

# ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI FRÉZOVÁNÍ GEOPOLYMERNÍCH KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ

Kubík Milan, S10000849

Sekce - STROJÍRENSTVÍ  
Fakulta strojní, 5. ročník  
Magisterský studijní program – OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽ

**Abstrakt:** Tato práce je věnována zkoumání obrobiteľnosti geopolymerních materiálů při frézování. Cílem této práce bylo navrhnout ideálních řezných podmínek pro nové revoluční geopolymerní materiály. V průběhu zkoumání a měření byly naměřeny hodnoty opotřebení vyměnitelných břitových destiček a závislost opotřebení na druhu obráběného geopolymerního materiálu.

**Klíčová slova:** OBROBITELNOST GEOPOLYMERŮ, FRÉZOVÁNÍ GEOPOLYMERŮ, TRVANLIVOST, KOMPOZITNÍ MATERIÁLY, ŘEZNÉ PODMÍNKY, VBD

## 1. ÚVOD

Na otázku co je to vlastně geopolymer (dále pak GP) není ve skutečnosti tak lehké odpovědět. Kdybychom měli být co možná nejstručnější, doslovně by pak slovo „Geopolymer“ znamenalo umělý kámen, respektive uměle vytvořený kámen. Přesněji by pak geopolymery byly amorfní až semikrystalické nanokompozitní materiály vznikající tzv. geosyntézou. V posledních letech byly zaznamenány pokroky ve vývoji těchto nových geopolymerních materiálů. Na základě geopolymerační reakce je možno získat materiály, které jsou konkurencí tradiční keramice, a to bez nároků na vysokoteplotní procesy [6].

Různé části strojů, přístrojů a zařízení, ale také výrobky denní potřeby se vyrábějí obráběním na obráběcích strojích, kterými se dosahuje vyšší tvarová i rozměrová přesnost a požadovaná kvalita povrchu. Souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro třískové obrábění nazýváme obrobiteľností materiálu. Obrobiteľnost daného materiálu není možno stanovit absolutní hodnotou, lze ji pouze srovnávat podle určitých kritérií s obrobiteľností jiných materiálů. V běžné praxi se obrobiteľnost posuzuje podle řezné rychlosti, protože podstatně ovlivňuje požadavky výkonu obrábění. Vyjadřuje se přímo řeznou rychlostí, která odpovídá určité trvanlivosti břitu za předem stanovených řezných podmínek

obrábění. Z ekonomického hlediska se volí takové řezné podmínky, při jejichž použití obrobíme danou součástku při minimálních nákladech a s vysokou produktivitou při zajištění předepsaných konstrukčních a technologických požadavků. Řezné podmínky, které splňují tyto předpoklady, se označují jako optimální [7].

Cílem této práce je zjištění trvanlivosti nástroje při frézování geopolymerních materiálů: GP s plnivem 40% popílek, GP s plnivem 40% kámen a GP s plnivem 40% lupek. V souvislosti s těmito úkoly bylo uloženo několik dalších cílů. Jaký typ slinutého karbidu by byl nejvhodnější pro obrábění daného typu geopolymery? Jak ovlivňují řezné podmínky trvanlivost nástroje při obrábění geopolymery během operace frézování? Odpovědi naleznete v této práci.

## 2. Geopolymery

V letech 1976-1979 navrhl Davidovits nový pojem geopolymery. Podle Davidovitsovy definice je geopolymery produkt, který vzniká anorganickou polykondenzací tzv. geopolymery [1].

Geopolymery patří do skupiny alkalicky aktivovaných materiálů, které se pohybují na hranici mezi skelnými, keramickými materiály a klasickými hydratovanými anorganickými pojivky (cementy a hydraulická vápna) [2]. Jsou to materiály obsahující křemík, hliník a alkalické prvky jako jsou sodík či draslík. Geopolymery nevznikají geologickými procesy, ale jsou uměle připravené [3]. Název geopolymery hlavně popisuje způsob přípravy materiálu (GEOsyntéza) a pak využívá přirovnání výsledného produktu k běžně používanému materiálu, jakým jsou plasty (POLYMER) [4]. Geopolymery jsou na první pohled nerozeznatelné od kamene, ale svými vlastnostmi jej jednoznačně předčí. Nabízejí totiž různé možnosti modifikací a dosažení jedinečných kombinací vlastností, díky nimž materiál přečká tisíce let [5].

### 2.1 Historie GP

V roce 1974 francouzský vědec Joseph Davidovits přišel s objevem, že úplně každý kámen se dá vytvořit uměle. Zaujala ho záhada egyptských pyramid a pokusil se dokázat, že před více jak 4500 lety znalo lidstvo dosud nejdokonalejší stavební materiál na Zemi. Nakonec dospěl k závěru, že Egypťané využili období záplav, transportovali písek z okolí, napěchovali ho do forem (dřevěné předem připravené), smísili s aktivačními prostředky (voda, jíl, soli, vápenec) a slunce přeměnilo směs na litý kámen. Tehdy objev u egyptologů

vyvolal veliké pobouření. Dnes ale vše nasvědčuje, že měl pravdu. Jeho odvážná hypotéza se opírala o náročné a zdlouhavé laboratorní zkoušky, například nukleární rezonanci, prokazující, že nerost, ze kterého jsou pyramidy postaveny, obsahuje vodu a pohlcuje záření. To se u přírodního kamene stát nemůže. Když Davidovits provedl průřez kvádrem z pyramidy, zjistil, že je ve spodní části hutnější než v horní části. Profesor Davidovits tak vyvrátil názor o využití ramp a lešení ke zvedání kamenných bloků pyramid [5].

### 2.3 Vzorky GP

Příprava zkušebních vzorků byla realizována v laboratořích katedry materiálů (KMT) na TU v Liberci. K dispozici byla poskytnuta jedna sada vzorků GP s plnivem 40% popílek, 40% kámen a 40% lupek (obr. 1).

Vzorky ve tvaru hranolu o rozměrech 110mm x 50mm x 50mm.



Obr. 1 Vzorky GP

Vizuální kontrolou byly vzorky klasifikovány jako vhodné pro následující zkoušky. Nebyly zjištěny žádné praskliny ani viditelná pórovitost na povrchu materiálu.

### 3. Metodiky prováděných experimentů

Všechna prováděná měření byla prováděna v laboratořích KOM TU Liberec. Žádný z prováděných experimentů nebyl v rozporu s bezpečností práce.

### 3.1 Metodika zkoumání trvanlivosti VBD

Měření bylo zahájeno na stroji FNG 32. Dále bylo rozhodnuto, že další měření budou prováděna na stroji FA4A-V z důvodu nízké trvanlivosti vyměnitelné břitové destičky ( dále jen VBD) a možnosti nastavení nižší hodnoty minimálního posuvu. Tím bylo docíleno většího množství naměřených hodnot pro danou VBD v intervalu opotřebení břitu VBD. Tento interval opotřebení byl stanoven na mezní hranici 0,5mm. Dalším důvodem přemístění experimentu na stroj FA4A-V byla také extrémní prašnost obráběných vzorků GP. Nutnost zakrytí ložných ploch stroje fólií (obr. 2) se stala snazší a šetrnější pro stroj FA4A-V.



Obr. 2 Zakrytí ložných ploch fólií a použití odsávání

### 3.2 Příprava a postup provedení experimentu

Před zahájením experimentu byla vždy realizována kontrola a příprava pracoviště a stroje. Bylo instalováno odsávací zařízení dostupné v laboratořích katedry KOM.

Dalším krokem bylo upnutí vzorků do prizmatického svěráku a následné orovnění plochy pomocí VBD určené pro hrubovací operace při frézování. Tento krok byl prováděn vždy v případě záměny vzorku.

Dalším krokem byla volba jednotlivých řezných podmínek: řezná rychlost, posuv a hloubka záběru. Způsob frézování byl zvolen čelní nesousledný a použitá VBD byla upnuta do nástrojové frézy. Byla použita nástrojová fréza s jedním zubem záběru.

Po provedení výše uvedených bodů mohl být stroj spuštěn a bylo zahájeno vlastní měření. Přímou na pracovišti bylo provedeno měření hodnoty opotřebení břitu VBD pomocí nástrojové lupy Brinell.

#### **4. Frézka FNG 32**

Frézování bylo prováděno na nástrojařské frézce FNG 32 (obr. 2) od výrobce TOS Olomouc, s.r.o., která je vybavena číslicovou indikací polohy od firmy HEIDENHAIN, s.r.o.

Tento stroj je určen pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitové operace v malosériové výrobě. Stroj je vybaven vertikální hlavou a pevným úhlovým stolem. Dokonalé upnutí nástroje je zajištěno pneumaticko-hydraulickým upínáním nástroje. Optimální mazání funkčních ploch je zajištěno pomocí mazacího agregátu s dávkovači. Stroj je rovněž vybaven chlazením nástroje, svítidlem a bezpečnostním krytem pracovního prostoru.

*Nástrojová fréza:*

Nástrojem při frézování byla čelní negativní rovinná fréza o průměru 120mm s 8 lůžky pro VBD.

#### **5. VBD**

Pro frézování geopolymerních materiálů byly zvoleny VBD od firmy Pramet Tools, s.r.o. označená SNUN 120412;S26, SNUN 120412;S30 a SNUN 120412;8230 (obr. 3). Podrobnější informace o aplikaci VBD a materiálové listy VBD jsou k nalezení v přílohách, které budou dodány v průběhu prezentace.

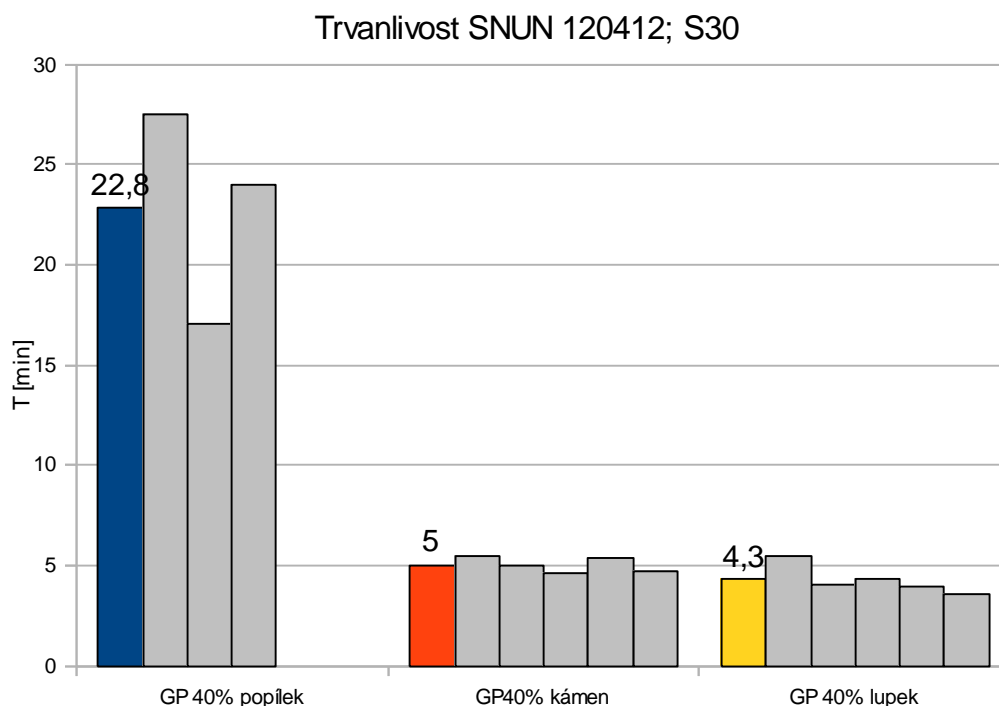


Obr. 3 Povolávané VBD SK 8230 od firmy Pramet

## 6 Měření trvanlivosti nástroje

Hranice opotřebení břitu byla stanovena na  $VB_{max} = 0,5\text{mm}$ . Tabulkové hodnoty jsou zapsány pro tuto limitní hranici. Pokud při měření došlo k překročení  $VB_{max}$ , hodnoty byly zaneseny do grafu a následně dopočítány a zaznamenány do tabulky náležící ke grafu, tak aby byly hodnoty srovnatelné pro trvanlivost všech břitů VBD. Všechny naměřené hodnoty budou dodány v prezentaci.

### 6.1 Hodnocení trvanlivosti nástroje a obrobiteľnosti GP



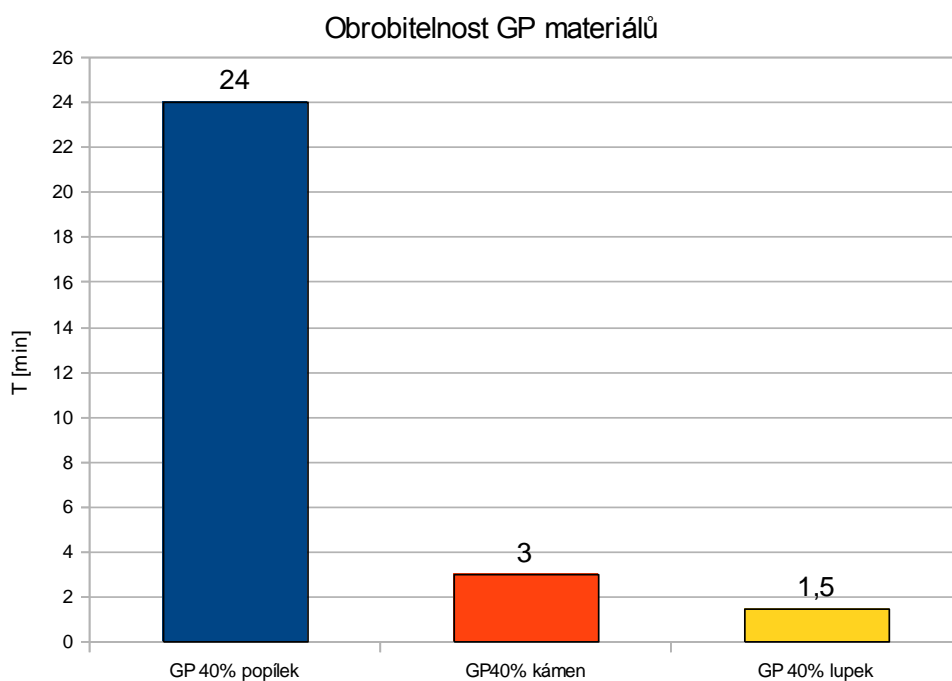
Obr. 4 Trvanlivost VBD při obrábění GP materiálů

Z grafu (obr. 4) lze odečíst průměrné trvanlivosti břitů při nesousledném frézování bez použití procesní kapaliny. Graf je řazen od nejvyšší po nejnižší trvanlivost.

Trvanlivost VBD SNUN120412;S30 u obráběného materiálu GP 40% popílek byla z průměrných hodnot (šedivé sloupce) určena 22,8 minut (modrý sloupec). Trvanlivost VBD byla přibližně 4krát vyšší než u obrábění GP 40% kámen a přibližně 4krát vyšší než u GP 40% lupek. Trvanlivost byla hodnocena na prvním místě ze zkoumaných vzorků.

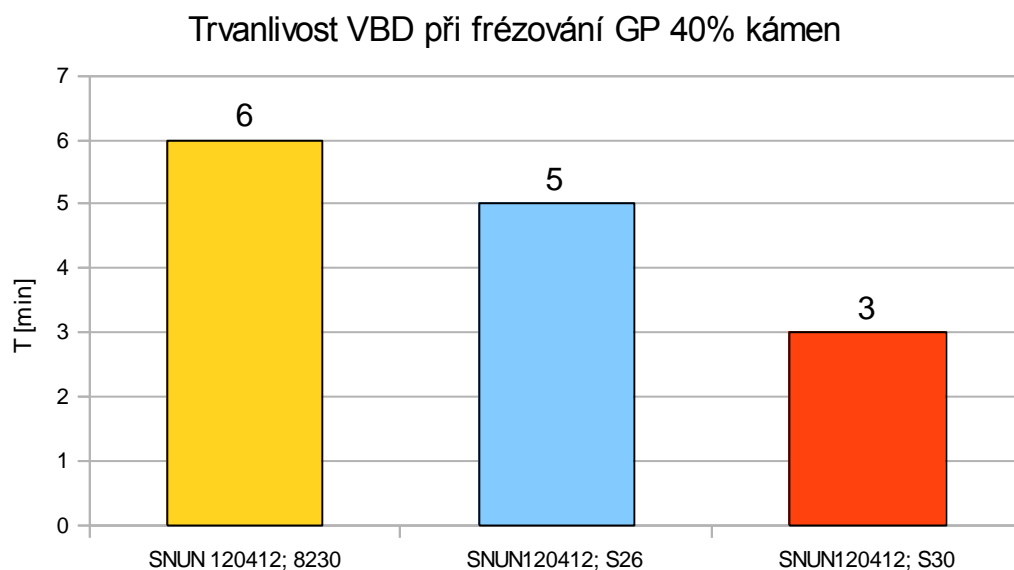
Trvanlivost VBD SNUN120412;S30 u GP 40% kámen (červený sloupec) byla přibližně 4krát nižší než při obrábění GP popílku a přibližně stejná jako u GP 40% lupek. Trvanlivost byla hodnocena na druhém místě ze zkoumaných vzorků.

Trvanlivost VBD SNUN120412;S30 u GP 40% lupek (žlutý sloupec) byla přibližně 4krát nižší než při obrábění GP popílku a přibližně stejná jako u GP 40% lupek. Trvanlivost byla hodnocena na třetím místě ze zkoumaných vzorků.



Obr. 5 Obrobitelnost GP materiálů

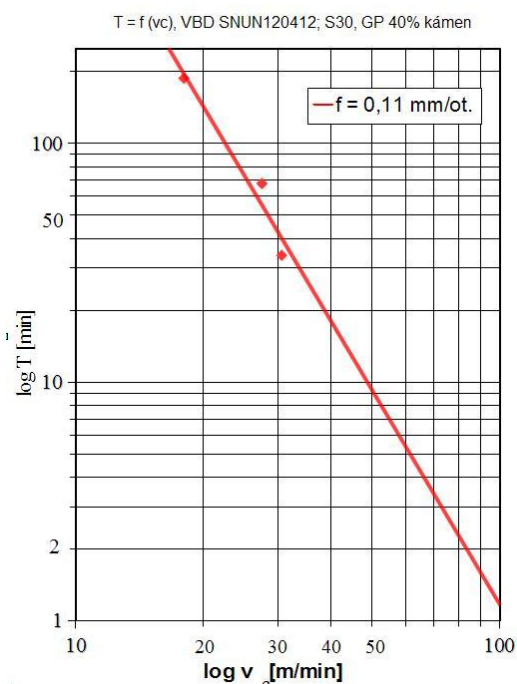
Porovnání obrobitelnosti GP materiálů je znázorněno ve sloupcovém grafu na obr. 5. Bylo dokázáno, že obrobitelnost GP 40% popílku je 8krát lepší než obrobitelnost GP 40% kamene a 16krát lepší než obrobitelnost GP 40% lupku při obrábění VBD SNUN120412;S30 za stejných rezných podmínek.



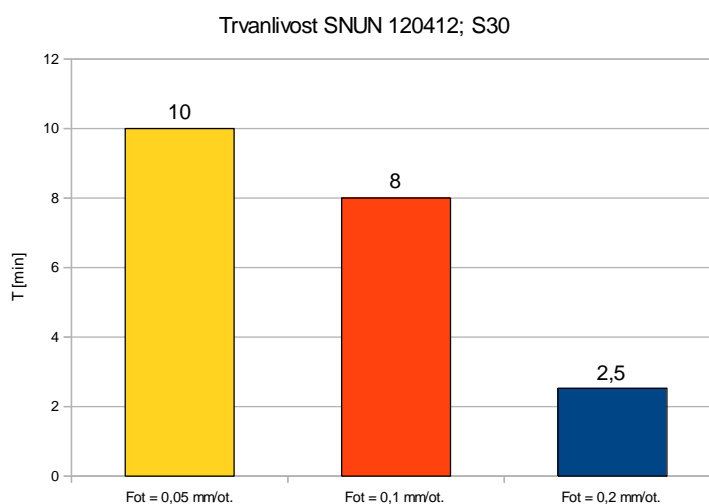
Obr. 6 Trvanlivost VBD

Na obr. 6 jsou znázorněny hodnoty trvanlivosti různých VBD při frézování opět bez použití procesní kapaliny. Bylo zjištěno, že VBD SNUN120412;S26 umožňuje zvýšit trvanlivost nástroje 1,6-1,7krát než VBD SNUN120412;S30. Povlakovaná VBD SNUN120412;8230 umožňuje zvýšit trvanlivost přibližně 2krát v porovnání s VBD SNUN120412;S30, to vše při obrábění GP 40% kámen za stejných řezných podmínek.

## 6.2 Hodnocení vlivu řezných podmínek



Obr. 7 Taylorův diagram v závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti VBD



Obr. 8 Vliv posuvu na trvanlivost VBD



Bylo zjištěno, že největší vliv na trvanlivost VBD má řezná rychlost (obr. 7). Při zvětšení řezné rychlosti 2krát se trvanlivost VBD snížila téměř 2krát. Posuv má výrazně menší vliv na trvanlivost VBD než řezná rychlost. Jak je patrné ze sloupcového grafu na obr. 8, například zvětšením posuvu 2krát se zmenšila trvanlivost VBD o 33%. Hloubka záběru nemá téměř žádný vliv na trvanlivost VBD. Při zvětšení hloubky záběru 4krát zůstala trvanlivost VBD na stejných hodnotách.

## 7. ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na zjištění trvanlivosti nástroje vyměnitelné břitové destičky (VBD) technologií nesousledného frézování. Obrábění bylo realizováno pomocí nástrojové frézky FNG 32 a následně pomocí nástrojové frézky FA4A-V. Nástrojem byla čelní rovinná fréza osazená jedním lůžkem pro VBD, byly použity VBD z nepovlakovaného slinutého karbidu S30 a S26. Dále byla použita VBD z povlakovaného slinutého karbidu ozn. 8230 od výrobce Pramet Tools, s.r.o.

Cílem této práce bylo zjištění trvanlivosti VBD a zjištění vlivu opotřebení břitu na drsnost povrchu při frézování geopolymerních (GP) materiálů bez použití procesní kapaliny (tzv. obrábění na sucho). Testovanými vzorky byly GP s příměsí 40% popílek, GP s příměsí 40% kámen a GP s příměsí 40% lupek.

Pro posouzení trvanlivosti byl za hlavní parametr určen čas obrábění do opotřebení hřbetu břitu 0,5mm.

*Vyvozené závěry jsou následující:*

- Během experimentu bylo dokázáno, že obrobiteľnosť GP 40% popílků je přibližně 8krát lepší než obrobiteľnosť GP 40% kamene a přibližně 16krát lepší než obrobiteľnosť GP 40% lupku při obrábění VBD S30 za stejných řezných podmínek.
- Bylo zjištěno, že VBD S26 umožňuje zvýšit trvanlivost nástroje 1,6 – 1,7krát než VBD S30. Povlakovaná VBD 8230 umožňuje zvýšit trvanlivost přibližně 2krát v porovnání s VBD S30, to vše při obrábění GP 40% kamene za stejných řezných podmínek.
- Bylo zjištěno, že největší vliv na trvanlivost nástroje má řezná rychlost  $v_c$ . Při zvětšení řezné rychlosti 2krát se trvanlivost VBD snížila téměř 2krát. Posuv  $f$  má výrazně menší vliv na trvanlivost VBD než řezná rychlost. Např. zvětšením

posuvu 2krát se zmenší trvanlivost VBD o 33%. Hloubka záběru  $a_p$  má minimální vliv na trvanlivost VBD, při zvětšení hloubky 4krát byla trvanlivost VBD stejná.

- Bylo zjištěno, že při hloubce záběru 0,75mm bylo vyštipování materiálu při výstupu frézy z obrobku minimální. S hloubkou 1,5mm a 3mm vznikají potíže s vyštipováním GP. Doporučujeme obrábět hloubkami do 0,75mm.
- Vizuální kontrolou byla prokázána minimální pórovitost u GP 40% kámen, jako druhým materiálem s četností pórů byl zjištěn GP 40% lupek a maximální pórovitost byla zjištěna u GP 40% popílek.

*Pro praxi vyplývají následující doporučení:*

- Pro obrábění GP materiálů při operaci frézování se doporučuje používat VBD ze slinutého karbidu, a to ze slinutého karbidu povlakovaného.
- Vzhledem k malé životnosti VBD během frézování se doporučuje nastavení nízkých řezných rychlostí.
- Z pohledu obrobitelnosti se doporučuje používat GP s příměsí 40% popílek, jelikož obrobitelnost tohoto materiálu je řádově několikanásobně lepší než obrobitelnost GP s příměsí 40% kámen a GP s příměsí 40% lupek.
- Nedoporučuje se obrábět hloubkami záběru převyšující hodnotu 0,75mm z důvodu vyštipování hran obráběného GP materiálu.
- Během operace frézování se doporučuje používat odsávací zařízení z důvodu vysoké míry prašnosti při utváření třísky.

V návaznosti s touto prací by bylo vhodné pokračovat ve zjišťování trvanlivosti VBD ze SK s vícevrstevným povlakem, případně s VBD ze supertvrdých a revolučních řezných materiálů.

## LITERATURA

- [1] DĚDEČKOVÁ, L. *Geopolymery budoucnost mostního stavitelství?*. [online]. 2010, [cit. 3. února 2013]. Dostupné z <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/geopolymery-budoucnost-mostniho-stavitelstvi/>>
- [2] ŽAMBERSKÝ, M. *Geopolymery*. [online]. 2010, [cit. 3. února 2013]. Dostupné z <[http://www.matrix-2012.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1149:geopolymery&catid=64:rzne&Itemid=88](http://www.matrix-2012.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=1149:geopolymery&catid=64:rzne&Itemid=88)>

- [3] SLAVÍK, R. *Geopolymery a jejich použití pro nakládání s odpady*. [online]. 2006, [cit. 3. února 2013] Dostupné z <[http://odpady.ihned.cz/c4-10066110-18251200-E00000\\_d-a-jejich-pouziti-pro-nakladani-s-odpady](http://odpady.ihned.cz/c4-10066110-18251200-E00000_d-a-jejich-pouziti-pro-nakladani-s-odpady)>
- [4] ČTK. *Češi vyvinuli revoluční stavební materiál*. [online]. 2007, [cit. 3. února 2013]. Dostupné z <[http://www.tyden.cz/rubriky/veda-a-technika/veda/cesi-vyvinuli-revolucni-stavebni-material\\_7194.html](http://www.tyden.cz/rubriky/veda-a-technika/veda/cesi-vyvinuli-revolucni-stavebni-material_7194.html)>
- [5] DOLEŽAL, J., ŠKVÁRA, F., SVOBODA, P. *Concrete based on Fly ash Geopolymer*. [online]. 2006. [cit. 21. února 2013]. Dostupné z <[http://www.geopolymery.eu/aitom/upload/documents/publikace/2006/iba-usil\\_2006\\_text\\_verzebook.pdf](http://www.geopolymery.eu/aitom/upload/documents/publikace/2006/iba-usil_2006_text_verzebook.pdf)>
- [6] ŘEPÍK, M. *Příprava geopolimerů*. [online]. 2007, [cit. 12. ledna 2013]. Dostupné z <<http://soc.nidm.cz/archiv/getWork/hash/40A11MT150591A>>
- [7] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Přeložil Kudela Miroslav. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o.. 1997. 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6