Aplikace návarů a kompozitů v oblasti technologie pěstování a sklizně cukrové řepy

OVERLAYS AND COMPOSITES APPLICATION IN TECHNOLOGY OF SUGAR BEET CULTIVATION AND HARVEST

Miroslav Müller, Petr Valášek, Petr Novák, Petr Hrabě, Ján Paško
Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická univerzita Košice

V konstrukci zemědělských strojů vycházíme ze základního předpokladu zajištění životnosti stroje, případně strojních součástí, při současné minimalizaci nákladů na výrobu, provoz a renovace. Podstatným faktorem je především provozní prostředí a s ním spojený charakter degradačních procesů, které působí zejména na funkční povrchy. Tyto nežádoucí, avšak nevyhnutelné elementy je nutné analyzovat (1, 2).

V technologii pěstování cukrové řepy tvoří podstatnou část operací zpracování půdy. U strojů pro zpracování půdy dochází k výraznému abrazivnímu opotřebení pracovních nástrojů. Toto opotřebení je charakterizováno zmenšováním objemu nástroje a změnou jeho tvaru. Změna tvaru postupně snižuje kvalitu práce tohoto nástroje. Po dosažení určité meze musí zákonitě dojít k výměně nástroje. Náklady na provoz v zemědělství lze však snížit udržením již zakoupených výrobků v provozu za předpokladu, že daný výrobek je schopen i nadále plnit svou funkci. Jedním z možných způsobů, jak výrobek udržet v provozuschopném stavu, je provedení renovace. Jejím primárním účelem je tedy snížení celkových nákladů a hospodárnější využití součástí strojů. Dílčí technologické operace vykonávané při renovaci jsou velmi různé a závisí na stupni poškození renovované součásti. Při renovaci se využívají nové vhodnější technologie a především materiály, které nám zajistí bezvadný a bezporuchový stav renovované součásti. Provozuneschopné a opotřebované části lze často spolehlivě opravit s relativně nízkými náklady v porovnání s pořizováním nového výrobku. Nesmíme však zapomínat na možnost zaměnitelnosti jednotlivých dílů, případné zvyšování nákladů na dlouhou odstávku a s tím související nemožnost využití ke stanovené činnosti (3, 4).

Nejznámějším a nejběžnějším příkladem využití renovace opotřebitelných dílů je její využití u strojů pro zpracování půdy. Není však rozhodně jediný. Další využití renovace připadá na ostří secích botek, které při své pracovní činnosti také podléhají abrazivnímu opotřebení. Další méně známou možností je renovace funkčních částí kombinovaných sklízečů. Renovace je zde velmi vhodná, např. na části vyorávacího ústrojí, ale i na další funkční celky.

Těžiště renovací lze spatřovat především v navařování. Kromě navařování lze však velmi úspěšně a rychle vytvářet „renovované“ povrchy nanášením kompozitů, někdy také nazývaných „tekutý kov“. Technologii, kterou využijeme, volíme jednak na základě zkušeností jednotlivých pracovníků, ale především podle vybavenosti pracoviště.

Sklízeče cukrové řepy patří mezi investičně nejnákladnější zemědělské stroje a hrají významnou roli v technologii pěstování cukrové řepy. Na kvalitě práce těchto strojů závisí celková ekonomická bilance pěstování. Špatná kvalita sklizně zvyšuje počet příměsí a poškození bulev, a tím snižuje celkovou kvalitu produktu. Faktor kvality je podstatný vzhledem ke konkurenčnímu prostředí jednotlivých dodavatelů a pohybu cen na komoditní burze (5, 6, 7).

Moderní sklízeče cukrové řepy by měly splňovat vysokou hodinovou výkonnost, nízkou hmotnost, čistotu bulev a minimalizaci procenta ztrát (5).

Tab. I. Přehled, charakteristika a orientační cena testovaných materiálů

Označení	Charakteristika	Cena (Kč.kg^{-1})
MARTENZITICKÉ NÁVARY		
UTP DUR 600 UTP DUR 650 Kb UTP 670 UTP 690	Dosažitelná maximální tvrdost tepelně zpracovaného martenzitického materiálu záleží především na obsahu uhlíku. Procesy probíhající při popouštění výrazně ovlivňují tvrdost. Mohou vznikat karbidy, které se budou svou velikostí podílet na mechanizmu abrazivního opotřebení.	400–750
LEDEBURITICKÉ NÁVARY		
UTP LEDURIT 60 UTP LEDURIT 61 UTP LEDURIT 65	Tyto návarové materiály mají většinou vysokou přirozenou tvrdost, která se ani při různých metodách navařování nemění. Jejich použití je velmi rozsáhlé. Jsou to zejména návary součástí strojů pro zpracování půdy.	200–450
STELITY		
CELSIT SN CELSIT 712	Jedná se o neželezné materiály na bázi kobaltu a niklu, tzv. stelity, jejichž základem je kobalt. Vzhledem k vysoké ceně se používají ke speciálním účelům. Jejich předností je vysoká tvrdost, která se zachovává i při vysokých teplotách, vysoká odolnost proti působení chemikálií a vysoká odolnost proti opotřebení.	2 500–3 500
POLYMERNÍ ČÁSTICOVÉ KOMPOZITY		
Matrice: dvousložková epoxidová pryskyřice **Zpevňující fáze:** Al_2O_3 – F80, F240, F600, F1200, Cu	Jedná se o systém vytvořený smísením matrice v podobě dvousložkové epoxidové pryskyřice, vyznačující se odolností vůči degradačním činitelům, a zpevňující fáze v podobě korundu o různé zrnitosti. Dvoufázový systém umožňuje dosažení synergického efektu dílčích fází. Jedná se o perspektivní typ materiálů charakteristický variabilitou fyzikálních a mechanických vlastností.	250–400

Zejména vliv hmotnosti a čistoty bulev lze splnit funkčními povrchy pracovních částí. U strojů vstupujících do procesu sklizně cukrové řepy je degradační zejména abrazivní opotřebení vyvolané vzájemnou interakcí s půdou. To způsobuje až 50 % ze všech poškození způsobených různými způsoby opotřebení. Důležité jsou mechanické vlastnosti funkčních povrchů, které současně splňují odolnost oproti opotřebení, eliminaci poškození bulev cukrové řepy a minimalizaci přilnutí půdy na nástroje a bulvy. Při aplikaci polymerních materiálů je díky fyzikálním a chemickým vlastnostem minimalizována přilnavost půdy na pracovní nástroje a s tím spojené znečištění řepných bulev a snížení energetické náročnosti (8, 9).

Vlastnosti funkčního povrchu nástrojů a součástí lze při zachování původních vlastností pod povrchem účelně měnit. Mezi klasické metody patří navařování, které umožňuje úspěšně snižovat materiálové a ekonomické náklady.

Navařování je jednou z metod, které se používají pro vytvoření nového funkčního povrchu s cílem zlepšení stávajících vlastností. Uplatňuje se nejen při opravách, ale i jako preventivní návary na nové součásti. Může uspořit velké množství materiálu, peněz i času. Velkou výhodou navařování je, že se jedná o relativně rychlý způsob zvýšení odolnosti proti opotřebení, vhodné je ale i pro renovace. Zpravidla se používá tam, kde pro obtížné pracovní podmínky nemůžeme dosáhnout potřebné jakosti povrchu žádným z běžně používaných způsobů. Jeho význam se projeví u velkých součástí a strojních částí, které jsou vystaveny intenzivnímu opotřebení, kde bychom museli vyrobit většinou celý díl z drahého materiálu. V četných případech je to jediné řešení, jak udržet dotyčné zařízení v provozu bez nákladných rekonstrukcí nebo bez snížení jeho výkonu. Strojní části opatřené návary mívají tak velkou životnost, že volba této dražší metalurgické úpravy povrchu je v provozu mnohdy ekonomicky výhodná.

Návarové materiály, které pro tento účel používáme, mají různé vlastnosti. Při jejich volbě musíme důsledně vycházet ze způsobu namáhání navařované součásti a zároveň přihlížet ke složení základního kovu.

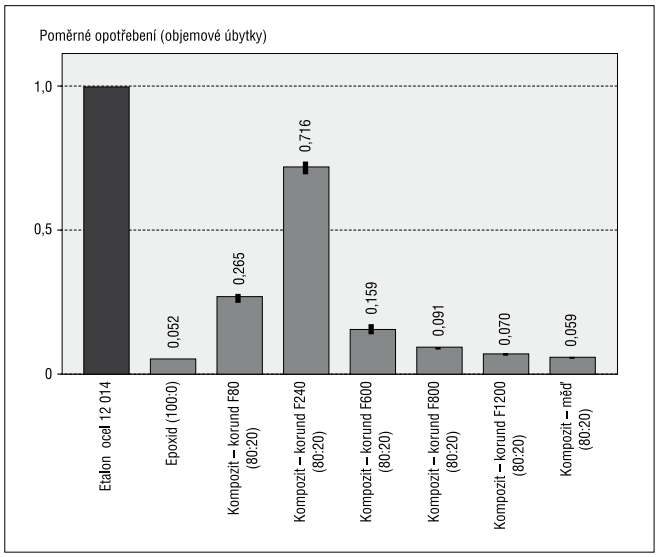
U součástí vysoce namáhaných, kde si přejeme, aby životnost byla co nejdelší, je nutné volit materiál hodnotnější, než je základní kov. V praxi se pro navařování používá mnoho návarových slitin s různými vlastnostmi. Jedná se o martenzitické, autenitické, ledeburitické návary. Dále pak neželezné materiály na bázi kobaltu a niklu a samozřejmě také keramické materiály. Při navařování méně namáhaných ploch vyhovuje levnější materiál návarových elektrod.

Aby navařená součást splnila v provozu předpokládanou funkci, je nutno volit k navařování správný přídavný materiál a nejvhodnější výrobní postup, a to podle tvaru navařované součásti a jejího chemického složení. Přídavný materiál je třeba volit především podle druhu opotřebení a způsobu namáhání dané strojní součásti.

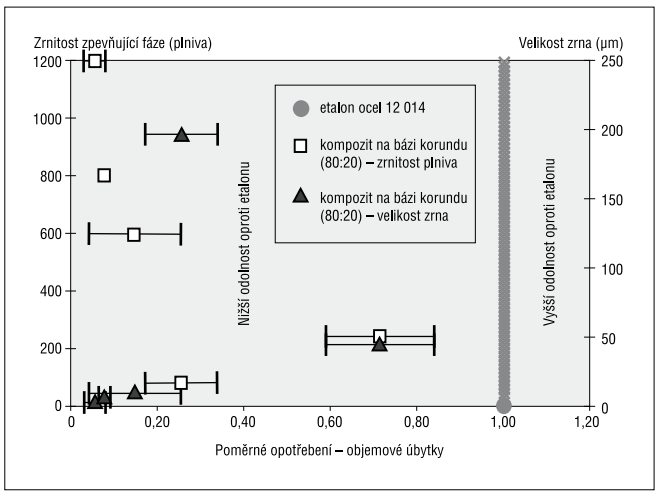
Navařované povrchy musí být dostatečně odolné proti vzniku trhlin, proto je třeba, aby byl použitý návar dostatečně houževnatý. Na houževnatost návarů klademe zvláštní důraz tehdy, jde-li o součásti vystavené v provozu mechanickým rázům.

I když navařování má zcela jiný účel než svařování a ve většině případů jsou i rozdílné jakosti použitých přídavných materiálů, mají přesto oba technologické procesy mnoho společného, to znamená, že pro navařování platí mnohé z toho, co platí pro svařování. Jsou to některé metalurgické aspekty, ovlivnění základního materiálu, vnesená pnutí, ale v neposlední řadě jsou

Obr. 1. Opotřebení materiálů s nižší odolností vůči etalonu



Obr. 2. Vliv zrnitosti zpevňující fáze a velikosti zrna



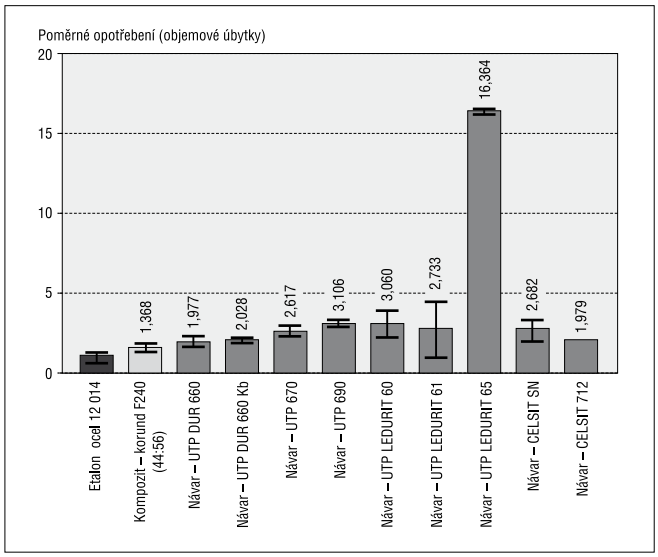
to použitá svařovací (navařovací) zařízení a s nimi související technologie. Proto tedy, tak jako svařujeme, tak i navařujeme plamenem, ručně elektrickým obloukem obalenou elektrodou, pod tavidlem, v ochranných atmosférách apod. Použitá zařízení jsou většinou stejná jako pro svařování, eventuálně s drobnými úpravami. Existují ovšem i zařízení, která jsou určena pouze k navařování, např. vibrační navařování, plamenopráškové navařování, navařování plazmou a jiná.

Mezi netradiční způsoby vytvoření nových funkčních povrchů, zejména v zemědělství, patří možnost vytvoření kompozitních vrstev pevně spojených se základním materiálem. Základním předpokladem pro optimální volbu materiálů a jejich vzájemné kombinace je znalost jejich chování a vzájemná interakce.

Dynamicky se rozvíjející skupinou materiálů jsou bezesporu plasty a materiály na jejich bázi dále zdokonalované. Do této skupiny je možno zařadit tzv. polymerní částicové kompozity synergicky kombinující mechanické vlastnosti zpevňující fáze a vhodné vlastnosti matrice.

Kompozitní materiály jsou složeny z fází se značně odlišnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Podstatnou změnu mechanických vlastností je možno dosáhnout přidáním optimálního

Obr. 3. Opotřebení materiálů s vyšší odolností vůči etalonu



objemu plniva neboli zpevňující fáze do lepidel. Tím dochází ke vzniku částicového polymerního kompozitu se specifickými vlastnostmi. Optimální užitné vlastnosti těchto kompozitů jsou limitovány především rizikem vzniku segregace a delaminace jednotlivých funkčních částí, které je způsobeno nevhodnou koncentrací a materiálem plniva.

Při aplikaci na pracovních plochách sklízečů cukrové řepy jsou podstatným elementem tribologické vlastnosti, které se výrazně mění na základě objemového podílu, mechanických vlastnostech zpevňující fáze a interakce rozhraní zpevňující fáze/matrice.

Všechny parametry, na kterých závisí vlastnosti kompozitních materiálů, souvisí buď s jejich strukturou nebo s mezifázovými vztahy. Jednotlivé fáze ovlivňují výsledné vlastnosti materiálu jednak svými vlastními charakteristikami, jednak vzájemnou interakcí matrice a plniva. A právě díky interakcím mezi příslušnými složkami je možné dospět k jiným kvalitním materiálům. Přidání optimálního podílu pevných mikrorozměrných plniv do polymerů často zvyšuje jejich pevnost a odolnost proti opotřebení (10).

Materiál a metody

Testovány byly materiály s důrazem na možnou aplikaci v oblasti výroby a renovace pracovních částí strojů využívaných k pěstování a sklizni cukrové řepy. Experimenty byly zaměřeny na hodnocení návarových materiálů a vývoj polymerních částicových kompozitů vyznačujících se odolností vůči abrazivnímu opotřebení.

Zkoušky proti abrazivnímu opotřebení byly provedeny na přístroji s brusným plátnem s vysokou abrazivitou vycházející z normy ČSN 01 5084. Zkušební přístroj s brusným plátnem je složen z rovnoměrně se otáčející vodorovné desky, na kterou se upevňuje brusné plátno. Zkušební těleso o rozměrech 25 × 25 × 25 mm je drženo upínací hlavicí a je přitlačováno k brusnému plátnu o zrnitosti F 120 silou vyvozenou sadou závaží s celkovou hmotností 2,35 kg. Zkušební vzorek je během zkoušky posunován od středu ke kraji brusného plátna (nebo i v opačném směru) a částí svého povrchu přichází neustále do styku s nepoužitým brusným plátnem. Jako etalon byl použit materiál ocel 12 014 o průměrné tvrdosti 100 HV (11, 12).

Princip zkoušky odpovídá tzv. two body abrasion, kdy pevně vázané tvrdé částice vnikají do povrchu a při vzájemném pohybu částice tvrdší opotřebovávají měkčí materiál. Tento proces vede k oddělování materiálu a tím k hmotnostním a objemovým ztrátám materiálu.

Hmotnostní úbytky byly váženy na analytických vahách vážících na 0,00001 g. Pro snížení nepřesnosti bylo měření provedeno opakovaně a posléze statisticky vyhodnoceno. Poměrné opotřebení bylo vypočítáno dle vztahu (1).

$$\Psi_h = \frac{W_{hZ}}{W_{hPZ}} \qquad (1),$$

kde: Ψ_h – poměrné opotřebení,
W_{hZ} – hmotnostní úbytek etalonu (g),
W_{hPZ} – hmotnostní úbytek zkušebního vzorku (g).

Pro stanovení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení byly použity návarové materiály ve formě obalených elektrod vhodných v aplikační oblasti agrokomplexu. Druhou skupinou byly polymerní částicové kompozity na bázi dvousložkové epoxidové pryskyřice a zpevňující fáze ve formě korundu (Al_2O_3).

V tab. I. je uveden přehled použitých materiálů a jejich orientačních cen. Polymerní částicové kompozity byly vytvořeny v poměru matrice : zpevňující fáze (80 : 20) Al_2O_3 a Cu. Dále byl výzkumu podroben i kompozitní materiál, který při výrobě vykazoval „nasycenost roztoku“ zpevňující fáze. Poměr byl u zrnitosti F24 44 : 56. Testován byl i samostatný polymer a dále plnivo na bázi mědi.

Výsledky

Následkem opotřebení přestane mít součást stroje předepsanou velikost a tvar, zařízení se stane méně účinným a spolehlivým a při dalším provozu může dojít k meznímu stavu, po kterém dojde k poruše.

Vzhledem k rozdílené hustotě etalonu a návarových materiálů na jedné straně a polymerů na druhé straně je nutno pro zvýšení vypovídací schopnosti výsledků uvádět objemové hodnoty poměrného opotřebení. Hustota etalonu a návarů se pohybovala v rozmezí cca 6 800–7 800 kg.m^{-3}. Hustota polymerních částicových kompozitů byla v rozmezí cca 1 250–2 010 kg.m^{-3}. Hustota epoxidové pryskyřice byla 1 150 kg.m^{-3}.

Materiály na polymerní bázi s poměrem pryskyřice a zpevňující fáze 80 : 20 vykazovaly nižší hodnoty poměrného opotřebení vůči ocelovému etalonu. Zjištěné hodnoty zobrazuje obr. 1. Z výsledků je však patrný trend vlivu velikosti zrnitosti, která se jeví jako podstatná ve vývoji kompozitních materiálů odolných vůči abrazivnímu opotřebení.

Z obr. 2. je patrný vliv poměrného opotřebení v závislosti na zrnitosti a velikosti zrna. Experimentálním studiem závislosti velikosti zpevňujících částic se ukázala kritická velikost zrna 45 μm, při níž dochází diametrálně k nárůstu hodnot odolnosti vůči opotřebení.

Kompozitní systémy vykazovaly 4× nižší hustotu oproti návarovým materiálům. Tyto základní fyzikální vlastnosti se projevily při hodnocení hmotnostních úbytků vykázáním zvýšených hodnot odolnosti proti opotřebení. Konkrétně vykazovaly kompozity na bázi F80 a F240 vyšší odolnost 1,4–6,8× vůči

ocelovému etalonu. V hmotnostních úbytcích byly tyto materiály srovnatelné s téměř všemi návary.

Na základě rostoucího trendu byl proveden u kompozitu s nejvyšší odolností proti opotřebení pokus s maximálním množstvím plniva, tj. nasycenou směsí. Výsledky experimentů kompozitu v poměru 44 : 56 vykazovaly vyšší odolnost vůči ocelovému etalonu (obr. 3.).

Z výsledků uvedených na obr. 3. je zřejmé, že martenzitické návary mají 2–3× větší odolnost než porovnávaný etalon. U ledeburitických návarů se odolnost pohybuje od 3 do 16 podle toho, jaké karbidotvorné prvky obsahuje návarový materiál. U stelitů (návar CELSIT) byla naměřena stejná odolnost jako u martenzitických návarů. U těchto návarů se projevuje vyšší odolnost proti opotřebení při vyšších pracovních teplotách součásti. Nejsou vhodné při aplikacích, kde se nevyskytují vyšší pracovní teploty tj. např. v zemědělství při styku materiálu s půdou. Z ekonomického hlediska je nutno zvážit pořizovací cenu v porovnání se stupněm opotřebení.

Závěr

V současném globalizovaném trhu je prakticky nemožné odhadnout vývoj cen. To při současném přihlédnutí ke stále doznívající ekonomické krizi nutí pěstitele snižovat náklady na všech úrovních. Renovace opotřebitelných dílů a funkčních celků je jednou z klíčových možností. Druhou možností je aplikace specifických materiálů na bázi kompozitů, které se díky své hmotnosti a nižším hodnotám třecího odporu vyznačují úsporou prostředků vložených na běžný provoz strojů pro pěstování a sklizeň cukrové řepy.

Oblast renovace opotřebitelných dílů a funkčních částí zemědělských strojů se bude díky zavádění nových materiálů a technologií renovace rozšiřovat na větší počet jednotlivých strojů.

Pro zemědělskou praxi je možno primárně doporučit návarové materiály UTP DUR 600, UTP DUR 650 Kb a UTP LEDURIT 65 pro nástroje a díly zpracovávající zeminu. Oblast použití uvedených návarových materiálů udává výrobce.

Polymerní částicové kompozity ukázaly potenciální možnost odolávat vysoce abrazivnímu opotřebení zejména při aplikaci zpevňující fáze o velikosti cca 45 μm. Nízké pořizovací náklady a jednoduchost přípravy jsou jednoznačným kladným faktorem hovořícím pro možnost aplikace v oblasti zemědělské výroby. Dalším podstatným kladem polymerních částicových kompozitů je povrchová energie v intervalu 25–50 $mN.m^{-1}$. U kovů na bázi železa se povrchová energie pohybuje na úrovni cca 2 000 $mN.m^{-1}$. Tento předpoklad jasně ukazuje na eliminaci přilnavosti půdy na pracovní nástroje a s tím spojené znečištění bulev cukrové řepy, které jsou v přímém kontaktu s těmito funkčními povrchy.

Souhrn

Tento příspěvek je zaměřen na možnosti renovace v oblasti zemědělské techniky s využitím kompozitních materiálů a návarů. Náklady na opotřebitelné díly tvoří poměrně velkou finanční zátěž nejen při pěstování cukrové řepy, ale i dalších polních plodin. Vhodně provedená renovace může výrazně snížit náklady vynaložené na opotřebitelné díly u mnoha druhů zemědělské techniky, nejen strojů na zpracování půdy, ale v celé technologii pěstování cukrové řepy. Tento zásah však musí být proveden vždy včas, aplikací vhodného materiálu na vhodná místa opotřebitelného dílu a rovněž vhodným technologickým postupem. Teprve dodržením těchto bodů se renovace stává efektivní a moderní technologií soudobé rostlinné výroby.

Klíčová slova: cukrová řepa, kompozit, návar, opotřebení, renovace, stroje, technologie pěstování.

Literatura

1. Müller, M.; Chotěborský, R.; Hrabě, P.: Degradation processes influencing bonded joints. *Research in Agricultural Engineering*, 55, 2009 (1), s. 29–34.
2. Müller, M.; Valášek, P.: Adhesive bonds degradation. In 9*th Int. sci. conference engineering for rural development.* Jelgava: LUA, 2010, s. 49–52.
3. Ružbarský, J.; Šařec, O.; Žarnovský, J.: Pôsobenie vyorávacích ústrojenstiev na kvalitu výsledného produktu. *Listy cukrov. řepař.*, 121, 2005 (7/8), s. 219–221.
4. Kroulík, M. et. al.: Přehled systémů mapování výnosů při sklizni cukrovky. *Listy cukrov. řepař.*, 121, 2005 (1), s. 13–17.
5. Mašek, J.; Heřmánek, P.; Procházka, P.: Sklízeče cukrové řepy a možnosti mapování výnosu při sklizni. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (9/10), s. 252–254.
6. Čermák, P.: Trh s cukrem ve světě. *Listy cukrov. řepař.*, 125, 2009 (11), s. 302–304.
7. Ružbarský, J.: Vplyv čistiacich mechanizmov na kvalitu práce návesných vyorávačov. *Listy cukrov. řepař.*, 120, 2004 (9/10), s. 260–262.
8. Ružbarský, J.; Jech, J.: Zhodnotenie kvality práce trojriadkových vyorávačov repy cukrovej. *Listy cukrov. řepař.*, 113, 1997 (7/8), s. 184–188.
9. Žitňák, M.; Macák, M.; Jech, J.: Zhodnotenie kvality práce čistiacich nakladačov. *Listy cukrov. řepař.*, 126, 2010 (11), s. 363–368.
10. Byung Chul Kim, Sang Wook Park, Dai Gil Lee: Fracture toughness of the nano-particle reinforced epoxy composite. *Composite Structures*, 86, 2008, s. 69–77
11. Brožek, M.: The Turning of Overlays Using Sintered Carbide Tools. *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 40, 2009 (5/6), s. 438–446.
12. *ČSN 01 5084: Stanovení odolnosti kovových materiálů proti abrazivnímu opotřebení na brusném plátně.* Praha: Český normalizační institut, 1973. 4 s.

Müller M., Valášek P., Novák P., Hrabě P., Paško J.: Overlays and Composites Application in Technology of Sugar Beet Cultivation and Harvest

This paper focuses on the possibilities of renovation in agricultural technology using composite materials and overlays. Costs for wear parts are quite high not only in the sugar beet production but also for other crops. Appropriate renovation can reduce the costs of wear parts in many types of farming equipment, not just clay-working machines, but in the whole technology of sugar beet cultivation. This intervention has to be carried out in time, using appropriate material in appropriate places of wear parts and also using a suitable technological process. By observing these points, the renovation becomes an effective and modern technology of the contemporary plant production.

Key words: sugar-beet, composite, overlay, wear, renovation, machina, technology of cultivation.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph. D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra materiálu a strojírenské technologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchdol, Česká republika, e-mail: muller@tf.czu.cz