

Aplikace otěruvzdorných polymerních částicových kompozitů v oblasti konstrukce orebního tělesa

APPLICATION OF WEAR-RESISTANT POLYMERIC PARTICLE COMPOSITES IN CONSTRUCTION OF PLOUGHING BODY

Petr Valášek, Miroslav Müller – Česká zemědělská univerzita v Praze

Funkční plochy zemědělských strojů zpracovávajících půdu jsou vystaveny náročnému prostředí, které vede k jejich rychlému opotřebení. Podstatná část operací, které souvisejí s technologií zpracování cukrové řepy, se věnuje právě zpracování půdy. U strojů využívaných pro sklizeň cukrové řepy je kvalita funkčních ploch důležitá vzhledem k minimalizaci znečištění bulev. Sklizeň cukrové řepy by měla snížit procenta ztrát při maximální možné čistotě bulev (1). Při konstrukci zemědělských strojů zpracovávajících půdu je nezbytné zohledňovat základní poznatky z oboru tribologie. Správná konstrukce strojů a strojních částí by měla vést k jejich spolehlivosti a minimalizovat náklady spojené s jejich údržbou, popřípadě renovací.

Náročné podmínky, které působí na funkční povrch nástrojů přicházejících do styku se zpracovávanou půdou, vedou k postupné degradaci povrchových vrstev a k zhoršení funkčních vlastností nástroje – dochází ke změně rozměrů nástroje, které se projevují na efektivitě orby – to působí hospodářské ztráty. Tento proces je typickým negativním příkladem abrazivního opotřebení v zemědělství. Abrazivní opotřebení lze definovat jako oddělování a přemísťování částic materiálu při rýhování a řezání tvrdými částicemi (2). Rychlost opotřebení nástrojů zemědělských strojů závisí kromě samotných provozních podmínek i na konkrétních konstrukčních řešeních, použitých materiálech, způsobu výroby a vlastnostech zpracovávané půdy (pro cukrovou řepu jsou preferovány například černozemě, hnědozemě, nivní půdy s nízkou objemovou hmotností). Aspektem, který nelze pominout, je též cena. Životnost jednotlivých částí nástrojů zpracovávajících půdu je z tohoto pohledu časově omezena (3). Po dosažení určité limitní hranice použitelnosti přichází v úvahu výměna nástroje nebo jeho renovace. Volba mezi pořízením nového nástroje či renovací nástroje starého je především otázkou ekonomickou. Je však nutné si uvědomit,

že vhodnou volbou postupu renovace lze docílit stavu, kdy renovovaný funkční povrch bude vykazovat lepší sledované charakteristiky, než měl tento povrch před samotnou renovací. Za jednu z konvenčně využívaných renovačních technologií v oblasti renovace funkčních ploch nástrojů zpracovávajících půdu je možno označit navařování. Mezi výhody navařování lze řadit to, že se jedná o poměrně snadný způsob renovace funkčních ploch, který není časově náročný, vyžaduje ovšem určitou vybavenost pracoviště a zkušenost. Mezi nevýhody lze řadit tepelné ovlivnění základního materiálu. MÜLLER ET AL. (3) pro oblast technologie pěstování cukrové řepy doporučuje především navařovací materiály UTP DUR 600, UTP DUR 650 Kb a UTP LEDEBURIT 65. Jedná se o martenzitické návary a ledeburický návar (UTP LEDEBURIT 65), jejichž cena za kilogram se pohybuje v rozmezí 200–750 Kč.kg⁻¹. Nové funkční povrchy mohou být tvořeny také keramickými materiály (4).

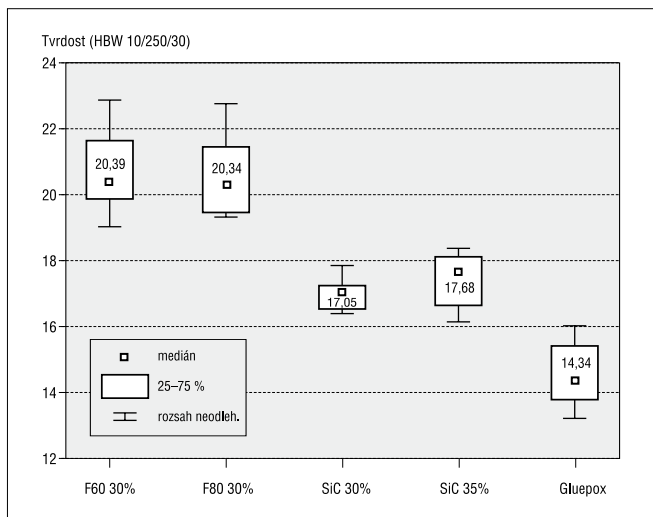
Jinou technologií renovace funkčních ploch nástrojů zpracovávajících půdu může být aplikace odolných kompozitních systémů. Těžiště odolnosti proti abrazivnímu opotřebení těchto materiálů spočívá v inkluzi tvrdých anorganických částic v různých druzích matrice (5, 6). V oblasti renovace bývají využívány především reaktoplasty, a to zejména z důvodu dostupnosti a jednoduchosti aplikace. Reaktoplasty spadají mezi polymerní materiály, které po svém zesíťování (prostřednictvím tvrdidel, či jinými způsoby) utvářejí trojrozměrnou makromolekulární síť, pro niž je typickou vazbou vazba kovalentní. Příkladem reaktoplastu, jež může tvořit matici kompozitů, jsou epoxidové pryskyřice. Jejich vhodnost v oblasti renovace funkčních ploch nástrojů pro zpracování půdy je dána především jejich výbornou adhezí k řadě materiálů (kovovým materiálům) a zároveň adhezí vůči plnivům (v tomto případě adheze vytváří rozhraní mezi maticí a plnivem a utváří tak kohezí pevnost kompozitu). Právě vzájemná mezifázová interakce je pro soudržnost kompozitu klíčová. Dle závěrů autorů (7, 8) lze matici plnit i odpadními druhy plniv. Materiálovou recyklací odpadu tak vznikají materiály s obdobnými vlastnostmi, jimiž disponují materiály s primárními plnivy, avšak reaktoplastová matrice je nositelkou materiálové recyklace. Tento druh recyklace odpadů by měl být preferován, a proto se tento výzkum zajímá o možnosti aplikace těchto systémů v zemědělství, potažmo v oblasti zpracování půdy v technologii pěstování a sklizeň cukrové řepy.

Provedený experiment spočíval v aplikaci kompozitů na bázi odpadu (odpad nespadá do kategorie nebezpečných odpadů) na funkční povrch nástrojů zpracovávajících půdu a následné testování takto upravených povrchů v praxi. Druh

Tab. 1. Hustota a pórovitost renovovací směsi

| Materiál | Teoretická hustota (g.cm ⁻³) | Pórovitost (%) |
|-----------|--|----------------|
| GlueEpoxy | 1,15 | – |
| F60 30% | 2,01 | 7,3 |
| F80 30% | 2,01 | 7,6 |
| SiC 30% | 1,77 | 8,1 |
| SiC 35% | 1,87 | 8,9 |

Obr. 1. Tvrdost kompozitních systémů a neplněného epoxidu



část experimentu se věnovala experimentálnímu popisu chování těchto kompozitních systémů. Výsledky experimentu mohou rozšířit aplikační oblasti kompozitů s plnivem na bázi odpadu v oblasti pěstování a sklizně cukrové řepy, např. pro nástroje zpracovávající půdu během podzimní přípravy půdy (hloubka orby k cukrové řepě se pohybuje okolo 30 cm), během jarní předsejové přípravy půdy (předsejové kypření) i během samotného setí (ostří secích bodek).

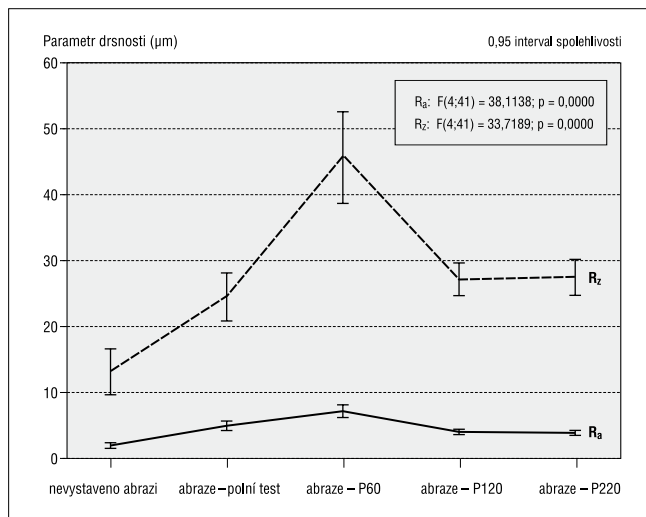
Materiál a metody

Matrice odpadního částicového plniva byla tvořena epoxidovou pryskyřicí Gluepox Rapid, která je charakteristická svou vysokou tekutostí a zvýšenou rychlostí vytvrzování. Právě rychlost vytvrzování je při renovaci funkčních ploch klíčová. Je třeba podotknout, že přidání plniva výrazně snižuje tekutost systému (nedochází k výraznému stékání z renovovaných ploch), avšak viskozita pryskyřice stále zaručuje dobrou adhezi mezi pryskyřicí a částicemi a na rozhraní kompozitního systému a renovované plochy. Výrobce uvádí složení epoxidových pryskyřic takto: epoxidová pryskyřice z bisfenolu A epichlorhydrinu a na bázi bisfenolu F, uváděná hustota 1,14 až 1,16 g·cm⁻³.

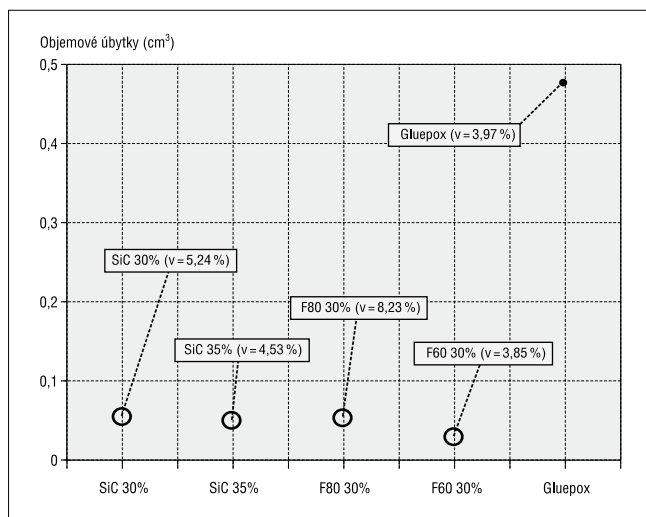
Tvrde anorganické částice byly zastoupeny odpadem z procesu povrchových úprav materiálu – otryskávání. Konkrétně se jednalo o částice korundu (Al₂O₃) frakce F60 (280 μm), F80 (152 μm) a karbidu křemíku (SiC) F100 (128 μm). V závorkách je uvedena střední hodnota rozměru částic. Jedná se o kategorii odpadu, jež nespadá do skupiny nebezpečných odpadů. Ve většině případů bývají tyto odpady sládkovány, tj. odstraněny bez další možnosti využití.

Kompozitní systémy byly připraveny s 30 a 35 % obj. plniva v matici. Za velmi nasycenou matici částicovým plnivem při dané viskozitě matrice lze považovat hranici 35 %. Příprava samotných kompozitních systémů reflektovala reálné potřeby praxe (zemědělských podniků) při minimalizaci nákladů. Nebylo využito žádných speciálních technologií (např. vakua, lisování atd.). Směs matrice a plniva byla mechanicky míchána a následně byla nanesena na renovovanou plochu. Renovovaná plocha nástrojů zpracovávajících půdu byla před aplikací systému obroušena a odmaštěna. Kompozitní materiál byl nanesen

Obr. 2. Drsnost povrchu po působení abrazivního prostředí



Obr. 3. Objemové úbytky kompozitních systémů a neplněného epoxidu



na trojúhelníky ořebních těles, plazy ořebních těles a břity ořebních těles. Parametry drsnosti povrchu nástrojů zpracovávajících půdu, na kterou byl nanesen kompozitní systém, odpovídaly hodnotám $R_a = 2,44 \mu\text{m}$ a $R_z = 14,87 \mu\text{m}$.

Tento způsob aplikace je jednoduchý a není třeba disponovat speciálně vyškoleným pracovníkem, ani speciálně vybaveným pracovištěm. Ze stejné směsi, která byla aplikována na ořební tělesa, byla odlita i zkušební tělesa pro laboratorní experimenty.

Tab. II. T-test parametrů drsnosti R_a a R_z

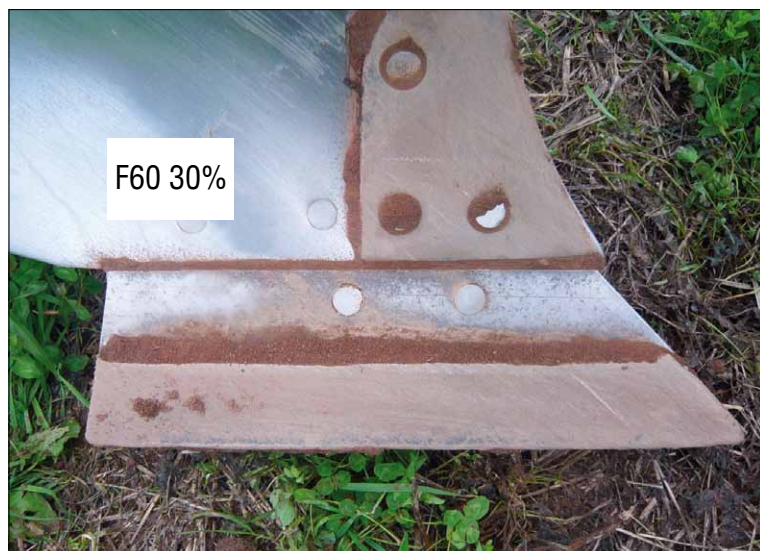
| Parametry drsnosti | P60 | P120 | P220 |
|--------------------|--|------|------|
| | T-test $p; H_0 (p > 0,05)$ – polní test abraze | | |
| R_a | 0,00 | 0,08 | 0,02 |
| R_z | 0,00 | 0,35 | 0,18 |

R_a – střední aritmetická odchylka profilu, R_z – výška nerovnosti profilu

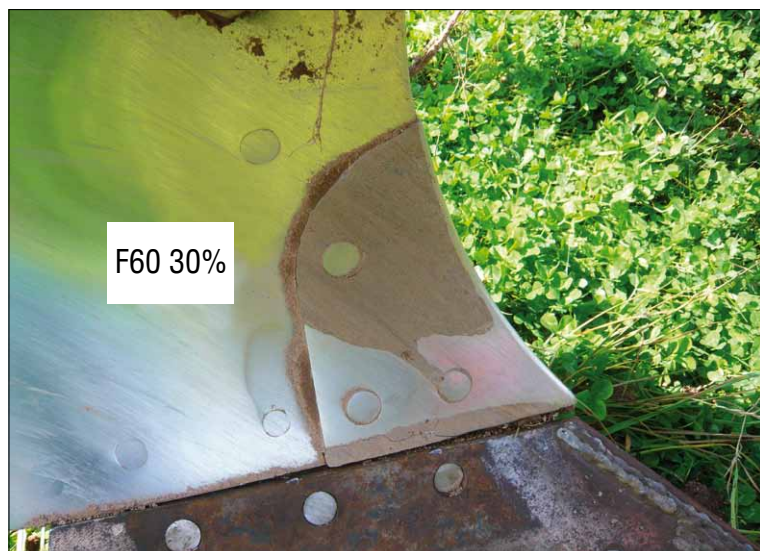
Obr. 4. Trojúhelník orebního tělesa po 2 ha orby



Obr. 5. Břit orebního tělesa po 2 ha orby



Obr. 6. Trojúhelník orebního tělesa po 6 ha orby



Experimentálně byla hodnocena odolnost proti abrazivnímu opotřebení, tvrdost a pórovitost kompozitů. Hodnocen byl též povrch opotřebovávaných součástí, a to pomocí dotykového drsnoměru (Surfeste 301) a prostřednictvím obrazové analýzy na stereoskopickém mikroskopu. Na základě profilu opotřebovaných renovovaných ploch nástrojů zpracovávajících půdu, byly zvoleny obdobné podmínky pro experimentální laboratorní zkoušky popisující odolnost zkušebních těles proti dvoubodovému abrazivnímu opotřebení.

Experimentální odolnost proti abrazivnímu opotřebení (ČSN 62 1466) byla stanovena na rotačním válci s výměnným brusným plátnem o zrnitosti P120 (vázaná abrazivní zrna korundu). Průběh zkoušky spočívá v pohybu zkušebního tělesa po rotujícím válci od jednoho kraje ke druhému, přičemž zkušební těleso urazí vzdálenost 60 m. Opotřebovaný povrch zkušebního tělesa byl před zkouškou zaoblen tak, aby se v celé ploše dotýkal brusného plátna. Zkušební tělesa mají tvar válce (výška $20,0 \pm 0,1$ mm, průměr $15,5 \pm 0,1$ mm) a jsou v průběhu testování přitlačována k rotujícímu válci silou odpovídající 10 N. Výměna brusného plátna probíhá vždy pro každé zkušební těleso.

Tvrdost byla posuzována modifikací zkoušky dle Brinella (ČSN EN ISO 2039-1). Vzhledem k velikosti plniv byla použita kulička z tvrdokovu o průměru 10 mm. Zatěžující síla odpovídala 2,452 kN, zatěžující čas odpovídal 30 s (HBW 10/250/30).

Pórovitost, jako jakostní ukazatel kompozitních systémů, byla vypočtena na základě teoretické a reálné hustoty kompozitů. Pro výpočet teoretické hustoty bylo vycházeno z tabulkových hustot plniv a hustoty pryskyřice uváděné výrobcem, kdy byla uvažována ideální smáčivost mezi částicemi plniva a matricí. Reálná hustota byla stanovena na základě přesné hmotnosti a rozměrů zkušebních těles.

Výsledky

Teoretickou hustotu a pórovitost kompozitních systémů (renovovací směsi) zkušebních těles určených pro laboratorní experimenty uvádí tab. I. Přítomnost vzduchových bublin u laboratorních zkušebních těles i na renovovaných plochách nástrojů zpracovávajících půdu byla prokázána také obrazovou analýzou na stereoskopickém mikroskopu. Negativní vliv pórů na mechanické vlastnosti je neoddiskutovatelný, avšak odolnost proti abrazivnímu opotřebení není na pórovitosti tak závislá, jako např. mez pevnosti v tahu.

Tvrdost kompozitních systémů experimentálně určená na odlévaných zkušebních tělesech je ve srovnání s neplněným epoxidem znázorněna na obr. 1. (rozměr zkušebních těles byl $39,0$ mm \times $24,5$ mm \times 8 mm).

Porovnání parametrů drsnosti R_a a R_z opotřebovaných ploch mezi laboratorními zkouškami a polním testem (2 ha orby) je graficky znázorněno na obr. 2.

Soubory dat parametrů drsnosti R_a a R_z byly podrobeny Fischerovu testu. Ve všech případech byla potvrzena nulová hypotéza $H_0 : s_1^2 = s_2^2$. Statistické

shoda souborů dat tedy mohla být testována dvouvýběrovým T-testem, kdy zápis $p > 0,05$ značí pravdivost nulové hypotézy – rozdíl středních hodnot souborů dat je statisticky nevýznamný, p udává pravděpodobnost nulové hypotézy pro $\alpha = 0,95$ (viz tab. II.).

Z tab. II. je zřejmé, že shoda v měřených parametrech drsnosti mezi opotřebovaným povrchem kompozitu po polním testu vykazuje brusné plátno P120 – střední hodnoty parametrů R_a a R_z nevykazují statisticky významný rozdíl. Z tohoto důvodu byla odolnost proti abrazivnímu opotřebení testována na brusném plátně se zrnitostí P120, toto brusné plátno bylo zvoleno jako etalon pro experimentální měření.

Odolnost proti abrazivnímu opotřebení je vyjádřena objemovými úbytky (obr. 3.), a to z důvodu rozdílné hustoty kompozitů. Rozptýl naměřených hodnot definuje variační koeficient (v) uvedený v závorkách. Zároveň toto vyjádření umožní porovnávat úbytky s jinými druhy materiálů – například s návarý.

Nejmenší experimentálně zjištěné objemové úbytky $0,0271 \pm 0,0010 \text{ cm}^3$, tedy nejlepší odolnost proti abrazivnímu opotřebení na brusném plátně P120, vykazoval kompozit s odpadním korundem F60 30%. Nejhorší odolnost vykazoval kompozit SiC 30%, který vykazoval 93% nárůst objemových úbytků oproti F60 30% (nárůst o $0,0251 \text{ cm}^3$).

Při polních testech byly testovány kompozitní vrstvy aplikované na trojúhelník orebního tělesa, břit orebního tělesa a plaz orebního tělesa, viz obr. 4. až obr. 8. Cílem experimentu bylo analyzovat a najít možné efektivní uplatnění těchto materiálů.

Z polních testů je zřejmé, že kompozitní systémy vystavené velmi intenzivnímu abrazivnímu opotřebení na trojúhelníku a břitu orebního tělesa podléhají velmi rychle opotřebení. Výrazný úbytek materiálu byl pozorován již po 2 ha, po 4 ha docházelo na některých místech k úplnému opotřebení naneseného materiálu. Náchylné k opotřebení jsou především náběžné hrany nástrojů, kde byl úbytek aplikovaných materiálů nejvýraznější. Řešení tohoto problému by bylo možné minimalizovat vyztužením náběžných hran odolnějšími (avšak dražšími) návarovými materiály – kombinace renovovacích technologií. Kompozitní systém aplikovaný na plaz orebního tělesa odolával abrazivním podmínkám i po 10 ha orby. Z tohoto pohledu je možné tyto systémy využít pro renovaci určitých ploch orebních těles. Z obr. 8. je zřejmá minimální přilnavost půdy k orebnímu tělesu v místě aplikace kompozitního materiálu.

Na velmi exponovaných místech však nemají renovované povrchy dlouhou životnost. V průběhu polních testů nebyl zaznamenán výrazný rozdíl v intenzitě opotřebení mezi jednotlivými kompozitními systémy. Nejméně náchylný k tvorbě charakteristických rýh na funkční ploše orebního tělesa byl kompozit F60 30%, tento kompozit vykazoval při polních testech nejmenší náchylnost k opotřebení.

Obr. 7. Orební těleso v průběhu polních testů



Obr. 8. Plaz orebního tělesa po 10 ha orby



Závěr a diskuze

Polní testy potvrdily předpoklady experimentálních výsledků. Na jejich základě lze konstatovat, že polymerní kompozity jsou schopné odolávat abrazivnímu opotřebení. Míra jejich opotřebení souvisí s konkrétním aplikačním místem na nástrojích zpracovávajících půdu. Z výsledků je zřejmé, že pokud dojde k aplikaci částicových kompozitů na bázi odpadu v oblasti nástrojů zpracovávajících půdu, je třeba volit anorganické tvrdé částice s velkým průměrem. Jak vyplývá z teorie abraze – vyšší koncentrace těchto částic v matrici při dodržení vzájemné interakce fází vede k dobrým tribologickým vlastnostem, proto je vhodné volit koncentrovanější systémy.

Právě plnivo na bázi odpadu (pokud uvažujeme jeho nulovou hodnotu na základě toho, že dochází ke skládkování těchto materiálů, což vede k nárůstu ceny likvidace těchto materiálů)

snižuje cenu kompozitů, navíc je takováto inkluze materiálovým využíváním odpadu, jež by mělo být preferováno.

Cena nejodolnějšího systému F60 30% se pohybuje okolo 164 Kč.kg⁻¹. Takováto cena je nižší než cena běžně používaných návarových materiálů (MÜLLER ET AL. (11) konkrétní cenu návarů Ledeburit 60 uvádí 600 Kč.kg⁻¹ a UTP 690 Kb pak 350 Kč.kg⁻¹).

Aplikace kompozitů není spojena s dodatečnými náklady při nanášení systému na renovované plochy.

Mezi další klady polymerních kompozitních systémů na bázi odpadu lze řadit jejich nízkou povrchovou energii (cca 40× nižší než u kovů). Nízká povrchová energie vede ke snížení tření při zpracování půdy v důsledku nízké přilnavosti půdy na nástroj.

Poděkování: Příspěvek vznikl za podpory Interní grantové agentury TF ČZU v Praze.

Souhrn

Funkční plochy zemědělských strojů zpracovávajících půdu jsou vystaveny náročnému prostředí, které vede k jejich rychlému opotřebení. Podstatná část operací, které souvisejí s technologií zpracování cukrové řepy, se věnují právě zpracování půdy. Otázka renovace nástrojů zpracovávajících půdu je stále aktuální. Předmětem tohoto příspěvku je posoudit vhodnost využití polymerních částicových kompozitů pro účely renovace nástrojů zpracovávajících půdu s ohledem na potřeby technologie pěstování a sklizně cukrové řepy. Použitý materiál, kterým byly renovovány plochy nástrojů zpracovávajících půdu, byl polymerní částicový systém s tvrdými anorganickými částicemi na bázi odpadu. Anorganické částice byly zastoupeny korundem a karbidem křemíku, jež byly rozptýleny v epoxidové matici. Materiálové využití odpadů v polymerních kompozitech zvyšuje jejich význam. Článek popisuje laboratorní testy kompozitů a polní testy nástrojů renovovaných polymerními částicovými kompozity na bázi odpadu. Hlavním předmětem článku je abrazivní opotřebenění těchto materiálů. Abrazivní opotřebenění je

typický druhem opotřebenění nástrojů zpracovávajících půdu nejenom v oblasti pěstování a sklizně cukrové řepy.

Klíčová slova: cukrová řepa, epoxidová pryskyřice, recyklace odpadu, tření.

Literatura

1. RUŽBARSKÝ, J.; JECH, J.: Zhodnotenie kvality práce trojriadkových vyorávačov repy cukrovej. *Listy cukrov. řepař.*, 113, 1997 (7–8), s. 184–188.
2. SUCHÁNEK, J.; KUKLÍK, J.; ZDRAVECKÁ, E.: *Abrazivní opotřebenění materiálů*, Praha, 2007, 162 s.
3. MÜLLER, M. ET AL.: Aplikace návarů a kompozitů v oblasti technologie pěstování a sklizně cukrové řepy. *Listy cukrov. řepař.*, 127, 2011 (9), s. 304–307.
4. MÜLLER, M. ET AL.: Unusual possibility of wear resistance increase research in the sphere of soil cultivation. *Tebnički ujesnik*, 20, 2013 (4), s. 641–646.
5. GAY, D.; SUONG, V. H.; STEPHEN, W. T.: *Composite Materials – design and application*. CRC Press LLC, 2003, 531 s.
6. SATAPATHY B. K.; BIJWE J.: Analysis of simultaneous influence of operating variables on abrasive wear of phenolic composites, *Wear*, 253, 2002, s. 787–794.
7. VALÁŠEK, P.; MÜLLER, M.; PROSHLYAKOV, A.: Effect of sedimentation on the final hardness of polymeric particle composites. *Research of Agriculture Engineering*, 58, 2012, s. 92–98.
8. MÜLLER, M.; VALÁŠEK, P.: Abrasive wear effect on Polyethylene, Polyamide 6 and polymeric particle composites. *Manufacturing Technology*, 12, 2013, s. 55–59.
9. MÜLLER, M.; HRABĚ, P.: Overlay materials used for increasing lifetime of machine parts working under conditions of intensive abrasion. *Research in Agricultural Engineering*, 59, 2013 (1), s. 16–22.

Valášek P., Müller M.: Application of Wear-resistant Polymeric Particle Composites in Construction of Ploughing Body

Functional areas of agricultural soil processing machines are exposed to an exacting environment which leads to their quick wear. An essential part of operations which are connected with sugar-beet processing technology devotes solely to soil processing. A question of tool renovation in soil processing is still topical. The subject of this paper is to review how suitable is the use of polymeric particle composites for the purposes of tool renovation in soil processing with regard to technology requirements of sugar-beet growing and harvesting. A polymeric particle system with hard inorganic particles on the basis of waste was used for treating the functional areas of the soil processing tools. Inorganic particles were represented by corundum and silicon carbide which were dispersed in epoxy matrix; their significance is increased by material usage of waste in polymeric composites. The paper describes laboratory tests and field tests of tools treated with the polymeric particle composites based on the waste. The main subject of the paper is the abrasive wear of these materials. This kind of wear is typical tool wear occurring not only in the area of sugar-beet growing and harvesting.

Key words: sugar beet, epoxy resin, waste recycling, wear.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Petr Valášek, Ph. D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra materiálu a strojírenské technologie, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: valasek@tf.czu.cz

ROZHLEDY

Buhre C., Bauer H., Eßer C., Sander G., Ladewig E. Přehled technologie pěstování – regionální rozdíly při produkci cukrovky v oblasti ochrany rostlin (Umfrage Produktionstechnik – regionale Unterschiede in der Zuckerrübenproduktion im Bereich des Pflanzenschutzes)

Při pěstování cukrové řepy v Německu jsou u některých parametrů pozorovány regionální rozdíly, především v oblasti ochrany rostlin. Obalované osivo s méně účinnými insekticidy se používá na 80 % osevních ploch cukrovky v regionech severo-východ a východ a na 30 % ploch v regionech západ, severo-západ a jih. Výskyt listových chorob je hlášen v regionech severo-východ a východ pouze na 50 % výměry, kdežto v ostatních regionech až na 90 % ploch cukrové řepy. Intenzita používání fungicidů rovněž kolísá, zatímco u aplikací herbicidů rozdíly mezi regiony nejsou výrazné. Hlavním škůdcem cukrové řepy v Německu jsou mšice.

Zuckerind./Sugar Ind., 138, 2014, č.2, s. 110–116.

Kadlec