


Záverečná správa projektu za rok 2013

Doba riešenia	júl 2013 – január 2014
Registračné číslo projektu	10/2013
Dátum prijatia správy na VVČ (vyplní IPA)	

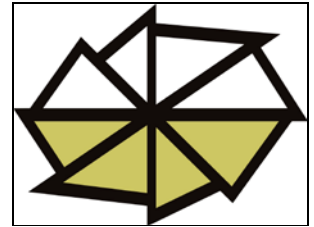
Názov projektu	Výskum kvality povlakovaných vrstiev na nástrojoch pre tvárnenie za studena pri zmenách parametrov vrstvy
-----------------------	---

Vedúci projektu

Priezvisko, meno, tituly: Hanes, Tomáš, Ing. Telefónne číslo a e-mail: 045/52 06 381, tomas.hanes@tuzvo.sk	Potvrdzujem správnosť údajov v správe  23. 1. 2014 Dátum a podpis vedúceho projektu:
---	--

Spoluriešitelia

Ing. Rudolf Kaštan
Ing. Miroslava Ťavodová, PhD.
Ing. Júlia Hricová, PhD.
Ing. Juraj Kostúr
Ing. Petra Semanová



Výsledky riešenia projektu

- spôsob, metódy a priebeh riešenia
- dosiahnuté výsledky a porovnanie s cieľmi projektu
- uplatnenie výsledkov a ich prínos v riešenej problematike



a) spôsob, metódy a priebeh riešenia

Pre dosiahnutie stanovených cieľov, bolo potrebné poznať súčasný stav riešenej problematiky projektu. Vlastnosti povlakov aplikovaných na tvárniacich nástrojoch nie sú v súčasnosti také známe ako na rezných nástrojoch, ktoré sú veľmi dobre zdokumentované. Firmy si väčšinou informácie z výskumu a vývoja chránia ako know-how, a preto bolo potrebné tieto vlastnosti skúmať aj na akademickej pôde. Tejto problematike sa vo svojej dizertačnej práci venuje aj hlavný riešiteľ projektu. Informácie o súčasnom stave boli prevzaté z jeho doterajšieho skúmania.

Ako predstavitelia nástrojov pre tvárnenie za studena boli zvolené razníky a raznice na výrobu mincí (obr. 1). Podľa analýzy súčasného stavu sa momentálne prechádza z technológie tvrdochrómovania, používanej na zvýšenie životnosti nástrojov, na technológiu povlakovania aj v tejto oblasti. Dôvodom tejto inovácie je fakt, že chrómovanie je technológia ohrozujúca životné prostredie a život pracovníkov. Z tohto dôvodu by sa mala technológia chrómovania úplne prestať používať do roku 2017. Poznatky firiem zaoberajúcich sa výrobou nástrojov na výrobu mincí – razníkmi a raznicami, dosiahnuté výsledky nepublikujú, preto bolo veľmi náročné získať informácie o správaní sa povlakov na týchto nástrojoch. Počas výskumu dizertačnej práce hlavného riešiteľa bolo nutné vykonať jednotlivé skúšky pre rôzne povlaky.



a) WC/C

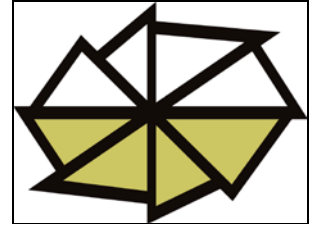
b) CrN

c) TiCrN

Obrázok 1 Razníky hodnotené v projekte

Vzhľadom na to, že raziace nástroje prenášajú veľké sily, navrhujú sa s veľkou tuhosťou. Sú to univerzálne nástroje, pričom vymeniteľné sú funkčné časti – razník a raznica. Navrhujú sa z nástrojových zliatinových ocelí, ktoré sa zušľachtujú na 58 – 62 HRC a kladú sa na ne vysoké požiadavky z hľadiska presnosti tvaru, kvality povrchu a tuhosti konštrukcie. Na základný materiál sa kladú nasledujúce požiadavky:

- vysoká tvrdosť, húževnatosť, dobrá tvarová stálosť,
- vysoká odolnosť proti opotrebeniu oterom,
- pevnosť v tlaku,

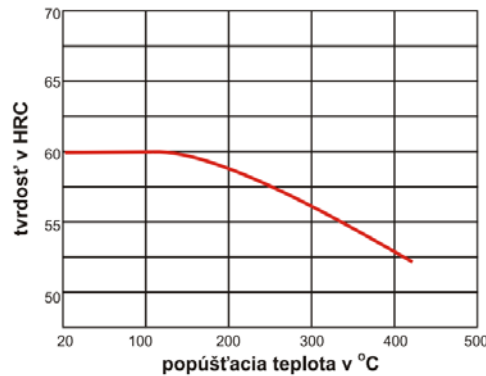


Výsledky riešenia projektu (pokračovanie)

- vhodnosť na tepelné spracovanie, odolnosť proti vzniku trhlín pri kalení,
- vhodnosť na niektoré metódy povlakovania (závisí od teploty popúšťania),
- dobrá obrábatelnosť,
- dobrá tvárnosť.

Ako základný materiál pre vzorky do experimentu bola navrhnutá nástrojová oceľ od firmy Böhler K455, ktorá sa na výrobu nástrojov na razenie mincí používa najčastejšie. Je to oceľ odolná voči rázom, s vysokou húževnatosťou a odolnosťou proti tlakovému namáhaniu, ako aj vysokou odolnosťou proti opotrebeniu oterom, popúšťací diagram je uvedený na obrázku 2.

Popúšťací diagram BÖHLER K455
- kaliača teplota 890 °C
- prierez skúšobnej vzorky: štvorhran 20 mm



Obrázok 2 Popúšťací diagram ocele Böhler K455

Pre experiment boli navrhnuté tieto povlaky:

- TiCrN (STATON, s.r.o.),
- CrN (Oerlikon Balzers, a. s.),
- WC/C (Oerlikon Balzers, a. s.).

Povlaky boli navrhnuté ako ďalšie možnosti aplikácie na tvárniace nástroje, ktoré hlavný riešiteľ overuje vo svojom výskume do dizertačnej práce. Zvolené povlaky boli konzultované s firmami, ktoré ich vyrábajú a boli nimi odporúčané. Povlakované vzorky boli obstarané cez štátny podnik Mincovňa Kremnica a boli určené výlučne na výskumné účely projektu.

V rámci riešenia projektu boli na povlakovaných vzorkách vykonané nasledovné skúšky:

- hodnotenie hrúbky povlakov pomocou Calotestu (obr. 3),
- hodnotenie štruktúry pomocou metalografických skúšok (obr. 4),
- hodnotenie drsnosti reliéfu razníka na dotykovom profilometri (obr. 5) a pomocou optickej interferometrie (obr. 6),
- hodnotenie nanotvrdosti povlaku na nanoindentore (obr. 7).

Jednotlivé povlakované vzorky boli podrobené všetkým uvedeným skúškam a meraniam. Pôvodne bolo plánované merať drsnosť aj v softvéri Gwyddion, kde by bol virtuálne vytvorený profil povrchu na základe fotografie, no ukázalo sa, že tento softvér nedokáže vyhodnotiť tak nízku drsnosť aká je požadovaná na reliéfe nástroja na razenie mince.



Výsledky riešenia projektu (pokračovanie)



Obrázok 3 Calotest



Obrázok 4 Metalografická skúška



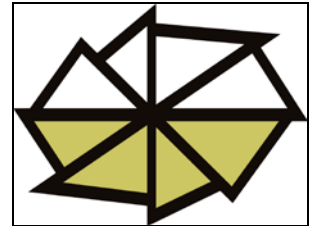
Obrázok 5 Dotykový profilometer



Obrázok 6 Optická interferometria



Obrázok 7 Meranie nanotvrlosti



Výsledky riešenia projektu (pokračovanie)

b) dosiahnuté výsledky a porovnanie s cieľmi projektu

Navrhnuté ciele boli splnené v plnej miere, keďže experimentálne vzorky boli pripravené, stanovené skúšky boli zrealizované a namerané údaje zhodnotené.

Namerané hodnoty hrúbky povlakov sú uvedené v tabuľke 1. Boli merané na caloteste od firmy CSM Instruments. Od hrúbky povlaku závisí aj životnosť nástroja, pretože pri veľmi tenkom povlaku sa životnosť nástroja zníži a pri veľmi hrubom povlaku sa cena nástroja predraží, čo je neefektívne. Z tabuľky vyplýva, že hrúbky povlakov sú závislé od materiálu povlaku. TiCrN je tenší ako CrN, je to stanovené tým, že titán je veľmi tvrdý kov, a preto nemusí byť povlak hrubý. Je vidieť, že WC/C je zložený z troch vrstiev, z ktorých každá má inú hrúbku. Na obrázku 8 sú znázornené kaloty.

Tabuľka 1 Namerané hodnoty hrúbky povlakov

Povlak CrN	1. meranie: R = 360,4 μm r = 238,9 μm s = 2,90 μm n = 300 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 30 s	2. meranie: R = 457,6 μm r = 370,6 μm s = 2,87 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 60 s	Povlak WC/C	1. meranie R = 451,6 μm r = 370,6 μm s1 = 2,66 μm R = 370,6 μm r = 352,4 μm s2 = 0,52 μm R = 352,4 μm r = 273,4 μm s3 = 1,97 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s	2. meranie R = 455,6 μm r = 376,6 μm s1 = 2,62 μm R = 376,6 μm r = 352,4 μm s2 = 0,70 μm R = 352,4 μm r = 287,5 μm s3 = 1,66 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s
	3. meranie: R = 532,6 μm r = 459,7 μm s = 2,89 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s	4. meranie: R = 528,5 μm r = 457,6 μm s = 2,80 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s		3. meranie R = 445,5 μm r = 372,6 μm s1 = 2,37 μm R = 372,6 μm r = 350,3 μm s2 = 0,65 μm R = 350,3 μm r = 281,5 μm s3 = 1,73 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s	4. meranie R = 443,5 μm r = 370,6 μm s1 = 2,39 μm R = 370,6 μm r = 348,3 μm s2 = 0,63 μm R = 348,3 μm r = 273,4 μm s3 = 1,85 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s
Povlak TiCrN	1. meranie R = 613,6 μm r = 589,3 μm s = 1,11 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s	2. meranie R = 536,6 μm r = 510,3 μm s = 1,09 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s			
	3. meranie: R = 569,0 μm r = 530,5 μm s = 1,76 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s	4. meranie: R = 577,1 μm r = 544,7 μm s = 1,48 μm n = 400 min^{-1} ϕ = 25 mm t = 120 s			

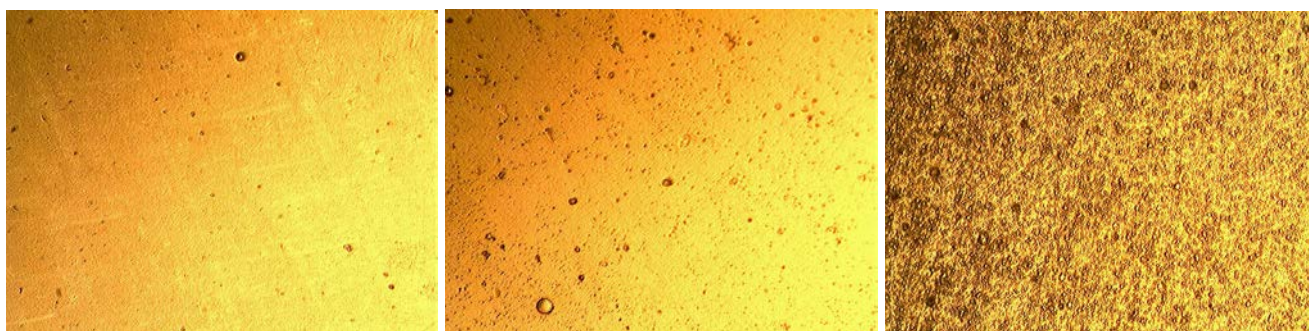


Obrázok 8 Kaloty



Výsledky riešenia projektu (pokračovanie)

Obrázky nasnímané z metalurgickej skúšky ukazujú štruktúru základného materiálu (K455) a jednotlivých povlakov. Tieto snímky boli zhotovené pomocou svetelného mikroskopu Neophot 2, softvéru Micrometrics 122U a upravené pomocou softvéru NIS Elements. Na obrázkoch 9 môžeme vidieť pohľad na makroskopické štruktúry povlakov. Na obrázkoch 10 môžeme vidieť mikroštruktúru povlakov, kde sa dá pozorovať priľnavosť povlakov ku základnému materiálu. Na niektorých miestach bol povlak odlupnutý od základného materiálu. Pomocou týchto obrázkov môžeme tiež merať hrúbku povlakov v reze.

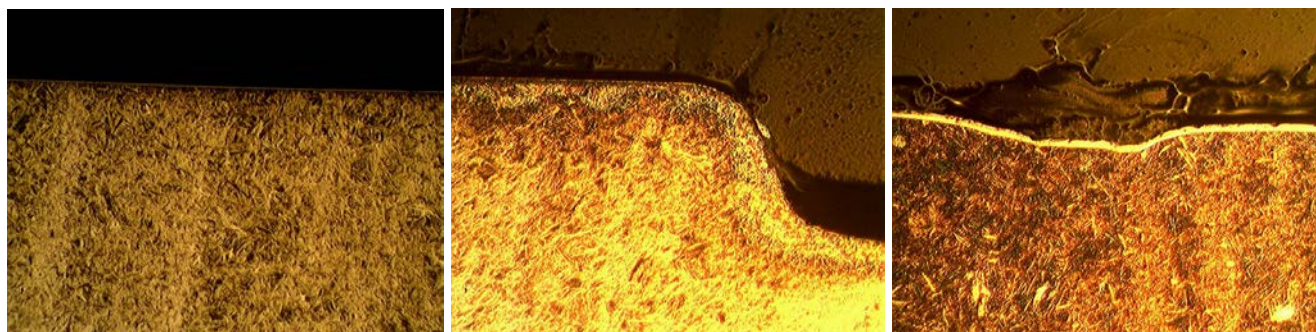


a) CrN

b) TiCrN

c) WC/C

Obrázok 9 Makroštruktúra povlakov

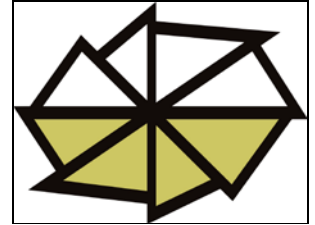


a) CrN

b) TiCrN

c) WC/C

Obrázok 10 Mikroštruktúra povlakov

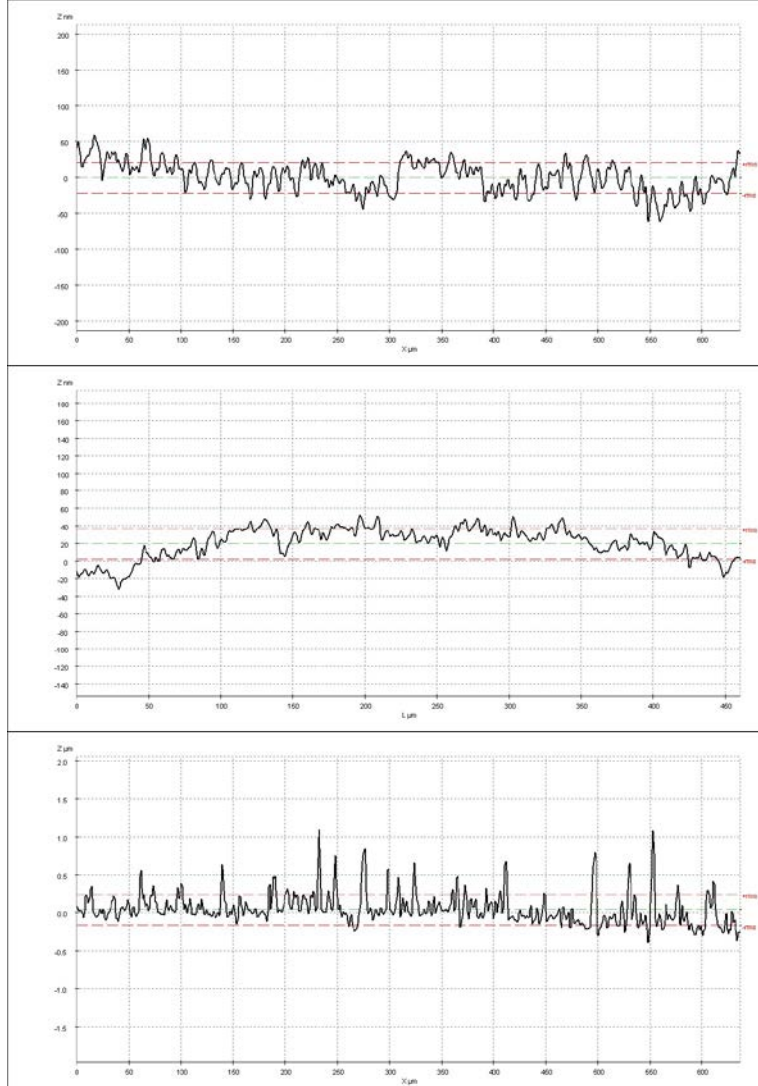


Výsledky riešenia projektu (pokračovanie)

Hodnoty drsnosti reliéfu razníka namerané dotykovým profilometrom (Hommel Tester T500) boli porovnané s hodnotami nameranými pomocou optickej interferometrie (PLu neox od firmy Sensofar). Dotykový profilometer nie je najpresnejšia metóda, skôr dielenská, no výsledky merania sú porovnateľné s laboratórnym meraním pomocou optickej interferometrie (tab. 2), a teda z obidvoch skúšok bol vyvodený záver, že drsnosť spĺňa požadované parametre pre nástroj pre razenie mincí. Na obrázku 11 sú uvedené reprezentatívne čiarové profily drsnosti získané pri optickej interferometrii.

Tabuľka 2 Namerané hodnoty drsnosti povrchu reliéfu

Povlak	Drsnosť povrchu reliéfu Ra [nm]	
	Optická interferometria	Dotykový profilometer
CrN	17 ± 5	50 ± 10
TiCrN	14 ± 5	15 ± 5
WC/C	145 ± 15	155 ± 20



Obrázok 11 Reprezentatívne čiarové profily drsnosti povrchu (v poradí CrN, TiCrN a WC/C)



Výsledky riešenia projektu (pokračovanie)

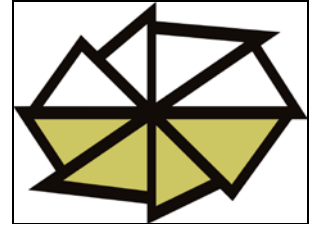
Meranie nanotvrdostí bolo vykonané na meracom zariadení NanoHardness Tester TTX-NHT od firmy CSM Instruments. Namerané tvrdosti povlakov sú uvedené v tab. 3. Z experimentu vyplýva, že najtvrdší povlak je TiCrN. Je dvakrát tvrdší ako CrN a WC/C. Je to z dôvodu obsahu titánu, ktorý je veľmi tvrdý. Z tohto merania bol vyvodенý jednoznačne najlepší povlak čo sa tvrdosti týka – TiCrN. Graf s najvyššími nameranými hodnotami tvrdostí povlakov je na obrázku 12.

Tabuľka 3 Namerané hodnoty tvrdostí povlakov

		CrN	TiCrN	WC/C
Stredný tlak (tvrdosť) [GPa]	meranie 1	16.573	43.429	-
	meranie 2	15.345	28.482	19.896
	meranie 3	13.041	37.785	14.446
	meranie 4	15.749	31.737	-
	meranie 5	-	30.347	8.043
	meranie 6	-	27.134	11.079
	priemer	15.177	33.152	13.366
	štandardná odchýlka	1.513	6.245	5.079
Tvrdosť [Vickers]	meranie 1	1534.849	4021.992	-
	meranie 2	1421.136	2637.699	1842.628
	meranie 3	1207.763	3499.273	1337.834
	meranie 4	1458.525	2939.202	-
	meranie 5	-	2810.454	744.865
	meranie 6	-	2512.860	1026.018
	priemer	1405.568	3070.247	1237.837
	štandardná odchýlka	140.104	578.329	470.340
Youngov modul pružnosti [GPa]	meranie 1	272.747	415.046	-
	meranie 2	274.796	318.879	175.193
	meranie 3	225.769	384.987	134.133
	meranie 4	262.941	344.894	-
	meranie 5	-	327.480	92.936
	meranie 6	-	302.463	102.778
	priemer	259.063	348.958	126.260
	štandardná odchýlka	22.791	42.918	37.051



Obrázok 12 Graf porovnanie tvrdostí povlakov



Výsledky riešenia projektu (pokračovanie)

Najdôležitejším porovnaním zvolených povlakov bolo nasadenie razníkov priamo do výroby a testovanie životnosti nástrojov na razenie mincí v reálnej prevádzke. Týmto testom boli zistené nasledovné priemerné životnosti nástrojov na razenie mincí:

- povlak WC/C – 30 000 ks,
- povlak CrN – 50 000 ks,
- povlak TiCrN – 150 000 ks.

Z uvedených výsledkov vyplýva, že povlak s obsahom titánu, má nie len najvyššiu tvrdosť, ale tiež životnosť nástroja je rádovo vyššia ako povlak CrN alebo WC/C a to pri hrúbke vrstvy povlaku $1,1 \div 1,7 \mu\text{m}$! Z výsledkov aj predchádzajúcich výskumov vyplýva, že titán je vhodný prvok povlaku pre nástroje pre razenie mincí.

c) uplatnenie výsledkov a ich prínos v riešenej problematike

Dosiahnuté výsledky rozširujú informácie o správaní sa aplikovaných povlakov pri technológii tvárnenia za studena. Poskytujú cenné informácie o nie dostatočne zdokumentovanej oblasti. Budú využité vo výskume do dizertačnej práce hlavného riešiteľa projektu a porovnané s už predchádzajúcim skúmaním v danej oblasti.

Snímky vytvorené počas riešenia projektu budú tak isto využité v pedagogickom procese, pre oboznámenie sa študentov s technológiou povlakovania a pre ich jednoduchšie predstavenie si vysvetľovaného učiva.

Výsledky projektu sú tak isto využiteľné v praxi. Firmám zaoberajúcim sa technológiou razenia dávajú odpovede na otázky ohľadom životnosti nástrojov. Údaje z projektu boli a budú publikované na vedeckých a odborných konferenciách, fakultných vedeckých časopisoch a v odborných časopisoch.



Zoznam výstupov, ktoré vznikli na základe výsledkov projektu

- a) publikované výstupy
- b) zoznam výstupov odovzdaných do tlače v roku 2013
- c) iné výstupy

Publikačnú činnosť vykázať v súlade s Organizačnou smernicou č. 7/2013 o bibliografickej registrácii a kategorizácii publikačnej činnosti, umeleckej činnosti a ohlasov na TU vo Zvolene.



a) publikované výstupy

HANES, T. – KAŠTAN, R. 2013. Hodnotenie hrúbky povlaku pomocou calotestu. In *XVth International conference of young scientists 2013*. Nitra : SPU, 2013. ISBN 978-80-552-1070-4, s. 47 - 53

b) zoznam výstupov odovzdaných do tlače v roku 2013

HANES, T. a kol. 2014. Hodnotenie vlastností povlakov na razidlách mincí. 8 s.(článok podaný do Acta facultatis technicae)



Čerpanie bežných výdavkov spojených s riešením výskumného projektu:

Cestovné náhrady	-
Konferencie, sympóziá, semináre	90,00 €
Sieťové odvetvia - Komunikácie	-
Literatúra	178,80 €
Vzorkový materiál	-
Drobný hmotný majetok	-
Materiál, pracovné nástroje	400,00 €
Rutinná a štandardná údržba	-
Mzdové náklady (max. 15 %)	-
Dohody o vykonaní práce (max. 10 %)	10,00 €
Spolu	678,80 €

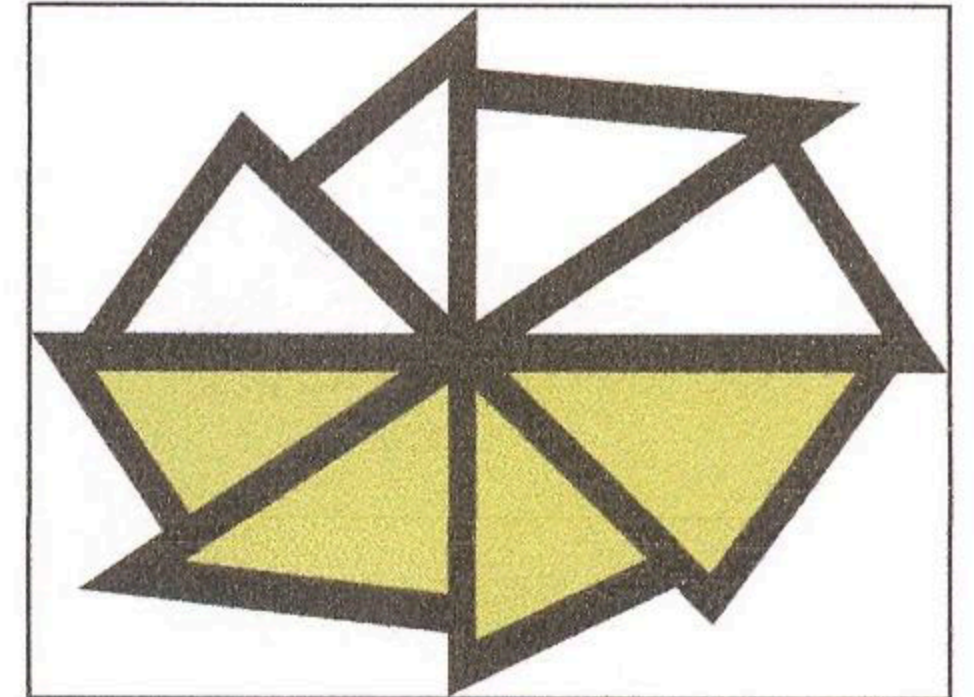
Rozpis čerpania pridelených finančných prostriedkov na riešenie projektu:

Z dôvodu zvýšených nákladov na vložné na konferenciu, boli navýšené finančné prostriedky v položke „Konferencie, sympóziá, semináre“ na 90€. Z dôvodu obstarania literatúry (Strojnícka príručka), boli navýšené finančné prostriedky v položke „Literatúra“ na 178,8€. Položky „Cestovné náhrady, Sieťové odvetvia – Komunikácie a Materiál, pracovné nástroje“ boli znížené. Z položky „Materiál, pracovné nástroje“ bola uhradená faktúra za služby vykonané v Slovenskej akadémii vied, Košice.

Rozpis vyčerpaných finančných prostriedkov:

Konferencie, sympóziá, semináre účasť na XV. medzinárodnej vedeckej konferencii mladých 2013, 18. – 19. 9.2013 – vložné	90,00 €
Literatúra nákup Strojnickej príručky od firmy Verlag Dashöfer	178,80 €
Materiál, pracovné nástroje meranie hrúbky povlaku calotestom, meranie nanotvrdosti, meranie drsnosti povrchu optickou interferometriou a konfokálnou mikroskopiou	400,00 €
Dohody o vykonaní práce (max. 10%)	10,00 €
Spolu	<u>678,80 €</u>

Poskytnuté finančné prostriedky boli použité účelne a hospodárne, pre čo najvyššiu efektivitu projektu.



Názov a adresa pracoviska:

Katedra mechaniky a strojnictva
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
Študentská 26
960 53 Zvolen

Vyjadrenie fakulty, resp. org. súčasti TUZVO
(prodekan pre VVČ, resp. ním poverený zástupca, riaditeľ
org. súčasti)

23. 1. 2014

Dátum a podpis: