

## TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ APLIKACE NÁVARŮ U PLUŽNÍCH ČEPELÍ

M. Brožek

**Došlo: 23. února 2007**

### Abstract

BROŽEK, M.: *Technic-economical evaluation of the overlays application on the plough shares*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 4, pp. 129–136

The paper presents the performance tests results of plough shares without and with overlays. During the tests the relationship between the single plough shares wear and the plough operation time was watched. Using the in this way determined time behaviour of wear and the basic economical materials the average renovation and operation costs for each used plough share were calculated. Using this criterion it is easy to compare single technical-economical solutions.

plough shares, wear, renovation, technical-economical evaluation

Častým důvodem předčasného vyřazení zemědělské techniky z provozu jsou procesy opotřebení [ČSN 01 5050]. V mnoha případech je odstavení celého strojního celku způsobeno poškozením jedné jediné součásti. Například při orbě jsou těmito součástmi plužní čepele (obr. 1). Důsledkem jsou pak menší či větší ekonomické ztráty, zejména u náročných

a složitých strojních celků. Z této úvahy je jasné, proč v posledních letech vystupuje do popředí úkol prodlužování životnosti (resp. snižování opotřebení) exponovaných strojních dílů. Možností řešení tohoto problému je několik. Jednou z nich je použití technologie navařování – zhotovení speciálního návaru odolného proti opotřebení na funkčním povrchu součásti.



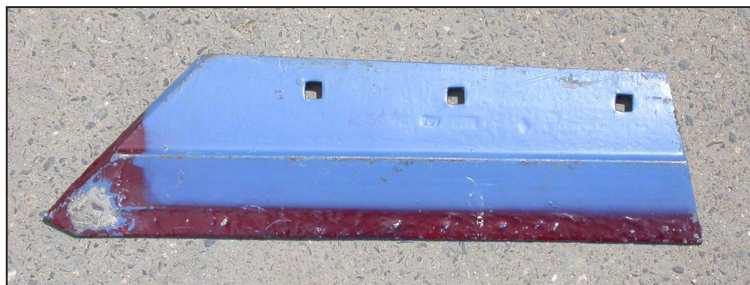
1: Nová a opotřebovaná plužní čepel

Technologie navařování se v praxi využívá dvěma způsoby:

- tzv. preventivní návary – tedy zhotovení návaru na funkční plochy v konečné fázi výroby součásti (ve výrobním závodě); návarem se nejčastěji zvyšuje odolnost povrchu proti opotřebení (obr. 2), jiným

důvodem může např. být zvýšení odolnosti proti korozi, zvýšeným či vysokým teplotám apod.

- tzv. renovace – tedy zhotovení návaru na provozem opotřebované funkční plochy (obvykle u provozovatele); návarem se doplňuje chybějící materiál [Brožek, 1995].



2: Preventivní návar: plužní čepel a detail návaru

Návary mohou (ovšem pouze při jejich vhodné aplikaci) přinést značný ekonomický efekt, a to v oblasti:

- materiálových a energetických úspor – výroba nové součásti je většinou materiálově a energeticky náročnější než zhotovení návaru na opotřebovaných plochách při renovaci,
- snížení pracnosti – obrábění funkčních ploch po renovaci je obvykle méně pracné než obrábění všech funkčních ploch při výrobě nové součásti; kromě toho lze ve speciálních případech návar použít bez jakýchkoliv dalších úprav (např. u dílů zemědělských strojů pro zpracování půdy), příp. jen s minimální úpravou (např. ručním broušením úhlovou bruskou),
- zvýšení životnosti navařené součásti – z nabídky výrobců lze vždy vybrat vhodný návarový materiál pro konkrétní provozní podmínky určité součásti; ta může při správné volbě návarového materiálu mít oproti původní i podstatně vyšší životnost, takže se sníží frekvence výměn opotřebovaných součástí, doby prostojů zařízení při opravách atd. [Brožek, 1995].

Problematickou zvyšování životnosti součástí zemědělských strojů pracujících v podmínkách intenzivního opotřebení se u nás od cca padesátých let minulého století věnovalo a dosud věnuje několik univerzitních pracovišť a výzkumných ústavů, přičemž jejich pracovníci výsledky své práce periodicky publikují [např. Brožek, 1995 a 2006; Brožek aj., 2005; Březina aj., 1993; Březina aj., 2004; Horáček J., 2003; Horáček, J., 2002; Havlíček, J., 1989; Legát aj., 1997 aj.].

Cílem experimentů, jejichž výsledky jsou publikovány v tomto příspěvku, bylo v první etapě sta-

novit „technické“ vlastnosti vybraných návarových materiálů aplikovaných na velmi namáhané pracovní části zemědělských strojů – plužní čepel, a to na základě provozních – orebních – zkoušek. Na základě znalosti chování konkrétního typu návaru v konkrétních podmínkách provozu s přihlédnutím k ekonomickým podkladům bylo ve druhé etapě provedeno hodnocení „technicko-ekonomické“. Z výsledků předchozích prací je totiž zřejmé, že pouze technické hodnocení není dostačující. Zjednodušeně řečeno, pokud se podaří zvýšit životnost součásti např. na dvojnásobek, ale za trojnásobné náklady, není tento postup (většinou) ekonomicky zdůvodnitelný a použití takového návaru je v praxi, až na výjimečné případy, nežádoucí.

## MATERIÁL A METODY

### Metodika hodnocení životnosti plužních čepelí

Plužní čepel je typickým vícestavovým prvkem, u něhož dochází s narůstajícím objemem vykonané práce (tedy výměrou zorané plochy) k průběžným změnám strukturních a provozních parametrů, které mají významný a měřitelný vnější projev:

- čepel se vlivem opotřebení otupuje, vzrůstá poloměr zakřivení ostří čepel,
- postupně se zmenšuje šířka čepel, zvláště v oblasti úhorové hrany,
- čepel se postupně zeslabuje v důsledku tření hřbetní strany o půdu,
- zmenšuje se celková délka čepel v důsledku opotřebení v oblasti úhorové hrany a brázdové špičky,
- dochází k trvalým deformacím tvaru především při orbě kamenitých půd (ohnutí špičky či nosu, příp. dalších částí bříty),

- dochází k vylomení částí čepele (ulomení špičky při zachycení o pevnou překážku aj.).

Nejzávažnější postupná porucha – abrazivní opotřebení různých částí čepele – ovlivňuje několik provozních parametrů:

- při otupení roste řezný odpor (resp. tahový odpor), zvyšuje se spotřeba energie (paliva) na jednotku zorané plochy,
- zpravidla postupně klesá výkonnost orební soupravy,
- postupně se zhoršuje kvalita orby, zvláště zahlučování pluhu na souvrati, dochází ke zvýšenému kolísání hloubky orby, zhoršenému přerézávání kořenů některých plevelů aj.

V nákladové oblasti jsou s výrobou a provozem plužních čepelí spojeny tyto druhy nákladů:

- výrobní náklady v oblasti výrobce (mzda, materiál, nepřímé náklady), pořizovací cena v oblasti uživatele (výrobní náklady zvětšené o zisk), označené  $N_c$ , Kč,
- náklady na demontáž poškozené a montáž nové či renovované čepele při její výměně, zpravidla náklady pracovní a náklady nepřímé, označené  $N_v$ , Kč,
- náklady na prostoje celé orební soupravy při demontáži a montáži čepele, označené  $N_{pd}$ , Kč,
- náklady na zvyšující se spotřebu energie při vzrůstajícím opotřebením čepele, označené  $N_e$ , Kč,
- pracovní a nepřímé náklady související s poklesem výkonnosti orební soupravy, vyvolané rostoucím opotřebením čepele, zpravidla náklady pracovní a nepřímé (např. amortizace strojů apod.), označené  $N_b$ , Kč,
- náklady (ztráty) vyvolané zhoršující se jakostí orby při rostoucím opotřebením čepele, označené  $N_q$ , Kč,
- kompletní náklady na renovaci čepele v případě její renovace, označené  $N_r$ , Kč,
- zůstatková hodnota čepele po vyčerpání technického života (zpravidla se rovná ceně kovového odpadu), označené  $N_{zu}$ , Kč.

Při bližším posouzení jednotlivých nákladových položek je zřejmé, že je lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- náklady  $N_o$  vlastní obnovy, tvořené položkami

$$N_o = N_c + N_v + N_{pd} + N_r - N_{zu} \quad \text{Kč}, \quad (1)$$

kteří se s objemem vykonané práce – dobou provozu  $t$  (resp. velikostí zorané plochy) nemění; skutečnost, že mají charakter konstanty znamená, že s rostoucí dobou provozu se nákladové zatížení v přepočtu na jednotku zorané plochy snižuje,

- náklady  $N_p(t)$  na provoz, tvořené položkami

$$N_p(t) = N_e(t) + N_b(t) + N_q(t) \quad \text{Kč}, \quad (2)$$

s ohledem na zvyšující se opotřebení čepele tyto náklady progresivně narůstají; každý následující hektar zorané plochy je nákladově více zatížen.

Z rozboru nákladů, definovaných vztahy (1) a (2), vyplývá, že problém hodnocení jakosti se člení na dvě fáze:

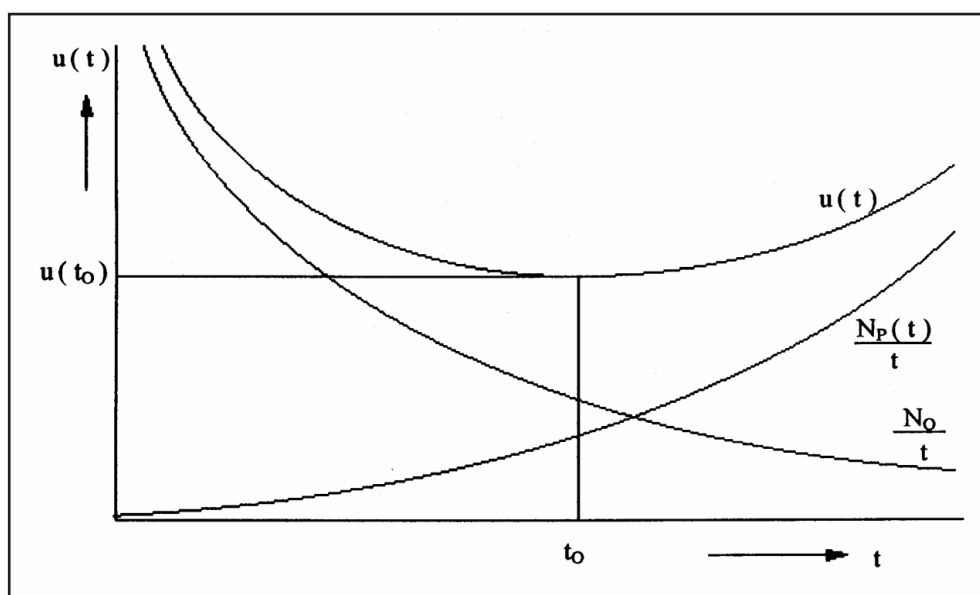
- pro konkrétní výrobek (pro konkrétní plužní čepel, např. bez návaru a s návarem) lze nalézt optimální okamžik její obnovy (výměny nebo opravy) a tím v podstatě definovat optimální technický život  $t_o$  a zároveň stanovit, jaké nákladové zatížení jednotky zorané plochy připadá v tomto okamžiku od nákladů vlastní obnovy  $N_o$  a od nákladů na provoz  $N_p(t_o)$ , tj. stanovit velikost průměrných jednotkových nákladů  $u(t_o)$  na obnovu a provoz

$$u(t_o) = \frac{N_o + N_p(t_o)}{t_o} = \min \quad \text{Kč.ha}^{-1} \quad (3)$$

je zřejmé, že za veličinu  $t_o$  bude pokládána taková doba provozu (velikost zorané plochy), kdy funkce  $u(t)$  dosáhne minimální hodnoty,

- ze souboru různých posuzovaných plužních čepelí (různého tvaru, materiálu, aj.) vybrat jako celkově nejvýhodnější tu konkrétní čepel, u níž je hodnota  $u(t_o)$  minimální – tedy zorání jednotky plochy za technický život čepele je celkově nejlevnější [Havlíček, 1989; Legát, 1997].

Grafická interpretace výše uvedených vztahů je zřejmá z obr. 3.



3: Princip stanovení minimálních nákladů na provoz a obnovu plužní čepel  $u(t_0)$  a její optimální doby provozu  $t_0$

### VÝSLEDKY A DISKUSE

Výše popsaná metodika je aplikována pro technicko-ekonomické zhodnocení orebních (provozních) zkoušek plužních čepelí bez návaru a s návaru.

K experimentům byly použity plužní čepel bez návaru (= etalon) a s pěti různými typy návarů třech výrobců. Směrné (typické) chemické složení a cena elektrod (včetně DPH) je přehledně uvedena v tab. I.

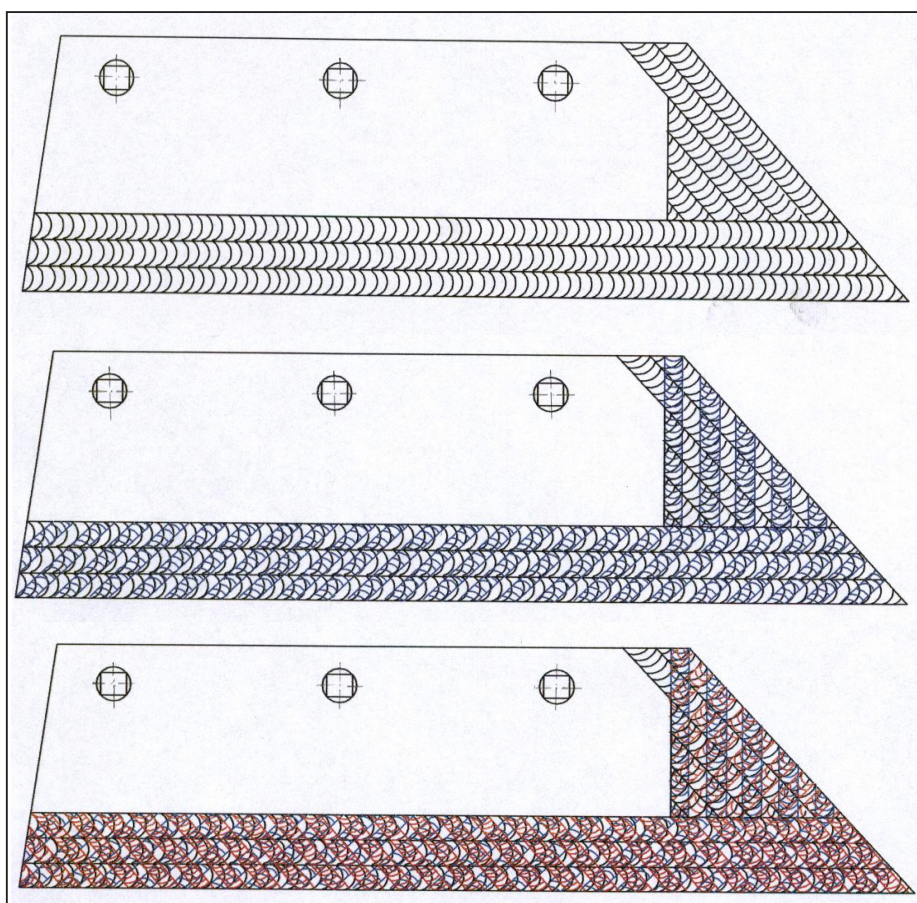
I: Přehled zkoušených návarových materiálů

návar	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	V	Ti	cena, Kč.kg <sup>-1</sup>
I	0,5	0,8	1,2	7,2	1,3	0,5	xx	xx	262,40
II	0,4	0,8	0,3	8,0	1,0	xx	0,6	xx	244,70
III	0,5	2,3	0,4	9,0	xx	xx	xx	xx	192,80
IV	4,5	0,8	1,0	33	xx	xx	xx	xx	333,20
V	3,0	2,0	0,3	6,3	xx	xx	5,7	4,8	916,30

Všechny návarové materiály byly použity ve formě obalených elektrod a navařeny metodou MMA – 111 podle ČSN EN 24063 (05 0011) ve třech vrstvách (obr. 4) – podélně a poté v úhlu cca 45° „zleva

doprava nahoru“ a „zleva doprava dolů“. Výběr konkrétního přídavného materiálu k odzkoušení byl proveden po konzultaci a na základě doporučení pracovníků výrobců.





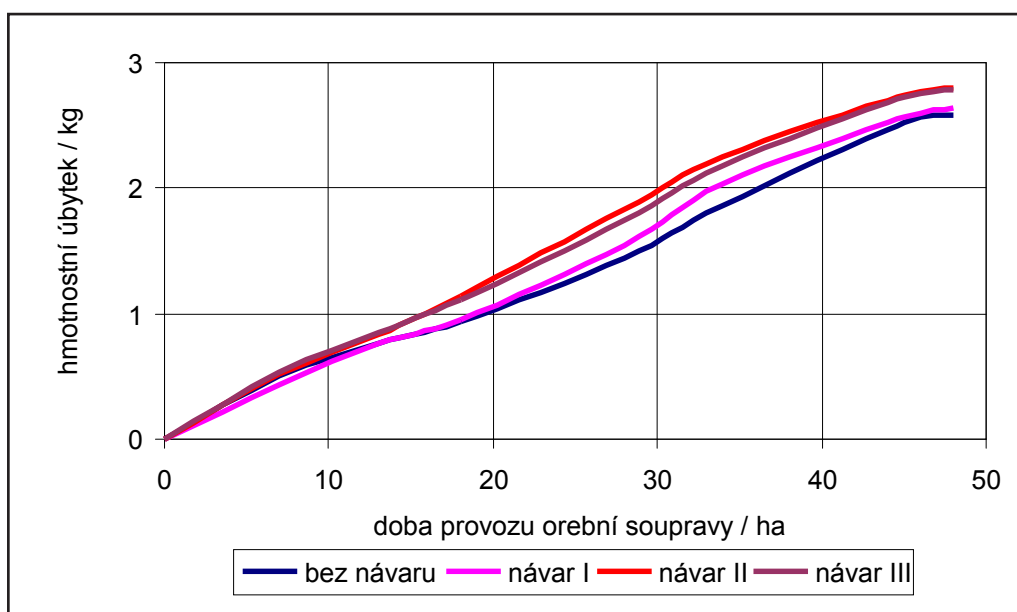
4: Schéma kladení jednotlivých housenek třívrstvého návaru

Do ekonomických výpočtů (viz obr. 7 a obr. 8) byly dosazeny následující hodnoty:

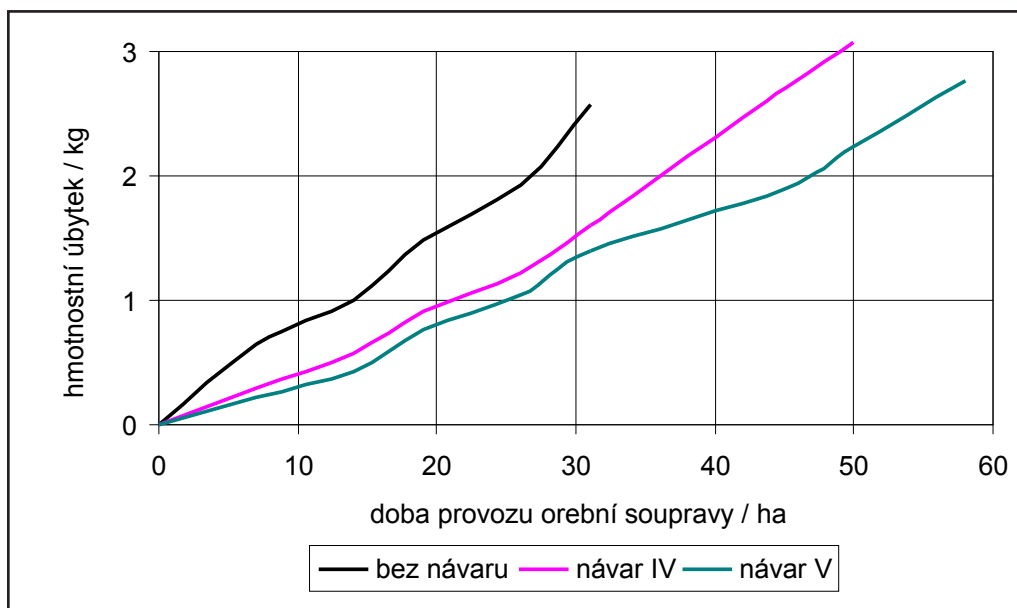
- pořizovací cena plužní čepelí byla cca 200 Kč za kus,
- náklady na výměnu byly spočítány na cca 6,50 Kč,
- náklady na prostoje a dopravu byly spočítány na cca 100 Kč,
- náklady na renovaci (od 58,20 do 249,60 Kč) se lišily podle typu navařené elektrody a závisely zejména na ceně použitého přídatného materiálu (průměrná spotřeba byla cca 0,25 kg na jednu plužní čepel); náklady na přehřev kyslíko-acetylenovým plamenem byly vyčísleny na cca 10 Kč, náklady na zhotovení návaru byly cca 52,50 Kč; zůstatková cena plužní čepelí byla vyčíslena na cca 12 Kč.

Orba sedmiradličním pluhem probíhala ve dvou různých půdách [ČSN 46 5302] – v méně abrazivní hnědozemní půdě, ve které byly zkoušeny plužní

čepelí s návary I, II a III a ve vysoce abrazivní písčité půdě s opukou, ve které byly zkoušeny plužní čepelí s návary IV a V. S ohledem na cíle a charakter experimentu nebyla bližší identifikace charakteru půdy, tedy určení druhu, typu, vlhkosti, šterkovitosti, struktury, humosnosti a celkové hloubky půdy, prováděna. Při orbě byly použity parametry orby v praxi běžně používané. Před montáží na pluh byly všechny plužní čepelí označeny a zváženy. V průběhu orby byly několikrát demontovány, pečlivě očištěny a zváženy. Po ukončení zkoušek byly rovněž zváženy. Z těchto údajů byly počítány hmotnostní úbytky. Zkoušky probíhaly jako komparační. Hmotnostní úbytky plužních čepelí s různými typy návarů byly porovnávány s hmotnostními úbytky plužních čepelí bez návaru (etalony). Výsledky zkoušek jsou znázorněny na obr. 5 a 6 ve formě závislosti hmotnostních úbytků plužních čepelí v závislosti na výměře orební soupravy zorané plochy.



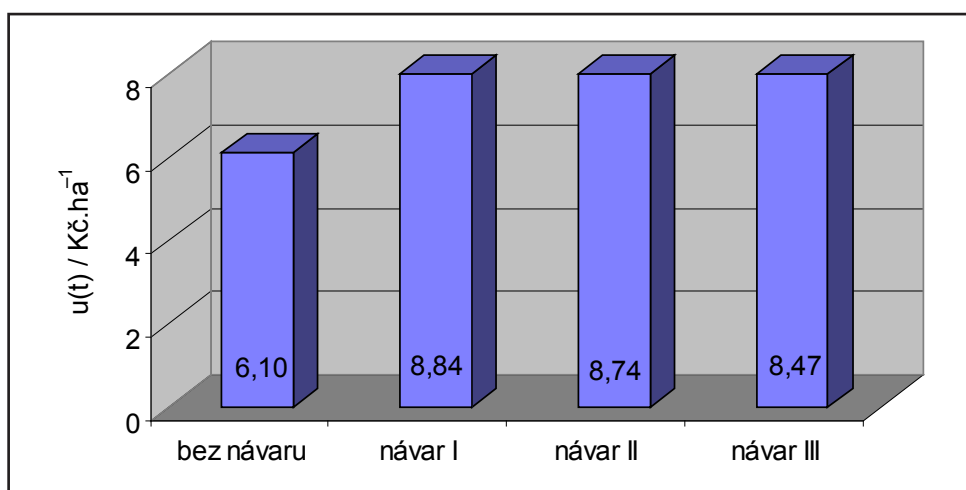
5: Výsledky orebních zkoušek pro návary I, II a III



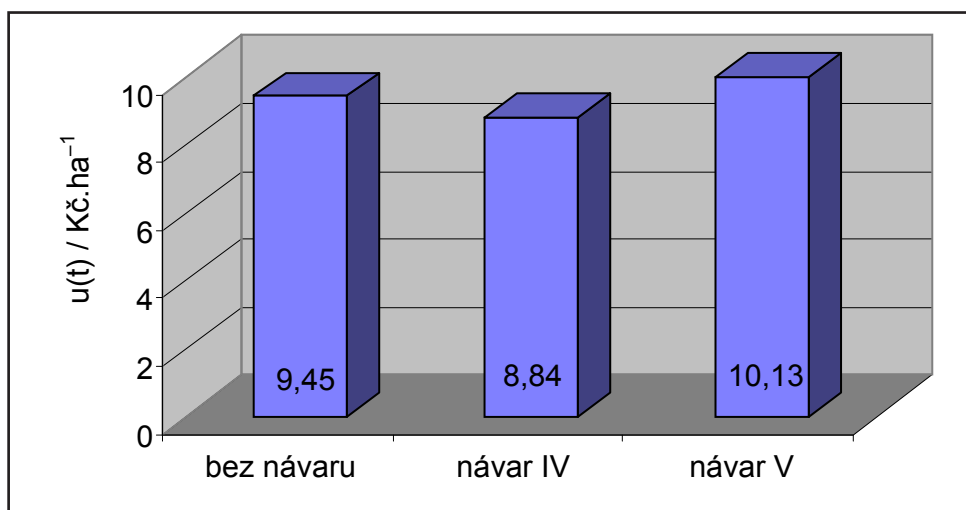
6: Výsledky orebních zkoušek pro návary IV a V

Po dosazení technických a ekonomických údajů uvedených výše do vztahů (1) až (3) a provedení výpočtu dostaneme velikost průměrných jednotko-

vých nákladů, které jsou znázorněny na obr. 7, resp. na obr. 8.



7: Průměrné jednotkové náklady  $u(t)$  pro návary I, II a III



8: Průměrné jednotkové náklady  $u(t)$  pro návary IV a V

Z obr. 5 je zřejmé, že použití návarů v méně abrazivní hnědozemní půdě nemělo v daných podmínkách zkoušky smysl. Všechny plužní čepel s návary vykazovaly prakticky v celém průběhu zkoušky větší intenzitu i velikost opotřebení oproti plužním čepelím bez návaru. Z obr. 7 vyplývá, že průměrné jednotkové náklady u všech testovaných typů návarů byly vyšší než u plužních čepelí bez návaru (6,10 Kč.ha<sup>-1</sup>). Nejmenší jednotkové náklady byly přitom zjištěny u návaru III (8,47 Kč.ha<sup>-1</sup>, tedy o cca 39 % vyšší než u čepelí bez návaru), nejvyšší u návaru I (8,84 Kč.ha<sup>-1</sup>, tedy o cca 45 % vyšší než u čepelí bez návaru). Výpočtem bylo stanoveno, že použití plužních čepelí s návary III by bylo ekonomicky výhodné pouze v případě, že by

orební soupravou bylo zoráno o téměř 19 ha více plochy než bylo při provedených zkouškách; u návaru I by bylo třeba zorat výměru o více než 21 ha větší. To se však v praxi ukázalo jako nereálné.

Z obr. 6 vyplývá, že použití návarů ve vysoce abrazivní půdě bylo z technického hlediska výrazně výhodnější. U obou zkoušených typů návarů (IV a V) došlo ke značnému zvýšení životnosti plužních čepelí (o cca 61 %, resp. o cca 87 %). Použití návaru IV v těchto provozních podmínkách bylo výhodné i z hlediska technicko-ekonomického. Jak je zřejmé z obr. 8, byly u plužních čepelí s návary typu IV nižší průměrné jednotkové náklady než u čepelí bez návaru (9,45 Kč.ha<sup>-1</sup>), a to o cca 6 % (8,84 Kč.ha<sup>-1</sup>).

## SOUHRN

V příspěvku jsou publikovány výsledky provozních zkoušek plužních čepelí bez návaru a s pěti různými typy návarů třech různých výrobců. Všechny návary byly zhotoveny ručním obloukovým navařováním obalenými elektrodami, a to ve třech vrstvách. Orební zkoušky pomocí sedmiradličného pluhu probíhaly jako porovnávací ve dvou různých půdách – méně abrazivní hnědozemní půdě a ve vysoce abrazivní písčité půdě s opukou.

Z výsledků zkoušek je zřejmé, že plužní čepelě opatřené testovanými typy návarů se v méně abrazivní půdě neosvědčily – jejich opotřebení bylo dokonce větší než u plužních čepelí bez návaru.

Ve velmi abrazivní písčité půdě s opukou bylo použití obou zkoušených návarů z hlediska technického výhodné. Došlo k prodloužení životnosti plužních čepelí o cca 61 % (u návaru IV), resp. o cca 87 % (u návaru V). Návar IV byl výhodný i z hlediska technicko-ekonomického. Při použití plužních čepelí s těmito návary došlo ke snížení průměrných jednotkových nákladů o cca 6 %.

plužní čepel, opotřebení, renovace, technicko-ekonomické hodnocení

## LITERATURA

- BROŽEK, M.: Vybrané problémy navařování. [Habilitační práce]. Praha 1995. 148 s., Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta.
- BROŽEK, M.: Technical – Economical Evaluation of Using of Hardfacing Layers. In Intertribo 2006. Bratislava, KONGRES management, s. r. o., 228–231.
- BROŽEK, M., HORÁČEK, J.: Návary na plužních čepelích. Technik, XIII, 2005, 5, 58–59.
- BŘEZINA, J., BROŽEK, M.: Orební a laboratorní zkoušky čepelí z tvárné litiny. Praha, VŠZ 1993. 14 s.
- BŘEZINA, R., FILÍPEK, J., ŠENBERGER, J.: Application of Ductile Iron in the Manufacture of Ploughshares. Res. Agr. Eng., 50, 2004, 2, 75–80.
- HORÁČEK, J.: Použití návarových elektrod pro navařování pracovních orgánů zemědělských strojů. Diplomová práce. Praha 2003. 64 s., Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta.
- HORÁČEK, J.: Wear Resistance Test of Plough Shares. In 7<sup>th</sup> International scientific symposium Quality and Reliability of Machines. Nitra, SPU 2002, 107–109.
- HAVLÍČEK, J.: Optimální plužní čepel – analýza problému. Sborník mechanizační fakulty VŠZ v Praze. Praha, VŠZ 1989, 97–116.
- LEGÁT, V. aj.: Hodnocení jakosti orby a plužních čepelí. Praha, ČZU 1997. 58 s.
- N. N.: Repair and Maintenance Welding Handbook. ESAB AB, b.l., 120 s.
- ČSN 01 5050. Opotřebení materiálu. Terminologie. 1969.
- ČSN 46 5302. Značení charakteru půd zpracovávaných mechanizačními prostředky. 1982.

## Adresa

Prof. Ing. Milan Brožek, CSc., Katedra materiálu a strojírenské technologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, e-mail: brozek@tf.czu.cz