



**Experimentální Analýza Napětí 2001**

Experimental Stress Analysis 2001

**39<sup>th</sup> International Conference**

June 4 - 6, 2001 Tábor, Czech Republic

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR HARDNESS OF EUCOR NATURAL CERAMICS**

### **EXPERIMENTÁLNÍ URČOVÁNÍ ABRAZIVNÍHO OPOTŘEBOVÁNÍ PŘÍRODNÍ KERAMIKY EUCOR**

Františka PEŠLOVÁ\*, Josef FILÍPEK\*\*, Přemysl JANÍČEK\*\*\*

**Abstract:** At the beginning the paper deals with structural properties of the Eucor natural ceramics, produced by fusion of natural basalt. The producer declares Eucor shows a high hardness and it is suitable for extreme abrasive wear conditions. The authors verified this fact by Eucor abrasive wear tests using rotating sample method in rotating abrasive material and the grinding cloth method. Two types of abrasive material were used, quartz sand and stone gravel. The obtained time changes of weight caused by abrasive wear were compared with the same functions at two types of steel. The results achieved by the grinding cloth method showed a high dispersion of the weight decrease values measured. Therefore an element analysis of Eucor was realized and its results were compared versus the weight decreases. A change in grain orientation and, consequently, of crystallographic planes was found as a result of the abrasive wear process in the grinding cloth tests. The first wear tests at samples with Eucor plasma layers were realized.

**Key words:** Eucor natural ceramics, abrasive wear hardness, rotating sample method, grindstone method, structure of Eucor versus wear hardness.

#### **1. Úvod – strukturní složení a vlastnosti Eucoru**

EUCOR je obchodní označení korundo -baddeleyitového materiálu vyráběného tavením přírodního čediče v elektrické obloukové peci. Výrobky z Eucoru vznikají odléváním taveniny čediče do forem s následným pomalým ochlazováním, případně dodatečným opracováním.

Krystalizací nekovových komponent taveniny vzniká třífázová struktura s tímto **mineralogickým složením** (% hm.): korund (48 až 50 %), baddeleyit (30 až 32) a skelná fáze (18 až 20) a **chemickým složením** (% hm.):  $Al_2O_3$  (48 až 50 %),  $ZrO_2$  (30 až 33%),  $SiO_2$  (13 až 17),  $Fe_2O_3$  (cca 0,2),  $TiO_2$  (cca 0,1),  $CaO$  (cca 0,2),  $Na_2O + K_2O$  (1 až 2) a určitou mírou pórovitosti. Výrobce Eucoru, firma EUTIT ve Staré Vodě, deklaruje tyto průměrné hodnoty parametrů vlastností Eucoru:

- |                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| ◆ Tvrdost podle Mohse (ČSN EN 101) | : min. 9. Stupeň          |
| ◆ Hustota (ČSN EN 993-2)           | : 3850 – 3900 $kg.m^{-3}$ |
| ◆ Objemová hmotnost (ČSN EN 993-1) | : min. 3500 $kg.m^{-3}$   |

\* Prof. Ing. Františka Pešlová, CSc., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta J.Pernera, Slovanská 452, 56002 Česká Třebová; tel.: +420.465.533006, E-Mail: frantiskap@hotmail.com.

\*\* Doc. Ing. Josef Filípek, CSc., Ústav základů techniky a opravárenství, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 1, Brno; tel.: +420.5.45132123,

\*\*\* Prof. Ing. Přemysl I Janíček, DrSc., VUT FSI Brno, Ústav mechaniky těles, Technická 2, 61669 Brno; tel.: +420.5.41142807, fax: +420.5.41142876; E-Mail: janicek@umtn.fme.vutbr.cz.

- ◆ Pevnost v tlaku (ČSN EN 993-5) : min. 300 MPa
- ◆ Pevnost v ohybu (ČSN EN 993-6) : min. 50 MPa
- ◆ Odolnost proti opotřebení (ČSN EN 102) : max.. úbytek 30 mm<sup>3</sup>
- ◆ Pórovitost skutečná (ČSN EN 993-1) : max. 10% obj.
- ◆ Modul pružnosti v tahu (postup dle čl. 13 ON 701807/67) : min. 120 GPa

## 2. Charakteristiky keramických materiálů

**Keramika** je pevný anorganický materiál s heterogenní strukturou, kterou tvoří krystalické látky s různým složením a uspořádáním a určité množství pórů. U převážné většiny keramických materiálů existují mezi atomy iontové a kovalentní vazby. Uspořádání atomů do mřížky je ovlivněno mocenstvím, velikostí a poměrným zastoupením různých prvků.

Důsledkem pak je, že keramické materiály s téměř shodným chemickým složením se mohou značně lišit strukturou atomů. U oxidových keramik (patří k nim i Eucor) tvoří strukturní mříž krystalů velké kyslíkové anionty mezi nimiž jsou umístěny různé kationty. To způsobuje, že krystalická mřížka těchto keramik bývá velmi složitá.

Pro pochopení chování keramiky jako polykrystalické látky je vhodné znát mechanismus jejich **plastické deformace**. Deformace reálného krystalu vzniká především vzájemným skluzem jeho částí, přičemž skluz neprobíhá jako posuv celých krystalografických rovin najednou, ale jako postupné přesmykování rovin usnadňované přítomností čárových poruch. V průběhu deformace krystalu se v něm vytvářejí další dislokace. Krystal silově působí na sousední krystaly (v těch též vznikají skluzy). Plastická deformace krystalů může probíhat taktéž dvojčatením a v některých případech navíc může docházet k částečnému natáčení jednotlivých zrn.

Na **pevnost keramiky** má podstatný vliv její mikrostruktura v těchto souvislostech:

- Existence strukturních defektů - patří sem vady samotných krystalů (existence dislokací), vady na rozhraní zrn (neuspořádaná struktura s četnými plošnými poruchami v podobě nahromadění vakancí, dislokací, cizích atomů, příměsí a nečistot) a vady mezikrystalické fáze.
- Existence pórů, s těmito dvěma podstatnými vlivy:
  - + nahlížíme-li na mez pevnosti materiálu jako na globální materiálovou charakteristiku, pak materiál s póry má tuto mez nižší, protože „mez pevnosti materiálu pórů“, které vyplňují určitý objem tělesa, je nulová (póry oslabují příčný průřez),
  - + póry působí jako koncentrátory napětí a jsou tedy potencionálními zdroji pro vznik mikrotrhlin v materiálu, což se taktéž promítne do zmenšení meze pevnosti – obdobnými koncentrátory napětí jsou i nepravidelné tvary krystalických zrn.
- Existence různých krystalických zrn a různých fází keramiky, které je nutné z pohledu mechaniky kontinua považovat za objekty s různými druhy anizotropie. V jednotlivých hlavních směrech anizotropie mají obecně různé fyzikální vlastnosti, konkrétně různé elastické konstanty (moduly pružnosti a součinitele příčné kontrakce) a různé teplotní roztažnosti. To pak způsobuje, že při mechanickém a teplotním zatížení těles z keramiky a při jejich výrobě během doby tuhnutí, dochází ke vzniku mikronapětí (napětí v mikroobjemech, jejichž velikost je srovnatelná s rozměry krystalických zrn), které mohou způsobit vznik mikrotrhlin a existovat jako zbytková napětí.
- Existence vad vzniklých při výrobě v důsledku nesprávného technologického postupu. Obvykle se jedná o trhliny a lunkry.
- Existence povrchových vad – mohou to být mikrotrhliny způsobené zbytkovými napětími vzniklými v procesu výroby tělesa z keramiky, nebo jako důsledek mechanického

opracování (broušení, řezání), resp. vzniklé při interakci tělesa s jinými tvrdými tělesy (otěr, abraze, náraz).

### 3. Komplexní přístup k vyšetřování vlastností Eucoru

Rozšíření aplikačního využití Eucoru je podmíněno znalostmi jeho vlastností a chování. Tyto znalosti jsou nutné pro výpočtové modelování deformačně -napěťových stavů zatížených těles vyrobených z Eucoru, pro posuzování jeho degradačních procesů a jeho mezních stavů. To byl důvod, proč bylo přistoupeno ke komplexnímu zjišťování jeho vlastností a chování s využitím soudobé progresivní měřicí a výpočtové techniky. Tento výzkum se skládá z těchto dílčích kroků:

- zjišťování abrazivního opotřebení Eucoru,
- zjišťování konstitutivních charakteristik Eucoru v závislosti na míře porozity,
- zjišťování zbytkových napětí v deskách Eucoru metodou odvtřávání válečku,
- zjišťování kavitačního opotřebení Eucoru,
- zjišťování řezných odporů Eucoru,
- problematika plasmatických nástřiků z Eucoru.

### 4. Experimentální zjišťování abrazivního opotřebení Eucoru

Zkoušky se realizovaly dvěma zkušebními metodami:

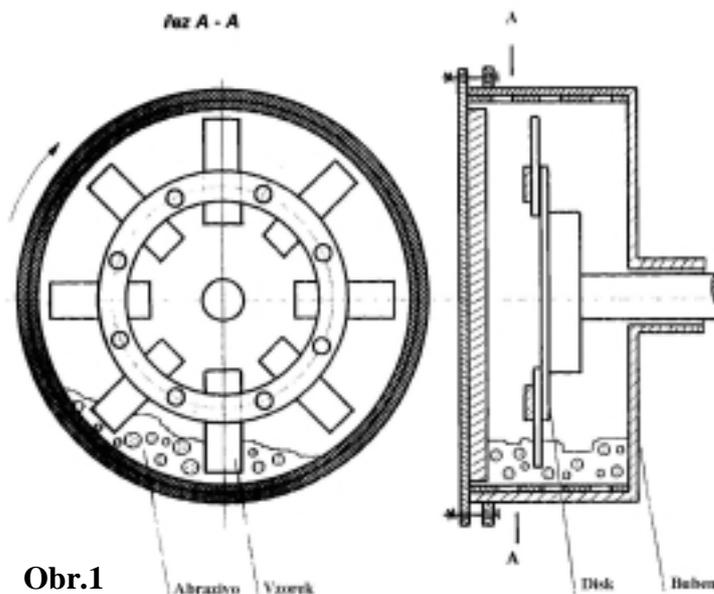
- metodou rotujícího vzorku v abrazivu, přičemž byly použity dva druhy abraziva, a to kamenná drť s převažující složkou ruly (maximální rozměr kamínků byl 10 mm) a bratčický písek,
- metodou brusného plátna (norma ČSN 01 5084); vzorek je přitlačován k brusnému plátnu a hmotnostní úbytek se určuje po proběhnutí 50m třecí dráhy.

Hodnoty abrazivního opotřebení Eucoru byly srovnávány s etalonem z oceli ČSN 12 014 a s ocelí ČSN 13 320, používanou na výstelky žlabů dopravníků kamene.

### 5. Metodika zkoušek

Pro určování velikosti abrazivního opotřebení EUCOR -u a srovnávacích ocelí byly použity tyto dvě metody:

- + **I. Metoda rotujícího vzorku v abrazivu** – princip této metody spočívá v tom, že zkušební vzorek rotuje v prostoru naplněném abrazivem, jehož složky vykonávají vůči povrchu vzorku náhodný pohyb. Metoda byla realizována na zařízení Bond, jehož schéma je na obr.1. Skládá se z letmo uloženého rotujícího hřídele (možnost změny otáček), na jehož převislém konci je disk na který lze uchytit 8 vzorků ve tvaru destiček (75x40xvolný rozměr do cca 15mm), a to tak, že podélná osa symetrie vzorku má radiální směr. P řířuba se vzorky se nachází v prostoru uzavřeném rotujícím bubnem, který rotuje ve stejném smyslu s diskem, ale

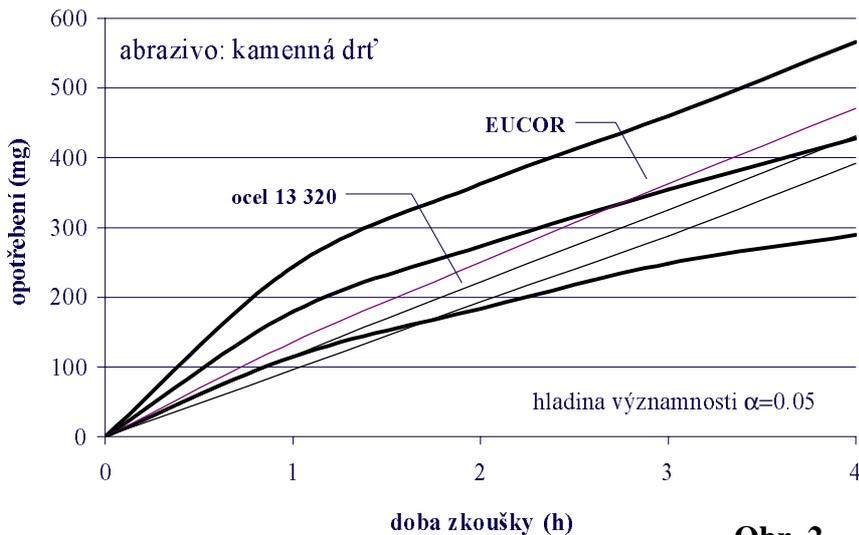


Obr.1

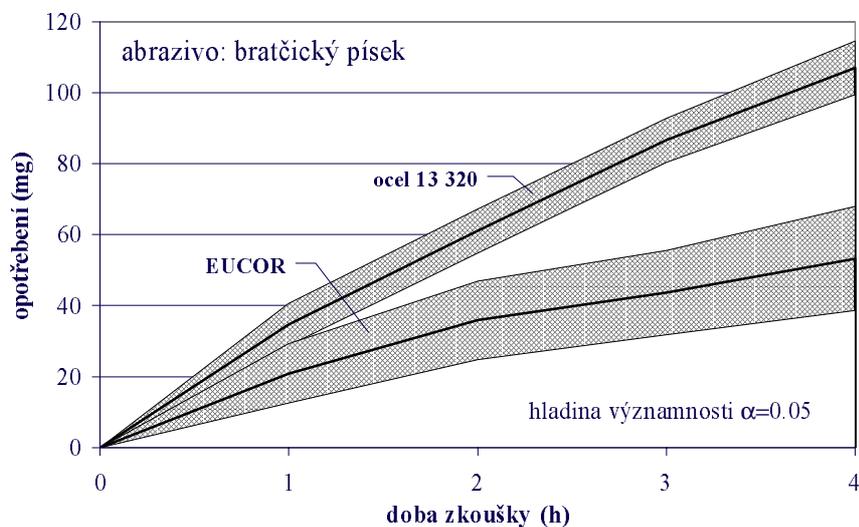
podstatně menšími otáčkami. Vzdálenost mezi hranou vzorku a rotujícím bubnem je cca 10 mm. Uzavřený prostor je možno naplnit cca jedním litrem abraziva.

Veškeré zkoušky byly realizovány za těchto podmínek:

- + otáčky: hřídele disku 615 ot/min, bubnu 70 ot/min,
- + po hodinových intervalech byly stanoveny hmotnostní úbytky vzorků a bylo vyměněno abrazivo,
- + čedičové vzorky byly po vyjmutí ze zkušebního zařízení umyty kartáčem pod proudící vodou (aby se odstranil prach usazený v povrchových pórech) a vysušeny.



Obr. 2



Obr. 3

a to pro ocel ČSN 13 320 (doposud používaný materiál s dobrou odolností proti abrazivnímu opotřebení) a EUCOR, získané metodou rotujícího vzorku v abrazivu. Tloušťka vzorků byla 10 mm a abrazivem kamenná drť.

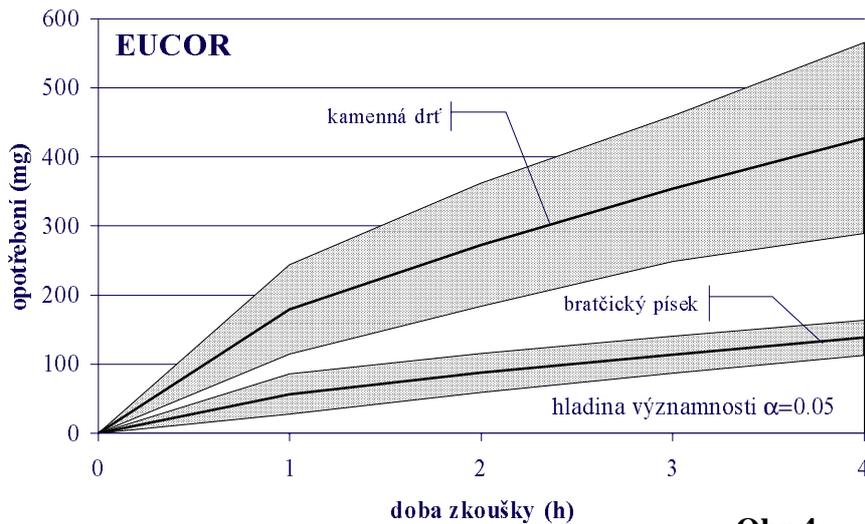
Lze konstatovat, že šířka konfidenčního pásu EUCOR -u je podstatně větší než u oceli, přičemž oba pásy se překrývají a průběhy středních hodnot se od sebe podstatně neliší. To znamená, že abrazivní opotřebení oceli ČSN 13 320 a EUCOR -u při abrazi kamennou drtí je prakticky stejné, přičemž rozptyl odolností u EUCOR-u je značně větší než u zmíněné oceli.

## II. Metoda brusného plátna

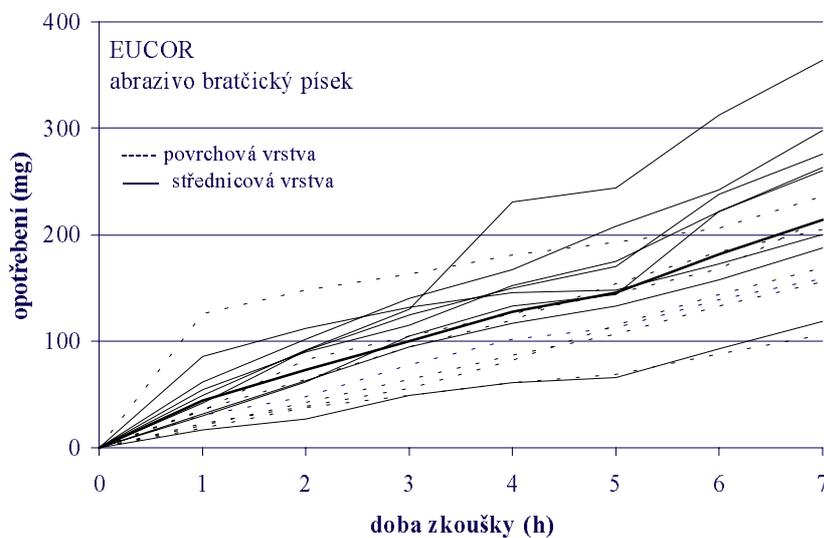
– podstata a metodika je dána normou ČSN 01 5084. Na rovnoměrně se otáčející vodotěsné desce (průměr 480 mm) je upevněno brusné plátno (korundový kepr). Zkušební vzorek, který je pak závažím přitlačován k brusnému plátneu, se během zkoušky posouvá od středu ke kraji brusného plátneu, takže jeho aktivní část (plocha kruhu o průměru 10 mm) je neustále ve styku s nepoužitým brusným plátneu. Velikost přitlačovacího měrného tlaku byla  $0,32 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Hmotnostní úbytek vzorku se určoval po proběhnutí 50 m třecí dráhy.

## 3. Výsledky zkoušek

Na obr.2 jsou znázorněny 95-ti procentní konfidenční pásy (pro hladinu významnosti  $\alpha=0,05$ ) středních hodnot hmotnostních úbytků vzorků,



Obr. 4



Obr. 5

Na obr.3 jsou uvedeny konfidenční pásy pro  $\alpha=0,05$  pro ocel ČSN 13 320 a EUCOR při zkoušce metodou rotujícího vzorku v abrazivu. Všechny vzorky měly tloušťku 6 mm (byly použity ocelové vzorky z předcházející zkoušky s ofrezováním na zmiňovanou tloušťku) a abrazivem byl bratčický písek. Lze konstatovat, že rozptyl hodnot opotřebení u EUCORu je větší než u oceli. Abrazivní opotřebení EUCORu, je-li abrazivem písek, je ovšem podstatně menší než u oceli. Z porovnání výsledků na obr.2 a obr.3 pak vyplývá, že kamenná drť se vůči EUCORu chová abrazivně agresivněji než písek. Střední hodnoty abrazivního opotřebení jsou při abrazi pískem, značně menší než při abrazi

kamennou drť, jak pro ocel, tak i pro EUCOR. Je to v důsledku větší ostrosti kamenné drti.

Toto konstatování potvrzuje i obr.4, na němž jsou zobrazeny konfidenční pásy ( $\alpha=0,05$ ) středních hodnot abrazivního opotřebení 10-ti mm vzorků EUCORu při abrazi kamennou drť a bratčickým pískem. Rozptyly středních hodnot při abrazi kamennou drť jsou značně větší než při abrazi pískem. Nahradíme-li střední hodnoty opotřebení mezi 1. a 4. hodinou lineární závislostí, pak lze stanovit hmotnostní úbytky vyšetřovaného materiálu za jednotku času. Pro abrazi kamennou drť je to hodnota 104 mg/hod., pro písek 27 mg/hod. Z poměru těchto hodnot vyplývá, že kamenná drť je 3,8 krát agresivnější než bratčický písek.

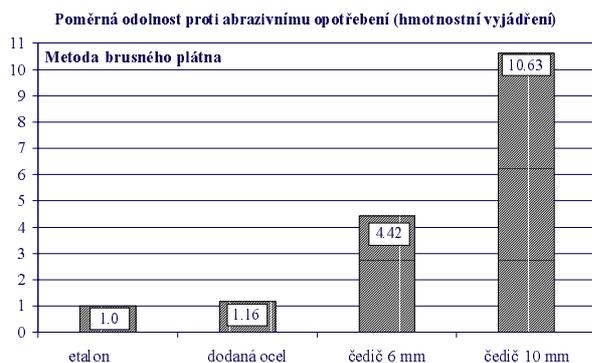
Analýzy materiálové struktury desek (tyto analýzy jsou u kovů označovány jako metalografie, u keramických materiálů je vhodné hovořit o keramografii) ukázaly, že po příčném řezu desek je tato struktura značně heterogenní. To byl důvod experimentálně prošetřit, jaké hodnoty abrazivního opotřebení budou mít vzorky zhotovené z povrchové a ze střednicové vrstvy desky.

Ze stejné desky bylo zhotoveno 8 vzorků z povrchové vrstvy a ve stejných místech 8 vzorků ze střednicové vrstvy. Průběhy hmotnostních úbytků pro tyto vzorky jsou uvedeny na obr.5 – pro vzorky z povrchové vrstvy přerušované čáry, pro vzorky ze střednicové vrstvy plné čáry. Silnou plnou čarou je zde znázorněn průběh střední hodnoty ze všech vzorků. Lze konstatovat, že pod střední hodnotou se po 4. hodinové zkoušce nachází 5 vzorků z povrchové

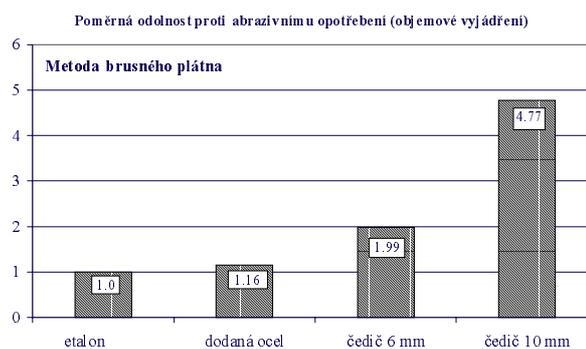
vrstvy a 3 vzorky ze střednicové vrstvy. Nad střední hodnotou leží 2 vzorky z povrchové vrstvy a 5 vzorků ze střednicové vrstvy. Bez statistické vyhodnocení se zdá, že opotřebení vzorků z povrchové vrstvy je menší než z vrstvy střednicové. Vzhledem k velkému rozptylu hodnot opotřebení, by při jiném souboru vzorků mohl být výsledek právě opačný. Věrohodné konstatování vyžaduje odzkoušet statisticky významné množství vzorků.

Na obr.6 a obr.7 jsou sloupcovými grafy znázorněny výsledky abrazivních zkoušek na brusném plátně. Etalonem byla ocel ČSN 12014.20.

Vzorky pro zkoušku na brusném plátně byly zhotoveny ze vzorků použitých u metodiky rotujícího vzorku v abrazivu, a to pro ocel ČSN 13 320 a EUCOR (dva vzorky ze 6-ti mm a dva vzorky z 10-ti mm EUCOR-u). Na obr.6 jsou uvedeny grafy a hodnoty **poměrné odolnosti proti abrazivnímu opotřebení** pro hmotnostní vyjádření a na obr.7 pro objemové vyjádření. Při obou způsobech vyjádření vykazuje čedič značně vyšší odolnost proti abrazivnímu opotřebení než etalonová ocel i ocel 13 320. Tato odolnost u oceli 13 320 je jen o 16% vyšší než u etalonové oceli. Z těchto obrázků vyplývá i další podstatné zjištění – odolnost u EUCORových vzorků zhotovených ze 6 a 10 mm destiček se výrazně odlišuje, přičemž hodnota této tloušťky by výsledky neměla ovlivnit. Příčinu této nesrovnalosti lze hledat ve strukturní heterogenitě EUCORu v místech odběru vzorku pro zkoušku na brusném plátně. Keramografie tuto hypotézu potvrdila.



Obr.6



Obr.7

#### 4. Závěr

Výsledky srovnávacích studií lze shrnout do těchto konstatování:

- Rozptyly naměřených hodnot abrazivního opotřebení u EUCORu jsou značně větší než u oceli ČSN 13 320 (tato se doposud používá jako vystýlka v dopravnících šterku), což zřejmě souvisí s heterogenitou struktury desek pro výrobu vzorků. Rozptyly jsou značně větší při abrazi kamennou drtí než při abrazi bratčickým pískem.
- Abrazivní opotřebení EUCORu a oceli ČSN 13 320 při abrazi kamennou drtí je prakticky stejné, při abrazi bratčickým pískem vykazuje ocel ČSN 13 320 cca 3,8 krát větší opotřebení než EUCOR.
- Na základě výsledků měření u 15-ti vzorků odebraných z povrchové a střednicové vrstvy desky EUCORu nebylo možno usoudit, která vrstva je odolnější vůči abrazi.
- Abrazivní opotřebení vyšetřované na brusném plátně prokázalo značně větší odolnost proti abrazivnímu opotřebení u EUCORu než u etalonové oceli i vyšetřované oceli ČSN 13 320. Současně se zjistil značný rozdíl v hodnotách odolnosti EUCORu, což může souviset s lokální heterogenitou jeho struktury. Tuto skutečnost, by bylo vhodné prošetřit dalšími zkouškami opotřebení spojenými s analýzou struktur vzorků.

Práce byla provedena v rámci Výzkumného záměru MŠMT č. MSM:262100001 a grantového projektu GAČR 106/99/0728.