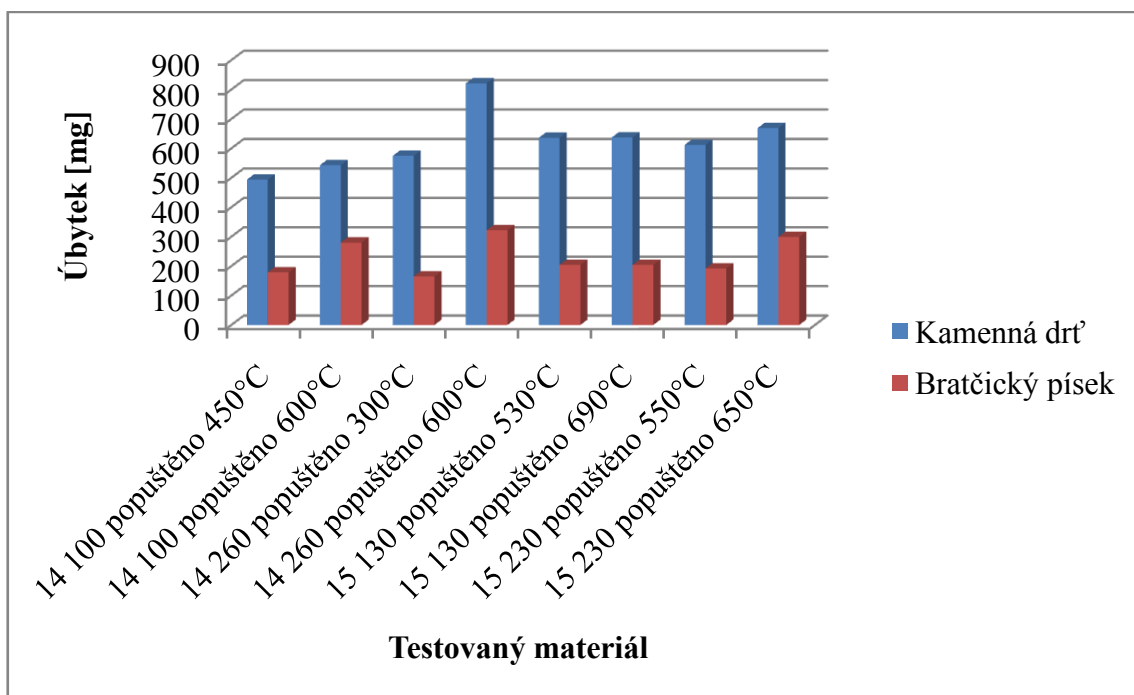
Obr. 42 Bondub bubnový přístroj

Zkušební tělesa v počtu dvou, čtyř, či osmi kusů jsou uchycena v rotoru ($\omega_2 = 64,4 \text{ s}^{-1}$). Rotor je uložen ve zkušebním bubnu, který se otáčí ve stejném smyslu ($\omega_1 = 7,3 \text{ s}^{-1}$). Velikost opotřebení se vyhodnocovala v intervalech 30, 45, 60, 120 a 240 minut. Po jednotlivých intervalech bylo abrazivo nahrazeno novým. Pro analýzu opotřebení byly zvoleny dva druhy abraziva. Jednalo se o kamennou frakci se zrnitostí 8 až 16 mm. Ostré hrany tohoto média zaručují značné abrazivní namáhání. Druhým mediem byl zvolen křemičitý písek. Tvrdost jednotlivých frakcí dosahuje hodnoty přes 1 200 HV. Objem abraziva v bubnu činil $1\,000 \text{ cm}^3$. Vážení očištěných vzorků se provádělo na elektronických vahách s přesností $\pm 0,01 \text{ g}$.

Tab. 16 Hmotnostní úbytky z Bondova přístroje

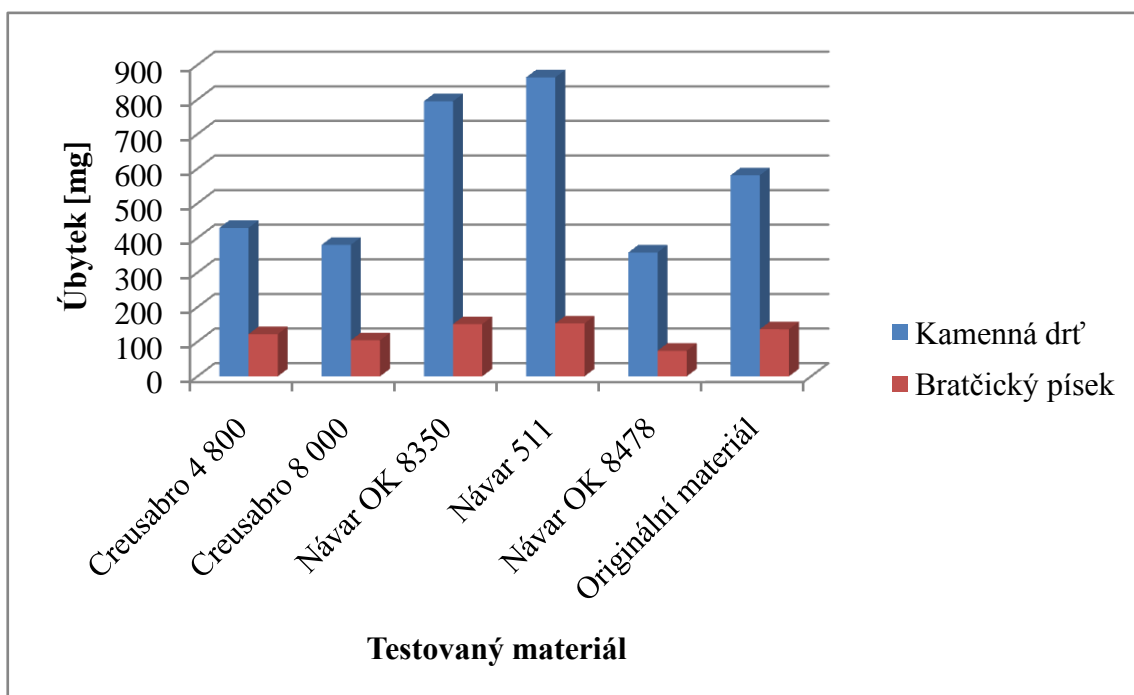
Testovaný materiál	Úbytek [mg]									
	Kamenná drť [min]				Celkový úbytek po 450 min	Bratčický písek [min]				Celkový úbytek po 450 min
	30	60	120	240		30	60	120	240	
14 100 popuštěno 450°C	45	88	147	214	494	18	32	55	74	179
14 100 popuštěno 600°C	49	91	166	237	543	26	48	78	128	280
14 260 popuštěno 300°C	52	90	171	262	575	17	29	48	71	165
14 260 popuštěno 600°C	69	133	235	384	821	29	54	92	147	322
15 130 popuštěno 530°C	51	97	192	296	636	20	36	57	91	204
15 130 popuštěno 690°C	58	109	189	281	637	22	39	55	88	204
15 230 popuštěno 550°C	50	105	185	272	612	24	38	52	78	192
15 230 popuštěno 650°C	57	102	191	319	669	27	51	87	134	299
Creusabro 4 800	41	73	134	181	429	15	24	34	49	122
Creusabro 8 000	35	69	112	164	380	12	18	29	45	104
Návar OK 8350	62	130	232	371	795	14	27	41	69	151
Návar 511	72	139	251	402	864	15	27	44	67	153
Návar OK 8478	35	61	113	149	358	9	14	20	31	74
Originální materiál	48	91	179	263	581	16	25	36	59	136

Výsledné hodnoty hmotnostních úbytků z bondova přístroje jsou uvedeny v tab. 16. Jak je zřejmé z naměřených hodnot největší abrazivní namáhání je zaznamenáno v prvním počátku nové frakce u daného abraziva.



Obr. 43 Celkový hmotnostní úbytek v Bondově přístroji pro běžné oceli

Celkové stanovení abrazivního opotřebení testovaných materiálů je znázorněno na obr. 43-44. Jednotlivé hodnoty jsou zaznamenány po 450 min. expozice zkušebních vzorků v abrazivním médiu. Na základě grafického srovnání lze charakterizovat abrazivní odolnost testovaných materiálů v podmínkách kamenné drtě a křemičitého písku.



Obr. 44 Celkový hmotnostní úbytek v Bondově přístroji pro ostatní materiály

6.8 Provozní zkoušky opotřebení

Hlavním cílem této práce je porovnat testované materiály přímo v provozních podmínkách při klasické orbě. Této zkoušce, která reprezentuje jedno z nejvyšších abrazivních zatížení, jsme podrobili vzorky, na kterých již byly provedeny zkoušky v Bondově přístroji. Jednalo se o sadu vzorků, kde byly zastoupeny pouze vzorky s vyšší popouštěcí teplotou. Rovněž svarové housenky byly aplikovány na vzorky 15 230 popuštěno 650°C, pro docílení pilového efektu. Před samotnou orební zkouškou byl proveden orientační půdní zábor.

6.8.1 Analýza půdního profilu pro orební zkoušky

Pomocí půdní analýzy můžeme přesně vymežit podmínky prostředí, v níž se uskutečnily provozní zkoušky. Je to soubor údajů, který nám definuje prostředí, ve kterém se daná plužní čepel pohybuje.

Veškeré provozní zkoušky byly prováděny na pozemcích, které se nachází na Českomoravské vrchovině. Z geologického hlediska se jedná o kambizem modální na deluviu ruly.

Vzorky pro mechanické, chemické a mikrobiologické rozborů (tzv. porušené vzorky) byly odebrány vždy směrem ze spodu nahoru (tj. začínáme nejhlubším horizontem a končíme orníci nebo humózním horizontem), abychom zabránili znečištění zeminy hlubších horizontů padající zeminou ze svrchních horizontů. Množství odebrané zeminy musí být úměrné počtu plánovaných laboratorních rozborů, většinou se pohybuje v rozmezí 0,5 – 8 kg.

Množství skeletu v půdě je jedním z limitních faktorů abrazivního opotřebení. Bylo provedeno hmotnostní stanovení skeletu, kdy byly oddělovány částice hrubší než 2 mm. Z této frakce se dále oddělily ještě částice nad 30 mm (kameny). Procentuálně bylo vyjádřeno množství skeletu v daném vzorku tab. 17.

Tab. 17 Stanovení skeletu

	Celková hmotnost [g]	Skelet celkem [g]	Celkový skelet	Skelet. frakce nad 30 mm [%]
Vzorek 1	1019,56	268,26	26,31	7,98
Vzorek 2	1024,85	255,23	24,90	5,81
Vzorek 3	998,73	234,85	22,62	4,26
Vzorek 4	1105,92	298,96	27,03	11,25
Vzorek 5	1038,36	265,36	26,57	8,56
Průměr	1037,27	264,53	25,49	7,57

Z tabulky vyplývá, že celkový skelet činí 25,49 %. Podle Taxonomického klasifikačního systému půd můžeme říci, že se jedná o slabě až středně štěrkovité půdy. Objem částic šterku rovněž převažuje nad objemem kamení.



Obr. 45 Testovaný pozemek

6.8.2 Stanovení objemové hmotnosti redukované, pórovitosti a okamžité vlhkosti

Objemová hmotnost zeminy po vysušení je parciální (dílčí) hustota tuhé fáze. Vystihuje stav nakypření či zhutnění půdy daného horizontu za předpokladu konstantní měrné hmotnosti tuhé fáze.

Pórovitost podává obraz o okamžitém zastoupení objemu pórů v celkovém objemu půdy. Celková pórovitost však neudává největší hodnotu objemu vody, která by mohla vyplnit půdní prostor.

Okamžitá vlhkost je momentální obsah vody v půdě.

Tab. 18 Hodnoty jednotlivých parametrů

Varianta	Číslo válečku	Objem válečku [cm ³]	Objemová hmotnost redukovaná [kg. m ⁻³]	Pórovitost celková [%]	Vlhkost půdy [%]
Hon 1	43	100	1278,2	50,4	30,85
	22	100	1315,9	51,65	36,21
	15	100	1367,4	49,86	29,74
	26	100	1285,3	53,56	37,82
	48	100	1328,4	49,12	33,47
Hon 2	34	100	1268,6	54,01	32,16
	3	100	1341,8	48,35	34,04
	17	100	1269,2	51,96	29,78
	8	100	1301,5	52,49	31,79
	29	100	1379,8	50,6	32,56

6.8.3 Podmínky a metodika měření zkušebních vzorků – polní testy

Pro tuto zkoušku bylo použito 30 zkušebních vzorků s deseti různých technických materiálů. Rozměry vzorků byly 76 x 38 x 10 mm. V horní části byl vyvrtán otvor o průměru 10 mm. Tento otvor sloužil k přichycení vzorků na čepel pluhu pomocí šroubu M10 x 30. Aby mohl být vzorek přišroubován, musela být každá čepel v patřičném místě provrtána. Potom se celá čepel přišroubovala na slupici orebního tělesa pomocí šroubů se zapuštěnou kuželovou hlavou.

Měření bylo realizováno v zemědělském podniku v Nyklovicích v době od 24. 10. do 1. 11. 2014. Orební souprava pracovala na pozemcích s abrazivní hlinitopísčitou půdou.

Každé měření (úbytek hmotnosti) bylo provedeno po ujetí 4 ha na elektronické váze s přesností 0,01 g. Jelikož se jednalo o 8 radličný pluh, každý vzorek tedy zpracoval 0,5 ha. Abychom zajistili stejné podmínky opotřebení vzorků, byl každý vzorek po naměření údajů posunut o jedno orební těleso vpřed.



Obr. 46 Připevnění zkušebního vzorku na čepel pluhu



Obr. 47 Umístění zkušebního vzorku na pluhu



Obr. 48 Měření úbytku hmotnosti vzorku po ujetí 4 ha



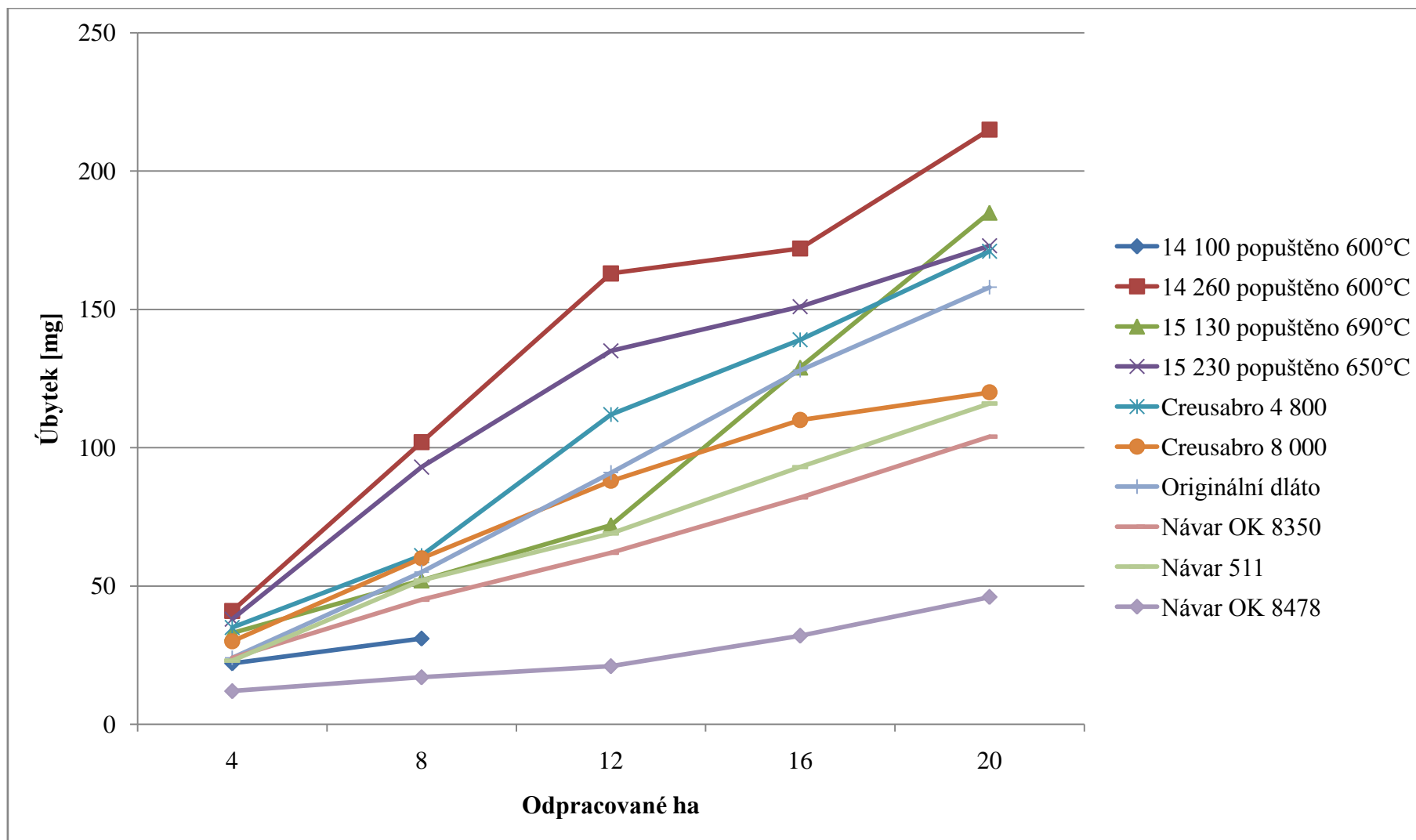
Obr. 49 Měření úbytku hmotnosti vzorku po ujetí 8 ha



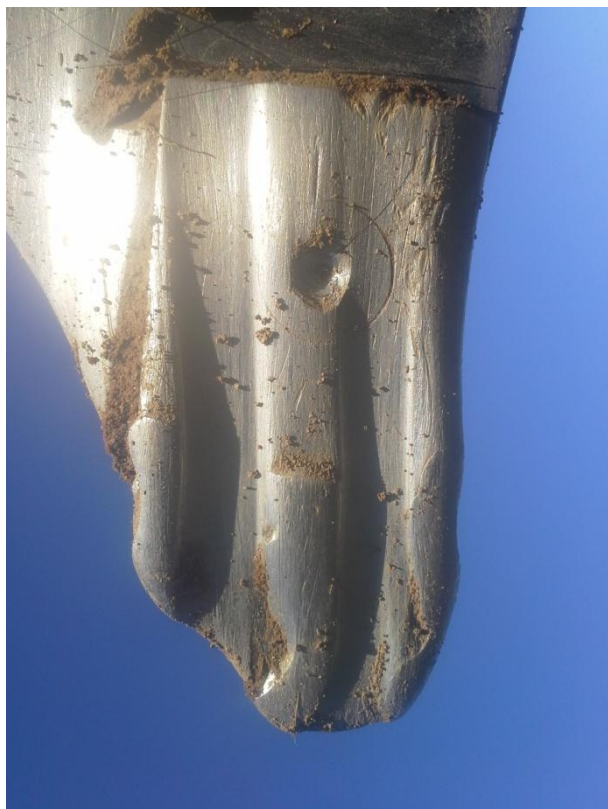
Obr. 50 Opotřebovaný vzorek po ujetí 4 ha na pluhu



Obr. 51 Opotřebovaný vzorek po ujetí 8 ha na pluhu



Obr. 52 Celkové úbytky testovaných materiálů



Obr. 53 Opotřebený vzorek (kombinace OK 8350 + 15 230 popuštěno) na pluhu



Obr. 54 Opotřebený vzorek (kombinace OK 8350 + 15 230 popuštěno)

U vyrobených vzorků se svarovou housenkou viz obr 54. bylo docíleno tzv. pilového efektu. Jedná se o velmi pozitivní jev, kdy dochází k samoostření např. celé orební čepěle. Méně abrazivně odolný materiál je odebírán ze základního vzorku rychleji než abrazivně odolný tvrdonávar, který tvoří nosnou kostru celého dílu.

6.9 Diskuse

Laboratorní testy abrazivního opotřebenění mají značnou vypovídací schopnost při porovnání opotřebenění určitého souboru testovaných materiálů. Jelikož jsou podmínky přesně definované, je vždy zaručeno pouze jedno určité namáhání-opotřebenění. V technické praxi ovšem nastává kombinace několika druhů opotřebenění najednou. Je to převážně kombinace opotřebenění abrazivního a erozivního. Z tohoto důvodu byly provedeny rovněž provozní testy v reálných polních podmínkách.

Prvotním ukazatelem na odolnost materiálu proti abrazivnímu opotřebenění je jeho tvrdost. Je nutné si ovšem uvědomit i chemické složení dané oceli a její tepelné zpracování. Dle výsledků na Charpyho kladivu lze konstatovat nízkou houževnatost oceli 14 100. Tento materiál vykazoval nejnižší hodnoty spotřebované energie na přeražení zkušebního tělesa (cca 14 J/cm^2). Nevhodnost tohoto materiálu byla potvrzena i u polních zkoušek, kdy se u všech vzorků vyskytl lom ve šroubovém spoji. Obdobných hodnot jako originální materiál (cca 45 J/cm^2) vykazovala ocel 15 230 a tvrdokovové materiály Creusabro (cca 40 J/cm^2). Z tohoto důvodu byla použita i ocel 15 230 k provedení tvrdokovových návarů pro polní testy. Sorbitická struktura tohoto materiálu byla zvolena i z důvodu eliminace vylamování samotného svarového kovu ze základního materiálu. Na základě analýzy na brusném plátně lze konstatovat výbornou abrazivní odolnost tvrdokovových návarů. Použitý návar OK 8478 vykazoval $1,8\times$ vyšší odolnost jak originální plužní dláto. Obdobných hodnot vykazovaly i otěru-vzdorné materiály Creusabro. Během testů v Bondově přístroji dokonce tyto materiály vykazovaly nižší hmotnostní úbytky než originální materiál z plužního dláta. Nižší hmotnostní úbytky byly zaznamenány jak v kamenné drti, tak v křemičitém písku. Nejnižší abrazivní opotřebenění opět vykazoval tvrdokov OK 8478, který měl $1,62\times$ vyšší odolnost než originál. Tyto hodnoty jsou adekvátní struktuře daného materiálu, kterou tvoří především karbidy v základní kovové matici. Na základě provedených laboratorních testů byly připraveny vzorky pro testování v polních podmínkách. Jelikož půdní struktura je značně nehomogenní materiál, byla provedena i částečná charakteristika tohoto prostředí. Testy byly prováděny na středně šterkovitých půdách, kdy průměrná vlhkost půdního substrátu činila cca 30%. Hmotnostní úbytky testovaných vzorků byly zaznamenávány po 4 ha. Jako etalon byl brán opět materiál z originálního plužního dláta. U ocelových testovaných materiálů třídy 14 XXX a 15 XXX docházelo k obdobným hmotnostním úbyt-

kům. Jedná se cca o $0,87\times$ horší abrazivní odolnost než u originálního dláta. I materiál Creusabro 4 800 vykazoval o 13 g vyšší hmotnostní úbytek po odpracované ploše 20 ha. Materiál Creusabro 8 000 dosáhl ovšem $1,31\times$ vyšší odolnosti. Je to dáno ovšem chemickým složením a tepelným zpracováním tohoto materiálu. Dle předpokladu aplikace tvrdokovových materiálů tato kombinace se základním materiálem 15 230 (popuštěno na 690°C) dosahovala nejnižšího abrazivního opotřebení. U návaru tvořeného martenzitickou strukturou se jednalo o $1,41\times$ lepší abrazivní odolnost a u návaru tvořeného rozptýlenými karbidy v základní kovové hmotě byla tato odolnost vůči etalonu dokonce $3,4\times$ vyšší.

Dle provedených testů lze jednoznačně doporučit kombinaci tvrdokovových návarových materiálů s méně abrazivně odolnými materiály. Při vhodném uspořádání svarových housenek lze rovněž docílit pilového efektu, který příznivě ovlivňuje tahový odpor celého stroje.

7 ZÁVĚR

V zemědělství jsou stroje pro zpracování půdy nenahraditelné. Největší podíl na degradaci těchto strojů má abrazivní opotřebení a kombinace abrazivního opotřebení se silovými rázy. Z tohoto důvodu je nutné používat takové materiály, které mají značnou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a zároveň i dobrou houževnatost, jelikož při zpracování půdy dochází k nadměrným rázům.

Jelikož ekonomická náročnost vyměnitelných dílů na zpracování půdy je neustále vyšší, vhodnost zvoleného materiálu je hlavním faktorem pro výrobu těchto komponentů. Dle provedených testů lze aplikovat tvrdokovové materiály s vyšší pořizovací cenou na vhodně tepelně zpracované materiály (běžně dostupné) v nižší cenové kategorii. Při této kombinaci lze docílit u nástrojů na zpracování půdy vyšší životnosti, ale hlavně funkčnosti v podobě optimálně ostré řezné hrany. Při použití homogenních ocelových materiálů je nutné najít vždy kompromis mezi intenzitou abrazivního opotřebení a cenovou náročností daného materiálu.

Je nutné si ovšem uvědomit, že intenzita abrazivního opotřebení je dána charakterem půdních částic, které působí na povrch strojního zařízení. Při aplikaci tvrdokovových návarů je nutné volit takové materiály, které odolávají nejen částicím křemičitého písku, ale jsou především schopny odolávat měkčím mnohabřítým půdním frakcím.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BLAŠKOVITŠ, Pavel, Marián DZIMKO a Jozef BALLA. *Tribológia*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 360 s. ISBN 80-050-0663-0

HŮLA, Josef a kol. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí: uplatněná certifikovaná metodika*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. ISBN 978-808-6884-530.

HŮLA, Josef. *Systémy zpracování půdy a způsoby snižování nadměrného tlaku na půdu*. Praha, 1989.

KOUTSKÝ, Jaroslav. *Degradační procesy a predikce životnosti*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1995, 167 s. ISBN 80-7082-177-9.

KUMHÁLA, F. a kol.: *Zemědělská technika - Stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. ČZU Praha, 2007, 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7.

Mechanizace zpracování půdy. [online]. [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2013/11/zpracovani_pudy.pdf

NEUBAUER, K. a kol. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. 1. vyd. Praha: SZN, 1989. 716 s. ISBN 80-209-0075-6.

Kontrola podmíněnosti: Cross compliance: průvodce zemědělce Kontrolou podmíněnosti platný pro rok 2014. Praha: Ministerstvo zemědělství. 276 s. ISBN 978-80-7434-149-6

POŠTA, Josef, Petr Veselý. *Degradace strojních součástí: monografie*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2002. ISBN 80-213-0967-9.

STODOLA, Jiří, Františka PEŠLOVÁ a Jan KRMELA. *Opotřebením strojních součástí: monografie*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 195 s. ISBN 978-80-7231-552-9.

SUCHÁNEK, Jan. *Abrazivní opotřebením kovových materiálů*. In: *TriboTechnika*. Žilina: TechPark, o. z., 1/2010, s. 50-53. ISSN 1338-0524.

SUCHÁNEK, Jan. *Erozivní opotřebení materiálů*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014, 293 s. ISBN 978-80-01-05532-8.

ŠKODA, Vítězslav a Jan CHOLENSKÝ. *Konvenční a perspektivní způsoby zpracování a kultivace půdy*. 2. upr. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2002, 64 s. ISBN 80-7271-125-3.

VACH, Milan, Miloslav Javůrek. *Efektivní technologie zpracování půdy a zakládání porostů polních plodin: metodika pro praxi*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2011. ISBN 978-807-4270-796.

www.agrisem.com

www.agrowest.cz

www.danhel.cz

<http://degradace.tf.czu.cz>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Radličný pluh (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	14
<i>Obr. 2 Taliřový pluh (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	15
<i>Obr. 3 Speciální pluh (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	15
<i>Obr. 4 Druhy pluhů (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	15
<i>Obr. 5 Orební těleso (Neubauer, 1989)</i>	16
<i>Obr. 6 Taliřový pracovní nástroj (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	17
<i>Obr. 7 Taliřový podmítač (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	18
<i>Obr. 8 Dvousledné taliřové brány (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	18
<i>Obr. 9 Jištění pryžovými silentbloky (www.agrowest.cz)</i>	19
<i>Obr. 10 Pružinové jištění (www.danhel.cz)</i>	19
<i>Obr. 11 Jištění pružnou slupicí (www.agrisem.com)</i>	19
<i>Obr. 12 Fréza s horizontální osou rotace kolmou na směr jízdy (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	20
<i>Obr. 13 RPO s horizontální osou rotace souběžnou se směrem jízdy (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	20
<i>Obr. 14 RPO se svislou osou rotace (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	21
<i>Obr. 15 Smyky (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	21
<i>Obr. 16 Příklady různých typů nástrojů použitých na kultivátoru (http://kzt.zf.jcu.cz)</i> ..	23
<i>Obr. 17 Kombinovaný kypřič (kombinátor) (http://kzt.zf.jcu.cz)</i>	24
<i>Obr. 18 Schematická znázornění různých druhů opotřebení (Stodola, 2008)</i>	25
<i>Obr. 19 Adhezivní opotřebení přitlačného kotouče (http://degradace.tf.czu.cz)</i>	27
<i>Obr. 20 Erozivní opotřebení koule uzávěru (http://degradace.tf.czu.cz)</i>	28
<i>Obr. 21 Kavitační opotřebení lopatkového kola (http://degradace.tf.czu.cz)</i>	30
<i>Obr. 22 Únavové opotřebení kroužku ložiska (http://degradace.tf.czu.cz)</i>	32
<i>Obr. 23 Vibrační opotřebení ložiska (http://degradace.tf.czu.cz)</i>	33
<i>Obr. 24 Abrazivní opotřebení plužní čepele (http://degradace.tf.czu.cz)</i>	36
<i>Obr. 25 Schéma mechanismu abrazivního opotřebení (http://degradace.tf.czu.cz)</i>	36
<i>Obr. 26 Působení pevně vázaných abrazivních částic na opotřebovávaný povrch (Suchánek, 2010)</i>	37
<i>Obr. 27 Zjednodušený model interakce abrazivní částice s opotřebovávaným povrchem podle Rabinowicze (Suchánek, 2010)</i>	38
<i>Obr. 28 EDS spektrum plužního dláta (výsledky chem. složení viz tab. 7)</i>	45

<i>Obr. 29 Vertikální frézka FNK 25</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 30 Příprava vzorků pro aplikaci tvrdokovu</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 31 Muflová kalící pec s plynulou regulací náběhové teploty</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 32 Tepelné zpracování vzorků pro zkoušku na Charpyho kladivu</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 33 Zkušební zařízení Charpyho kladivo</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 34 Lomová plocha oceli 14 XXX</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 35 Lomová plocha originálního dláta a oceli 15 130</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 36 Metalografický mikroskop Neophot 21</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 37 Strukturní fáze testovaných materiálů</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 38 Návar OK 8478 (vlevo) a OK 8350 (vpravo)</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 39 Vtlačovací injektor pro metodu HRC</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 40 Mikrotvrdoměr Hanneman</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 41 Zkušební zařízení dle ČSN 01 5084</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 42 Bondův bubnový přístroj</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 43 Celkový hmotnostní úbytek v Bondově přístroji pro běžné oceli</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 44 Celkový hmotnostní úbytek v Bondově přístroji pro ostatní materiály</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 45 Testovaný pozemek</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 46 Připevnění zkušební vzorku na čepel pluhu</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 47 Umístění zkušební vzorku na pluhu</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 48 Měření úbytku hmotnosti vzorku po ujetí 4 ha</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 49 Měření úbytku hmotnosti vzorku po ujetí 8 ha</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 50 Opotřebovaný vzorek po ujetí 4 ha na pluhu</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 51 Opotřebovaný vzorek po ujetí 8 ha na pluhu</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 52 Celkové úbytky testovaných materiálů</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 53 Opotřebovaný vzorek (kombinace OK 8350 + 15 230 popuštěno) na pluhu</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 54 Opotřebovaný vzorek (kombinace OK 8350 + 15 230 popuštěno)</i>	<i>70</i>

10 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Adhezivní síla pro vybrané kovy v kontaktu s Fe ve vakuu (Stodola, 2008).....</i>	26
<i>Tab. 2 Tvrdost některých minerálů, abraziv a kovových materiálů (Suchánek, 2010)...</i>	40
<i>Tab. 3 Poměrné odolnosti proti abrazivnímu opotřebení vybraných ocelí a litin (Suchánek, 2010)</i>	41
<i>Tab. 4 Chemické složení ocelí 14 XXX</i>	42
<i>Tab. 5 Chemické složení ocelí 15 XXX</i>	43
<i>Tab. 6 Chemické složení Creusabro</i>	44
<i>Tab. 7 Chemické složení originálního dláta</i>	44
<i>Tab. 8 Chemické složení svarového kovu</i>	46
<i>Tab. 9 Technické parametry břitové destičky ADMX160608SR.....</i>	46
<i>Tab. 10 Tepelné zpracování oceli 14 100</i>	49
<i>Tab. 11 Tepelné zpracování oceli 14 260</i>	49
<i>Tab. 12 Tepelné zpracování ocelí 15 XXX.....</i>	49
<i>Tab. 13 Výsledek houževnatosti po tepelném zpracování.....</i>	51
<i>Tab. 14 Hodnoty mikrotvrdosti jednotlivých strukturálních fází testovaných materiálů</i>	57
<i>Tab. 15 Hmotnostní úbytky na brusném plátně</i>	59
<i>Tab. 16 Hmotnostní úbytky z Bondova přístroje.....</i>	62
<i>Tab. 17 Stanovení skeletu</i>	65
<i>Tab. 18 Hodnoty jednotlivých parametrů</i>	66