

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

305 514

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

B24C 1/02 (2006.01)
B24C 1/00 (2006.01)
B24C 3/02 (2006.01)
B24C 1/04 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2010-571**
(22) Přihlášeno: **23.07.2010**
(40) Zveřejněno: **01.02.2012**
(Věstník č. 5/2012)
(47) Uděleno: **30.09.2015**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **11.11.2015**
(Věstník č. 45/2015)

(56) Relevantní dokumenty:

US 6783088 B.; US 4934111 A.; US 4702042 A.

(73) Majitel patentu:
Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Ostrava, CZ

(72) Původce:
doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D., Bystřice pod
Lopeníkem, CZ
Ing. Alois Borovička, Partizánske, SK
doc. Ing. Sergej Hloch, Ph.D., Prešov, SK
Ing. Petr Hlaváček, Polešovice, CZ

(74) Zástupce:
PATENT SKY s.r.o., Ing. Petra Kolářová, Dušní
8/11, 110 00 Praha 1

(54) Název vynálezu:
**Způsob stanovení konstanty hydroabrazivní
dělitelnosti materiálu Kawj**

(57) Anotace:
Způsob navrhování technologie hydroabrazivního dělení materiálů je založen na určení konstanty hydroabrazivní dělitelnosti materiálů Kawj, a to tak, že se buď podle verze A zněří tři deformační parametry na zkušebním řezu/vzorku, vybraná hloubka h_x [mm], lokální drsnost Ra_x [μm] v hloubce h_x a lokální odchylka řezné stopy od normálové roviny $Yret_x$ v hloubce h_x , nebo podle verze B pouze dva deformační parametry, a to etalonová hloubka h_{et} [mm] a odchylka řezné stopy od normálové roviny $Yret_x$ [mm]. Konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálů Kawj z verzí A nebo B se následně dosadí jako vstupní hodnota do algoritmu technologie hydroabrazivního dělení. Výsledkem výpočtu podle algoritmu je expresní získání technologicky vyčerpávající a pro všechny technické materiály obecně platné řady numerických a grafických údajů potřebných pro optimální nastavení hlavních parametrů technologie a dále údajů o kvalitě/jakosti řezů, o limitní hloubce řezů a o ekonomických parametrech, jakož i o mechanických vlastnostech děleného materiálu z hlediska jeho zařazení do třídy obrobitelnosti Tcut a standardizace technologického postupu.

CZ 305514 B6

Způsob stanovení konstanty hydroabrazivní dělitelnosti materiálu Kawj

Oblast techniky

Předmět vynálezu se týká způsobu navrhování technologických parametrů pro hydroabrazivní dělení materiálů.

Dosavadní stav techniky

Současné způsoby navrhování hlavních technologických parametrů technologického postupu pro hydroabrazivní dělení materiálů se provádí pouze na základě subjektivních zkušeností technologa. Pro tuto technologii dosud není vypracovaná snadno a rychle v praxi použitelná exaktní výpočtová metoda. Jako technologické pomůcky jsou již dostupné některé programy, které však mají pouze rámcově orientační charakter, protože nevycházejí z konkrétně proměřených technologických parametrů hydroabrazivní dělitelnosti typu právě obráběného materiálu ani z technického stavu právě použité soupravy, týkají se velmi omezeného počtu technologických parametrů a nedostatečně řeší technologické vlastnosti děleného materiálu. Přitom již samotné mechanické vlastnosti každého materiálu, které vstupují do technologických výpočtů, vykazují tak značný rozdíl, že tabulkové hodnoty těchto parametrů nutno taktéž považovat za orientační. Z teoretických řešení se nejvíce blíží praktickým požadavkům technologa výpočty podle Hashishe (HASHISHI, M. Prediction models for AWJ machining operation. In *7th American Water Jet Conference*, 1993, p. 205–216. ISBN 1–880342–02–2), Zenga (ZENG, J., KIM, T. Parameter prediction and cost analysis in abrasive waterjet cutting operations, In *7th American Water Jet Conference*, 1993, p. 175–189. ISBN 1–880342–02–2), Wanga (WANG, J. A new model for predicting the depth of cut in abrasive waterjet contouring of alumina ceramics. *Journal of materials processing technology*, 2009, p. 2314–2320. ISSN 0924–0136). Tato řešení jsou však těžko obecně použitelné v praxi, protože vyžadují řadu teoretických v praxi neměřitelných předpokladů a konstant a navíc jsou použitelné pouze pro specifické skupiny materiálů a konstant a navíc jsou použitelné pouze pro specifické skupiny materiálů a neplatí obecně pro celou škálu technických materiálů. V praxi jsou potom optimální technologické parametry hydroabrazivní soupravy subjektivně odhadovány technologem podle dosažené hloubky dělení a vizuálního stavu povrchu dělicí stěny zkušební vzorku, přičemž se zkouší či odhadují zejména různé rychlosti posuvu řezné hlavy, tlak čerpadla, hmotnostní tok abraziva, velikost a druh abraziva.

Hlavními nedostatky současného stavu je dosud nevypracovaná zkušební metoda, kterou by mohl být dělený materiál předem jednoznačně otestován na základní technologickou vlastnost, kterou je jeho hydroabrazivní dělitelnost, dále dosud nevypracovaný v praxi a výzkumu použitelný způsob pro stanovení optimálních technologických parametrů (rychlost posuvu řezné hlavy, tlak čerpadla, množství, velikost a druh abraziva a dalších) podle předem stanovené hydroabrazivní dělitelnosti (AWJ) konkrétního materiálu a na základě výše uvedených příčin dosud stále chybějící jednotná technologická klasifikace technických materiálů jak podle deformačních parametrů, tak i podle optimálních technologických parametrů, neboť pro vytvoření takovéto klasifikace dosud stále chybí návrh vhodného zobecňujícího kritéria, které by techniky jednoznačně dělený materiál charakterizovalo.

Podstata vynálezu

Nevýhody odstraňuje řešení, které je předmětem tohoto vynálezu tak, že se u každého materiálu předem určí konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálů Kawj jako výchozí specifický parametr řezaného materiálu.

Způsob hydroabrazivního dělení materiálu pomocí hydroabrazivní soupravy, se stanovením hydroabrazivní dělitelnosti materiálu pomocí hydroabrazivní soupravy specifický tím, že se provede zkušební řez materiálu, změří se hloubka řezu h_x [mm], lokální drsnost R_{ax} [μ m] v hloubce h_x a lokální odchylka řezné stopy od normálové roviny Y_{retx} v hloubce h_x , z těchto změřených parametrů se stanoví konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálu K_{awj} , dle vztahu $K_{awj} = R_{ax} * h_x / Y_{retx}$, [μ m] nebo se změří etalonová hloubka h_{et} [mm] a odchylka řezné stopy od normálové roviny Y_{retx} [mm] v etalonové hloubce h_{et} [mm], z těchto změřených parametrů se stanoví konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálu. K_{awj} dle vztahů $Ematx = (10^{24} * Y_{retx} / (Y_{retet} * K_{awjet}^2))^{0,25}$, [MPa], $K_{awj} = 10^{12} / Ematx^2$, [μ m], získaná hodnota konstanty hydroabrazivní dělitelnosti materiálu K_{awj} se dosadí do Algoritmu technologie hydroabrazivního dělení, ze kterého jsou vypočítány parametry hydroabrazivního dělení materiálu, dle těchto parametrů se na hydroabrazivní soupravě nastaví technologie hydroabrazivního dělení, vloží se materiál, hydroabrazivní souprava se spustí a provede řez materiálu.

Algoritmus technologie hydroabrazivního dělení je nový systém v technologii hydroabrazivního dělení, který se sestává z fyzikálních závislostí parametrů hydroabrazivního dělení vyjádřených rovnicemi po řádcích, přičemž potřebný údaj do vztahů v daném řádku je přebírán z řádků předcházejících, přičemž první řádek se sestává ze vstupního údaje, kterým je konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálů K_{awj} [μ m]. Rovnice, na sebe navazují tak, aby výsledkem výpočtu byl komplexní matematicko-fyzikální model, který numericky a graficky popisuje proces dělení materiálu hydroabrazivním proudem.

Konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálů K_{awj} [μ m] se určí tak, že se buď změří: **A)** tři deformační parametry vzorku materiálu: vybraná hloubka řezu h_x [mm], lokální drsnost R_{ax} [μ m] v hloubce h_x a lokální odchylka řezné stopy od normálové roviny Y_{retx} v hloubce h_x , nebo za **B)** pouze dva deformační parametry vzorku materiálu: a to etalonová hloubka h_{et} [mm] v řezu provedeného v materiálu předem vypočtenou optimální posuvnou rychlostí $V_{popt_{et}}$ [mm/min] pro tento materiál a konstanta K_{awj} se následně dosadí jako vstupní hodnota do algoritmu technologie hydroabrazivního dělení (zkráceně algoritmus).

Tímto algoritmem lze obdržet základní optimalizované vstupní diskrétní hodnoty pro nastavení technologie hydroabrazivního dělení (např. rychlost posuvu dělicí hlavy pro daný materiál V_{popt} [mm/min], tlak čerpadla P_v [MPa], průtočné množství abraziva m_a [g/min]). Diskrétní hodnoty dodávané algoritmem jsou takové, které získáme z kontinuálních průběhů jednotlivých funkcí definovaných v soustavě rovnic na určité diskrétní časoprostorové úrovni. Pro volbu diskrétních optimalizovaných technologických parametrů se zde vychází z hloubkové úrovně neutrální roviny h_0 pro daný dělený materiál na základě předpokladu, že v této rovině vyrovnaného napěťového stavu lze určit optimální parametry dělení. Potom tyto diskrétní údaje může technolog navíc srovnávat s diskrétními údaji z jiné volené hloubkové úrovně h_x různé od h_0 , např. v maximální hloubce dělicího řezu požadované zákazníkem, odvozovat tak náročnost, výkon a cenu práce. Vedle těchto diskrétních údajů výpočet současně produkuje grafické záznamy kontinuálního průběhu dělení a změn hlavních materiálových i technologických parametrů v čase v závislosti na hloubce h_x a na dalších vstupních technologických a materiálových parametrech (např. drsnost dělicí stěny $R_{ax} = f(h_x, V_{popt}, P_v, m_a, Y_{retx}, Emat)$, lokální odchylka řezné stopy od normálové roviny $Y_{retx} = f(h_x, V_{popt}, P_v, m_a, Emat, R_{ax})$, $h_x = f(V_{popt}, P_v, m_a, Y_{retx}, Emat, R_{ax})$). Předkládaný algoritmus má obecnou platnost pro všechny technické materiály.

Výsledkem výpočtu podle algoritmu po dosazení vstupní hodnoty K_{awj} , zjištěné výše uvedenými způsoby ad A), B) je expresní získání technologicky vyčerpávající řady numerických a grafických údajů, jak o mechanických vlastnostech děleného materiálu, tak o strojně-technologických a ekonomických parametrech hydroabrazivního dělení. Technologický výpočet dle algoritmu lze použít pro dělení všech technických materiálů užívaných v průmyslu (např. barevné kovy a jejich slitiny, oceli, keramika, dřevo, stavební materiály, horniny, kůže, plasty atd.). Viz. klasifikace materiálů podle druhů do tříd hydroabrazivní dělitelnosti Tout 1 – 6 na obr. 5, dle předmětu vyná-

- lezu, přitom obecně platí podmínka, že pevnost abraziva SIGda je vyšší než pevnost děleného materiálu SIGdm, SIGdm je hlavní deformační napětí, které působí v hlavní rovině napjatosti, které jsme rozložili do vzájemně kolmých normálových složek SIGx a SIGy. Další normálovou složkou tohoto napětí je SIGn v hloubce h, která působí ve směru natáčení při prohlubování stopy řezu. Pro všechny uvedené materiály se po zjištění jejich konstant hydroabrazivní dělitelnosti materiálu Kawj [μm], jako vstupního parametru do algoritmu, získají výpočtem diskretní a časově-průběhové hodnoty analogické níže uváděným v tabulkách a grafech vypracovaným zde pro výběr 6-ti materiálů prezentovaných v rámci příkladu realizace výsledku.
- Kawj [μm] je nový technologický délkový parametr, který se prodlužuje s rostoucí plasticitou děleného materiálu, a stanoví se buď ze tří deformačních parametrů, dle $Kawj = Ra_x \cdot h_x / Y_{ret_x}$, [μm], nebo z deformačních parametrů dle $Emat_x = (10^{24} \cdot Y_{ret_x} / (Y_{ret_{et}} \cdot Kawj_{et}^2))^{0,25}$, [MPa], $Kawj_x = 10^{12} / Emat_x^2$, [μm] Fyzikálně je to parametr komplexní, souvisí jak s mechanickými vlastnostmi materiálu, tak i s parametry technologie. Tyto souvislosti jsou explicitně vyjádřeny nově odvozenými vztahy v algoritmu technologie hydroabrazivního dělení. Tento údaj o děleném materiálu je jediným a postačujícím vstupním parametrem do nového algoritmu technologie hydroabrazivního dělení materiálů. Dalšími 11-ti vstupními údaji (parametry) do algoritmu, které jsou již jeho součástí, jsou parametry technologicky dané, neměnné (zpoždění stopy v neutr. rovině h_o / teor. daná konst. / Y_{ret_o} [mm], drsnost stopy v neutrální rovině h_o / teor. daná konst. / Ra_o [μm], hustota vody Rov [g/cm^3], poměr průměrů dýz $Dvo/Dabro = Kdvdao$ [1]) nebo technologem volené, nastavitelné (hmotnost celková proudu AWJ Roj [g/cm^3], hmotnost abraziva Roa [g/cm^3], hloubka řezu volená/požadovaná h_x [mm], volba průměru abrazivní dýzy da [mm], průměr abrazivního zrna $dazr$ [mm], objemový podíl abraziva v proudu AWJ λ [1], cena el. energie $Ckwhod$ [Kč/kWh] – nastavitelná dle aktuálních potřeb). Výpočtem jsou potom volené parametry upřesněné a optimalizované, a to na základě konkrétně zjištěné konstanty hydroabrazivní dělitelnosti materiálů Kawj [μm] tak, že subjektivně volený údaj např. poměr průměrů dýz $Dv/Dabr$ $Kdvdao = 0,329$ [1] jako např. konstantně nastavený výrobcem (obr. 7, obr. 8 – řádek 8) vyjde z výpočtu jako optimalizovaný parametr $Kdvd$ v rámci celé technologie dělení pro konkrétní materiál, jehož dělitelnost je definovaná podle návrhu zjištěnou konstantou hydroabrazivní dělitelnosti materiálu a je uveden na obr. 7, obr. 8 na řádce 27 pro zde prezentované materiály. Dané a volené technologické parametry vstupující do algoritmu jsou vyspecifikované na obr. 22, tam jsou uvedeny také konkrétní hodnoty použité pro níže prezentovaný příklad, ale mohou být použity obecně jako pomocné, protože se přepočtem upravují na konkrétní stav technologie dělení podle zjištěné hodnoty Kawj. Z výše uvedeného vyplývá, že algoritmus je obecně platný pro všechny technické materiály s tím, že vedle hlavního vstupního parametru Kawj je třeba vydefinovat pouze parametry, které jsou dané a neměnné a proto trvale uvedené v zadání vstupů: zpoždění stopy v neutr. rovině h_o / teor. daná konst. / $Y_{ret_o} = 1$ [mm], drsnost stopy v neutrální rovině h_o / teor. daná konst. / $Ra_o = 3,7$ [μm], hustota vody $Rov = 1$ [g/cm^3], hmotnost celková proudu AWJ Roj [g/cm^3], hmotnost abraziva Roa [g/cm^3], hloubka řezu volená/požadovaná h_x [mm], objem. podíl abraziva v proudu AWJ λ [1], cena el. energie $Ckwhod$ [Kč/kWh], vstupní poměr průměrů dýz $Dvo/Dabro = Kdvdao = 0,329$ [1]. Nastavení technologie podle konkrétního parametru Kawj děleného materiálu by mělo za účelem optimalizace celé technologie respektovat výpočtem upřesňované parametry jako optimalizovaný poměr průměrů dýz $Dv/Dabr = Kdvd = f(dazr)$, kde $dazr$ je optimalizovaný průměr zrna abraziva podle vstupní hodnoty Kawj daného materiálu, kterou si algoritmus vyčíslí a provede konečnou optimalizaci poloměru $Kdvd$. Optimalizovaný průměr zrna $dazr$ se s rostoucí pevností materiálu zmenšuje. Technolog pro svůj materiál nastaví poměr dýz podle upřesněného/optimalizovaného výpočtu $Dv/Dabr = Kdvd = f(dazr)$.
- Důležitým analytickým faktorem je určení geometrických parametrů a polohy rovnovážné/neutrální roviny (Ra_o , h_o) v hydroabrazivním dělicím řezu. Obecně jde o hloubkovou úroveň v dělicích řezech, kde dochází k vyrovnání tahových a tlakových napětí. Pro $h < h_o$ převažuje podíl tahové napjatosti, drsnost povrchu je relativně nízká. Pro $h > h_o$ roste podíl tlakové složky a drsnost povrchu dělicí stěny se zvyšuje. Zjistili jsme, že při dělení hydroabrazivním nástrojem do-

cháží k vyrovnání tahové σ_{tah} a tlakové σ_{tlak} napjatosti vždy při hodnotách drsnosti $Ra_0 = 3,7 \mu\text{m}$ a retardace $Yret_0 \sim \sigma_{\text{tah}}/\sigma_{\text{tlak}} = 1$, a to nezávisle na materiálu, ale v adekvátních hloubkách neutrální roviny h_0 , která je pro různé materiály různá. Potom hloubka neutrální roviny v řezu h_0 musí být adekvátní těmto hodnotám a rovnici mechanické rovnováhy na hloubkové úrovni neutrální roviny h_0 definujeme $Ra_0 \cdot h_0 / Yret_0 - Kawj_0 = 0$, a na obecné hloubkové úrovni $Ra_x \cdot h_x / Yret_x - Kawj_x = 0$. Přitom $Kawj_0 = Kawj_x = Kawj \sim 10^{12} / E \cdot \sigma^2$ pro daný materiál je po celé hloubce dělicího řezu konstanta a hloubka neutrální roviny $h_0 = Kawj / Ra_0$ [mm].

Takto připravený algoritmus technologie hydroabrazivního dělení materiálů, který je obecně platným pro všechny způsoby A, B je naprogramovatelný do programovatelného technologického kalkulátoru nebo PC. Výpočet proběhne po dosažení jediné hledané vstupní hodnoty $Kawj$ a dalších 11–ti daných hodnot, vstupních parametrů (zpoždění stopy v neutr. rovině h_0 / teor. daná konst. / $Yret_0$ [mm], drsnost stopy v neutrální rovině h_0 / teor. daná konst. / Ra_0 [μm], hustota vody Rov [g/cm^3], hmotnost celková proudu AWJ Roj [g/cm^3], hmotnost abraziva Roa [g/cm^3], hloubka řezu volená/požadovaná h_x [mm], volba průměru abrazivní dýzy da [mm], průměr abrazivního zrna $dazr$ [mm], objem, podíl abraziva v proudu AWJ λ [1], cena el. energie $Ckwhod$ [Kč/kWh] poměr průměrů dýz $Dvo/Dabro = Kdvdao = \text{konst}$ [1], stejná pro všechny materiály) bez dalšího zásahu technologa automaticky. Technologem neovlivnitelné jsou např. aktuální cena el. energie, cena vody, cena abraziva, hmotnost vody a teoreticky dané konstanty Ra_0 a $Yret_0$. Naopak, předem si může modelově dle algoritmu propočítat pro dělený materiál např. dosaženou hloubku dělicího řezu, drsnost dělicích stěn, celkový výkon a cenu práce rozhodne-li se např. místo drahého abraziva granát použít olivín, sklo nebo jiné levnější abrazivum, materiálůve v algoritmu 1 definovaného hmotností abraziva a cenou, odkud se odvíjí další parametry, jako je průtočné množství abraziva a váhový podíl abraziva v toku. Podle obr. 22 lze vyčíst, které hodnoty platí trvale a obecně a které musíme aktualizovat u uváděných 11 hodnot, vstupních parametrů. Důsledkem toho je, že změním-li tyto vstupní hodnoty, změní se adekvátně výsledek výpočtu podle algoritmu.

Výstupem jsou všechny potřebné údaje o materiálu, technologii a o technickém průběhu celého dělicího řezu v numerické a grafické formě na displeji programovatelného technologického kalkulátoru nebo na PC. Po spuštění algoritmu technologie hydroabrazivního dělení materiálů obdrží technolog během cca jedné minuty na displeji celkem 110 technologických údajů v numerické (tabulkové) formě a 90 grafů predikčně popisujících po technické stránce časo–prostorový průběh celého dělicího řezu, včetně optimální rychlosti posuvu, tlaku čerpadla, množství abraziva, finální jakosti dělicí stěny, optimální a dosažitelné hloubky řezu, rozboru nákladů a celkové ekonomiky provozu hydroabrazivní soupravy pro konkrétní materiál. Protože $Kawj$ je parametr dělkový a prodlužuje se s rostoucí plasticitou děleného materiálu, může se doba automatického výpočtu při konstantní hustotě vzorkování prodlužovat až na 2 až 3 minuty. Např. pro běžné oceli je $Kawj$ v rozmezí 18 až 40 [μm], zatímco pro slitiny Al již v rozmezí 200 až 700 [μm] podle chemického složení a mechanické plasticity a u slitin Pb již $Kawj$ přesahuje 1000 [μm]. Proto je vhodné u méně výkonných počítačů zmenšit hustotu vzorkování (pozice 14 v základní sestavě algoritmu 1 pro volbu hustoty vzorkování na hloubce řezu h , krok vzorkování lze pro běžné PC volit např. pro pevné oceli v řádech 10 – 4 až 10 – 3 mm, pro středně pevné materiály, měď, hliník 10 – 2, pro měkké materiály, olovo, dřevo, horniny, plasty 10 – 1). Celý výpočet lze provádět pomocí programovatelného technologického kalkulátoru nebo na PC. Přitom je umožněn interaktivní vstup a vlastní modelování procesu technologem.

Předmět vynálezu dále řeší i nedostatek chybějící jednotné technologické klasifikace technických materiálů podle parametru dělitelnosti $Kawj$ tím, že toto zobecňující kritérium umožňuje zařazení jednotlivých materiálů do 6–ti tříd hydroabrazivní dělitelnosti T_{cut} . Třída hydroabrazivní dělitelnosti se určí na základě parametru $Kawj$, resp. podle $E_{\text{mat}} = f(Kawj)$ podle rovnic (1) a (2). Třídám hydroabrazivní dělitelnosti potom algoritmus technologie hydroabrazivního dělení materiálů přiřazuje optimalizované technologické parametry příslušné soupravy výpočtem. Třidu dělitelnosti tvoří skupina materiálů podobných mechanických vlastností z hlediska jejich hydroabraziv-

ního dělení. Třídy dělitelnosti rozdělují materiály rámcově a podle modulu pružnosti v tahu E_{mat} na ose x a zahrnují všechny druhy technických materiálů, viz. schéma na obr. 5. Modul pružnosti v tahu E_{mat} lze podle návrhu předmětu vynálezu ověřit, popř. stanovit současně s konstantou K_{awj} . Uvnitř jednotlivých tříd je provedena detailizace do podtříd automaticky po spuštění algoritmu a celý soubor algoritmem vypočítaných parametrů charakterizuje danou podtřidu. Příkladně pro materiál ocel ČSN 17 251 vychází z grafu na obr. 5 i v tabulce na obr. 7 ve sloupci č. 14 automatické zařazení do třídy dělitelnosti $T_{cut} = 5$ a do detailizované podtřídy $T_{cut} = 5,2232$, je-li detailizace do podtříd volena na 4 desetinná místa. Zařazení děleného materiálu do technologické klasifikace je potom automaticky provedeno algoritmem na základě rovnic:

$$T_{cut} = \log(10^6 / K_{awj}^{0,5}), [-] \quad (1)$$

$$T_{cut} = \log(E_{mat}), [-] \quad (2)$$

Testování materiálu na vstupní technologický parametr K_{awj} lze jednoduchým výpočtem buď podle deformačních parametrů dělicí stěny zkušební vzorku, nebo ověřených parametrů pro E_{mat} , resp. V_{LUZ} realizovat, jak již bylo výše naznačeno, čtyřmi způsoby.

Buď za A: měříme 3 deformační parametry vzorku materiálu, a to vybranou hloubku řezu h_x [mm], lokální drsnost R_{ax} [μm] v hloubce h_x a odchylku řezné stopy od normálové roviny Y_{ret_x} v hloubce h_x .

Nebo za B: měříme pouze 2 deformační parametry vzorku materiálu, známe-li $K_{awj_{et}}$ etalonového materiálu, nebo $E_{mat_{et}}$ nebo $V_{LUZ_{et}}$, a to etalonovou hloubku h_{et} [mm] stejnou pro všechny testované materiály a odchylku řezné stopy od normálové roviny Y_{ret_x} [mm] testovaného materiálu v etalonové hloubce h_{et} .

Mezi přímé metody lze řadit metody ad A a ad B, protože vyžadují přímé uskutečnění dělicího řezu, získání zkušební vzorku a přímá měření drsnosti R_{ax} a délková měření hloubky h_x , resp. odchylky řezné stopy od normálové roviny Y_{ret_x} . Princip předmětu vynálezu podle verze provedení A spočívá v tom, že se na dělicí stěně kontrolního řezu zvolí hloubka h_x [mm] s dobře patrnými stopami po řezném nástroji. Na této hloubce h_x se změří lokální drsnost R_{ax} [μm] a odchylka řezné stopy od normálové roviny Y_{ret_x} [mm]. Z těchto údajů se výpočtem určí podle vztahu (3) konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálu K_{awj} , která se dále dosadí jako vstupní hodnota do algoritmu a doplnkově také modul pružnosti v tahu E_{mat} podle vztahu (4) jako přímá funkce $E_{mat} = f(K_{awj})$:

$$K_{awj_x} = R_{ax} * h_x / Y_{ret_x}, [\mu m] \quad (3)$$

$$E_{mat_x} = 10^6 / K_{awj_x}^{0,5}, [MPa] \quad (4)$$

Potom také optimalizovaná posuvná rychlost pro dělení různých materiálů a pro realizaci dalších zkušebních řezů je

$$V_{popt} = (10^{-3} * R_{a_0})^{0,5} * 10^6 / E_{mat}^{0,5} [mm/min] \quad (5)$$

kde R_{a_0} je drsnost stopy řezu na úrovni h_0 , tj. v neutrální rovině, $R_{a_0} = 3,7 [\mu m]$.

Výhoda provedení vynálezu podle verze A spočívá v tom, že všechny 3 nejdůležitější proměnné jsou po fyzikální stránce měřeny přímo. Nevýhodou je zejména nutnost proměřování drsnosti R_{ax} v hloubce řezu h_x vlastním drsnoměrem nebo dodavatelsky.

Princip vynálezu podle verze provedení B spočívá v tom, že se na dělicí stěně kontrolního řezu provede jedno kompletní etalonové měření podle verze A pro jeden etalonový materiál, a to ve zvolené etalonové hloubce h_{et} [mm], nebo se dle ověřených hodnot $E_{mat_{et}}$ či $V_{LUZ_{et}}$ stanoví K_{awj} .

w_{jet} a další parametry etalonového materiálu, a stejnou, tj. etalonovou posuvnou rychlostí V_{popt_{et}} [mm/min] se nařežou kontrolní vzorky ze všech ostatních materiálů, přičemž etalonová hloubka h_{et} [mm] zůstává pro všechny materiály konstantní a měří se pouze velikost odchylky řezné stopy od normálové roviny Y_{ret_x} [mm] v hloubce h_{et} a odpadá tak potřeba měření drsnosti Ra_x [μm] v hloubce h_{et} [mm]. Parametry Kaw_{j_x} [μm] a Emat_x [MPa] jsou stanoveny z odchylky řezné stopy od normálové roviny Y_{ret_x} [mm], etalonové odchylky Y_{ret_{et}} [mm], parametru Kaw_{j_{et}} [μm].

Postup a vztahy pro určení vstupního parametru do algoritmu:

- a) zvolíme etalonovou hloubku h_{et} [mm] (např. h_{et} = 8 mm),
- b) změříme odchylku řezné stopy od normálové roviny Y_{ret_x} [mm] na zkušebním řezu neznámého materiálu v hloubce h_{et},
- c) zvolíme etalonový materiál, např. ocel ČSN 17 251 se známou odchylkou Y_{ret_{et}} = 0,644 mm v hloubce h_{et}, známým, předem stanoveným, parametrem Kaw_{j_{et}} = 35,77 μm podle verze provedení A, nebo při dodavatelsky nebo laboratorně ověřeném modulu pružnosti v tahu Emat_{et} nebo V_{LUZ_{et}} určíme Kaw_{j_{et}} podle upraveného vztahu (7) jako Kaw_{j_{et}} = 10¹²/Emat_{et}² [μm] nebo podle vztahu (10) jako Kaw_{j_{et}} = (10⁴ / V_{LUZ_{et}})⁶, [μm],
- d) dosadíme do vztahu (6) a vypočteme Emat_x [MPa] neznámého materiálu,
- e) dosadíme do vztahu (7) a vypočteme Kaw_{j_x} neznámého materiálu a dosadíme jako vstupní údaj pro spuštění algoritmu,
- f) dosadíme s výhodou do vztahu (8) a vypočteme jako kontrolní údaj hodnotu drsnosti Ra_x [μm] v hloubce h_{et} na zkušebním řezu neznámého materiálu,
- f) dosadíme s výhodou do vztahu (3) a provedeme kontrolu Kaw_{j_x} neznámého materiálu.

h_{et} = 8 mm,

$$\text{Emat}_x = (10^{24} \cdot Y_{\text{ret}_x} / (Y_{\text{ret}_{\text{et}}} \cdot \text{Kaw}_{j_{\text{et}}}^2))^{0,25}, [\text{MPa}] \quad (6)$$

$$\text{Kaw}_{j_x} = 10^{12} / \text{Emat}_x^2, [\mu\text{m}] \quad (7)$$

$$\text{Ra}_x = Y_{\text{ret}_x} \cdot \text{Kaw}_{j_x} / h_{\text{et}}, [\mu\text{m}] \quad (8)$$

$$\text{Kaw}_{j_x} = \text{Ra}_x \cdot h_{\text{et}} / Y_{\text{ret}_x}, [\mu\text{m}] \quad (3)$$

Výhoda provedení vynálezu podle verze B spočívá v tom, že odpadá nutnost přímého měření drsnosti Ra_x v hloubce řezu h_{et}, protože tato operace se nahrazuje srovnávacím etalonovým výpočtem. Potřeba znalosti modulu pružnosti v tahu Emat_{et} [MPa] nebo pevnosti SIG_{met} [MPa] materiálu a dalších etalonových hodnot Ra_{et}, resp. Y_{ret_{et}} pro h_{et} platí pouze pro jeden, tj. pro etalonový materiál, který lze stanovit jen jednou a pak už stále používat k porovnání s jinými technickými dělenými materiály.

Veškeré vztahy, které jsou používány ve způsobech A, B pro stanovení Kaw_j, lze s výhodou pro jednotlivé způsoby zadat jako počáteční vztahy do nového algoritmu, podle předmětu vynálezu, který na základě vstupních zadaných naměřených nebo známých hodnot vypočítá Kaw_j, popřípadě také (Emat, V_{LUZ}) a následně tak všechny další technologické parametry.

Pro realizaci vynálezu, co se týká nezbytného zařízení, vystačíme ve verzi provedení A a B s mikrometrickým pravítkem s přesností měření délek +/- 0,05 [mm], přičemž ve verzi provedení

A je navíc nutno měřit lokální drsnost Ra_x s přesností $\pm 0,05$ [μm], nebo toto měření taktéž zajistit dodavatelsky. Výpočetní techniku představuje počítač s naprogramovaným algoritmem, nebo programovatelný technologický kalkulátor.

- 5 Řešení dle předmětu vynálezu tak zahrnuje jednoduché měřické postupy podle verzí A, B na stanovení parametru Kaw_j materiálů, jednoduchý a rychlý výpočet technologických parametrů jednotně platný pro obě verze A, B z jednoho parametru Kaw_j , automatické obdržení všech potřebných výsledků pro nastavení optimálního technologického režimu dělení libovolného materiálu z jednoho parametru Kaw_j podle algoritmu, obecnou platnost měřických postupů a algoritmu pro všechny technické materiály, subjektivní rozhodování ve fázi projektování prací nahrazuje komplexně exaktním řešením, technologicky vyhovující přesnost řešení, možnost zpětných kontrol správnosti nastavení technologie graficky, analyticky, fyzicky na vzorcích. Řešení dále umožňuje standardizaci technologických postupů/režimů podle Kaw_j a tříd Tcut, fyzikálně-matematické modelování technologického procesu, predikci kvantitativních i kvalitativních parametrů technologického procesu, použití řešení a uplatnění výsledků nejen v praxi, ale i v základním a aplikovaném výzkumu, komplexní analytický popis mechanismu dezintegrace hydroabrazivním nástrojem, odvození rovnic pro řídicí funkce pro plně automatizované on-line řízení provozů, získání řady technicky důležitých informací o mechanických vlastnostech dělených materiálů, které doplňují nebo nahrazují velmi drahá a zdlouhavá dodatečná laboratorní měření, nový způsob výpočtu dynamiky napěťově-deformačních stavů soustav deformační nástroj-materiál, který je navíc zobecnitelný a aplikovatelný v řadě dalších technologiích průmyslu.

Objasnění výkresů

- 25 Obr. 1 Schéma pro verzi A provedení vynálezu.

X – vybraný měřický bod na řezné stopě
 h_x – hloubka měřického bodu X (na řezu)
 30 [mm],
 h_{vz} – tloušťka vzorku
 [mm],
 Y_{ret_x} – odchylka řezné stopy od normálové roviny v bodě X
 [mm],
 35 $arcD_x$ – úhel deviace řezné stopy v bodě X
 [deg],
 Ra_x – drsnost v bodě X
 [μm].

- 40 Obr. 2 Schéma pro verzi B provedení vynálezu.

$E_{mat} = E_{mat_{et}}$ – modul pružnosti v tahu etalonového materiálu
 [mm],
 h_o – hloubka neutrální roviny
 45 [mm],
 h_{et} – hloubka etalonové roviny
 [mm],
 h_{vz} – celková dělená hloubka, resp. výška vzorku
 [mm],
 50 $Y_{ret_{et}}$ – odchylka řezné stopy od normálové roviny etalonového materiálu
 [mm],
 Y_{ret_a} – odchylka řezné stopy od normálové roviny neznámého testovaného materiálu (a)
 [mm],
 Y_{ret_b} – odchylka řezné stopy od normálové roviny neznámého testovaného materiálu (b)
 55 [mm].

Obr. 4 Princip hydroabrazivního dělení materiálů a nomenklaturní označení základních technologických a geometrických prvků AWJ.

- 1 – horní hrana vzorku,
 2 – řezná stěna,
 3 – osa souměrnosti AWJ,
 4 – vstupní průměr proudu AWJ na hlavě řezu,
 5 – tvar řezné štěrby na hlavě řezu,
 6 – řezná fronta, stopa řezné fronty,
 7 – spodní hrana vzorku,
 8 – tvar řezné štěrby na patě řezu,
 9 – křivky vnějších proudnic v rovině řezu,
 10 – výstupní průměr proud AWJ na patě řezu,
 11 – průměr proudu AWJ po opuštění spodní hrany vzorku,
 12 – výstupní tryska AWJ,
 Vp – směr posuvu,
 hc – kritická hloubka řezu,
 hv – hloubka prořezání vzorku (výška vzorku).

Obr. 5 Schéma klasifikačního řazení technických materiálů do tříd hydroabrazivní dělitelnosti Tcut [–] na základě hodnot kalkulovaných podle předmětu vynálezu jako funkce materiálové konstanty $T_{cut} = f(K_{awj})$.

Obr. 6 Technologické parametry hydroabrazivní soupravy při ověřovací provozní zkoušce.

Obr. 7 Tabulka ukazující skladbu numerických výsledků technologie na displeji kalkulátoru pro materiály oceli ČSN 17251, ČSN 13180 a nekovovou slitinu SnPb40 (základní provedení algoritmu 1: 110 sloupců diskř. numerických údajů a 90 grafů).

Obr. 8 Tabulka ukazující skladbu numerických výsledků technologie na displeji kalkulátoru pro materiály ocel ČSN 11140, měď Cu 99,5 a pro ocel ČSN 17618 (základní provedení algoritmu 1: 110 sloupců diskř. numerických údajů a 90 grafů).

Obr. 9 Druhy a distribuce drsnosti na hloubce řezu – predikované průběhy v závislosti na okamžité hloubce řezu $H_{abs} = 0 - H_{lim}$ [mm] při technologii dané algoritmem 1 podle návrhu předmětu vynálezu pro materiál ocel ČSN 17251; analogicky obdržíme graf pro ostatní materiály podle vstupního parametru jejich hydroabrazivní dělitelnosti.

Ra_{st} – drsnost ve stopě [μm],

Ra_{sk} – drsnost, kterou skutečně naměříme v radiálním směru [μm],

Ra_{rad} – teoretická nosná drsnost v radiálním směru [μm],

Ra_o – drsnost na neutrální rovině [μm],

$Z1+Z2+Z3+Z4$ – hlavní deformační zóny na hloubce řezu a jejich hloubkové úrovně:

H_{in} – hloubka iniciační zóny Z1 [mm],

H_o – hloubka zóny pružných deformací Z2 [mm],

H_{pp} – hloubka zóny pružně–plastických deformací Z3 [mm],

H_{lim} – hloubka zóny plastických deformací Z4 a limitní hloubka řezu v daném materiálu a při dané technologii určené algoritmem 1 [mm].

Obr. 10 Predikce prostorových vztahů sledovaných průběhových parametrů h , $Ra = Ra_{st}$ a Y_{ret} podle okamžité hloubky $h = 0 - H_{lim} = 35,77$ mm, na hloubce $h_x = h_{et} = 8$ mm a na hlavních deformačních mezích pro materiál ocel ČSN 17251.

- Obr. 11 Predikční vytyčení hloubkových úrovní hlavních deformačních mezí s vyjádřením nosné vlnitosti a retardace stop řezů v 3D projekci na hloubce řezu $h = 0 - H_{lim}$ [mm] podle rovnic algoritmu, materiál ocel ČSN 17251.
- 5 Obr. 12 Predikční vytyčení hloubkových úrovní hlavních deformačních mezí, vyjádřené nosné vlnitosti a retardace stop řezů v 3D vizualizaci na celkově dosažitelné hloubce řezu $h = 0 - H_{lim}$ [mm] podle rovnic algoritmu, materiál ocel ČSN 17251.
- 10 Obr. 13 Predikční vytyčení hloubkových úrovní hlavních deformačních mezí s možností kvantifikovaného odečtu vývoje hodnot sledovaných technických a technologických parametrů na celé hloubce řezu $h = 0 - H_{lim}$ [mm].
Hloubkové úrovně hlavních deformačních mezí korespondují s 3-D vizualizací pro materiál ČSN 17251 s tím, že grafy ve stejném provedení obdržíme i pro další materiály na displeji technologického kalkulátoru, případně na displeji PC výpočtem podle algoritmu.
15 Toto grafické provedení umožňuje kontrolu vstupních testovaných údajů $Kawj$ a $Emat = f(Kawj)$ dosazením hodnot Ra , Y_{ret} a h z grafu do rovnic (3) a (4). Graf je z hlediska mechanismu dělení poměrně komplexní, protože zahrnuje vedle deformačních parametrů také parametry materiálové dané algoritmem jako funkce $Kawj$. Jde o materiálové parametry pevnost v tahu SIG_m [MPa] a mezi kluzu SIG_{kl} [MPa], dále jsou vyjádřeny průběhy rychlostí dělení ve stopě řezu V_{pst} [mm/min] v radiální rovině V_{pr} [mm/min] a technologicky optimální rychlost posuvu řezné hlavy V_{popt} [mm/min]. Vyjádřen je také úhel zakřivení řezné stopy $arcD$ [°]. Odpor materiálu proti dělení vyjadřují průběhy funkcí SIG_{rt} [MPa], který klesá s přibývajícím hloubkou v plastické oblasti dělicího řezu na hodnotu své deformační větve SIG_{rd} [MPa]. Napětíová funkce SIG_{dh} [MPa] představuje složku odporu proti prohlubování a napětíové funkce SIG_{dt} a $SIG_{d} = T_n$ [MPa] představují vývoj mechanické tuhosti dezintegračního nástroje teoreticky tuhého, resp. flexibilního typu AWJ.
- 20
- 25
- 30 Obr. 14 Predikční vytyčení hloubkových úrovní hlavních deformačních mezí s možností kvantifikovaného odečtu vývoje hodnot sledovaných technických a technologických parametrů na celé hloubce řezu $h = 0 - H_{lim}$ [mm] – jde o detail z předchozího grafu v úseku $y = 0,001 - 2$ pro funkce s nízkou hodnotovou hladinou. Je kvantifikovaně vyjádřena energie E_{kabr} [J], výkon P_{abr} [W] abrazivních sil, hmotnostní průtok abraziva M_{abr} [kg/s] a deformační čas T_{cut} [s] se svými hodnotami dosahovanými na hloubkové úrovni neutrální roviny $h_0 = 9,67$ mm i na dalších deformačních mezích pro prezentovaný materiál ocel ČSN 17251.
- 35
- Obr. 15 Graf pro optimální volbu hmotnostního toku abraziva. Optimální volba hmotnostního toku abraziva $M_{bro} = M_{bropt} = 7,6$ [g/s] (tj. 27,36 kg/h), pro testované materiály viz. také obr. 7 a obr. 8 a vyjádření teoretické potřeby velikosti aktivně působící frakce hmotnostního toku $M_{avph} = f_{ce}(V_{post}, Emat, Habs)$ [g/s] na jednotlivých deformačních mezích a podle okamžité hloubky řezu obecně $h = 0 - H_{lim} = 35,77$ mm.
- 40
- Obr. 16 Graf pro limitní hloubku H_{lim} [mm] v závislosti na modulu $Emat$ a rychlosti posuvu V_{popt} . Limitní hloubky řezu H_{lim} [mm] v závislosti na $Emat$ [MPa] při dodržení optimální posuvné rychlosti V_{popt} [mm/min] pro daný materiál dle předmětu vynálezu. Vytyčené diskrétní hodnoty jsou pro prezentovaný materiál ocel ČSN 17251 s modulem pružnosti v tahu $Emat = 167200$ [MPa].
- 45
- 50 Obr. 17 Hlavní složky mechanismu abraze na hloubce řezu $h = 0 - H_{lim}$ [mm] a jejich teoretický rozklad na složky podle algoritmu odpovídající flexibilnímu (abrazivní napětí $SIG_{abrflex}$ [MPa] a abrazivní síla $F_{abrflex}$ [N]), resp. teoreticky tuhému dezintegračnímu nástroji (abrazivní napětí SIG_{abrt} [MPa] a abrazivní síla F_{abrt} [N]).

- Obr. 18 Stanovení ukazatele nákladovosti K_{ankl} [–] pro různé materiály podle modulu pružnosti v tahu děleného materiálu E_{mat} [MPa].
- 5 Obr. 19 Graf bilance náklady/výkon a odpovídající optimální rychlosti posuvu řezné hlavy V_{pxopt} [mm/min] pro testované materiály podle modulů pružnosti $E_{mat} = 41,1 - 256,5$ [GPa].
- Obr. 20 Cenové relace podle nákladů na energii.
- 10 Obr. 21 Predikce nákladových relací na dělení z hlediska energetické náročnosti podle modulu pružnosti v tahu E_{mat} [MPa] materiálů při kalkulované ceně 3,50 [Kč/kWh] do hloubky neutrální roviny h_0 [mm] pro daný materiál v jednotkách [Kč/bm] ad a), resp. [Kč/hod] ad b).
Půjde-li v provozní praxi o dělení do větších hloubek $h > h_0$ [mm], potom náklady na energii a tím i požadované ceny za výkon budou narůstat.
- 15 Obr. 22 Specifikace vstupních parametrů do algoritmu z kategorie technologicky nebo teoreticky daných, přičemž konstantu hydroabrazivní dělitelnosti považujeme za hlavní vstupní parametr hledaný.
- 20 Obr. 23 Zařazení testovaných materiálů v rámci příkladu provedení do tříd hydroabrazivní dělitelnosti.
- Obr. 24 Srovnávací tabulka ve stanovení hodnoty K_{awj} podle způsobů A, B.
- 25 Obr. 25 Tabulka diferencí v naměřených hodnotách K_{awj} k průměrům dle obr. 24.
- Obr. 26 Graf kalibrační závislosti $K_{awj} = f_{ce}(E_{mat})$ podle vztahu (7) v algoritmu.
- 30 Obr. 27 Návrh technologických parametrů pro testované materiály 1–6 stanoven algoritmem podle dělitelnosti K_{awj} v logaritmických souřadnicích, kde stanovené hodnoty technologického režimu korespondují s údaji na obr. 8 až 13. Zde označení materiálů (na x–ové souřadnici): 1–ocel ČSN 17251; 2– ocel ČSN 13180; 3– slitina SnPb40; 4– ocel ČSN 11140; 5– Cu 99,5; 6– ocel 17 618. Optimalizované parametry vypočtené na základě $K_{awj}(A)$ dosazením do algoritmu v logaritmických souřadnicích s vykreslením diferencí 10 % v K_{awj} (přerušované linie).
- 35 Obr. 28 Topografické parametry v hloubce řezu $h = 8$ mm pro testované materiály 1 – 6 vypočtené podle algoritmu na základě vstupní hodnoty K_{awj} (A) v logaritmických souřadnicích s vykreslením diferencí 10 % v K_{awj} (přerušované linie) a kontrolních hodnot pro dosazení do kontrolního výpočtu podle (3) $K_{awj}(kontr) = R_a(kontr) \cdot h(kontr) / Y_{ret}(kontr.)$.
- 40 Obr. 29 Vyhodnocení vlivu diferencí v parametru K_{awj} na hlavní technologické parametry a na drsnost.
- 45

Příklady uskutečnění vynálezu

50 Příprava měření byla pro všechny materiály a verze provedení stejná. K nařezání zkušebních vzorků o délce 30 mm byla použita tyčovina délky 1000 mm čtvercového profilu 30 x 30 mm. Tyčovina byla dělena standardně používanou hydroabrazivní technologií s parametry podle obr. 6 na délku vzorků 30 mm.

55 Měření deformačních parametrů R_{ax} , h_x a Y_{ret_x} na dělicích plochách zkušebních vzorků bylo provedeno podle schématu na obr. 1 s krokem topografického profilování na hloubce řezu $kh = 1$

mm. Dle verze A byl stanoven koeficient hydroabrazivní dělitelnosti Kawj všech 6-ti testovaných materiálů a dosazením Kawj příslušného materiálu do algoritmu 1 byly předem vypočteny optimalizované technologické parametry jejich hydroabrazivní dělení.

5 V rámci příkladu realizace byly testovány tyto materiály:

Materiál 1: ocel ČSN 17 251; Materiál 2: ocel ČSN 13180; Materiál 3: slitina SnPb40; Materiál 4: ocel ČSN 11140; Materiál 5: Cu 99,5; Materiál 6: ocel 17 618. Laboratorně ověřené hodnoty Emat a V_{LUZ} pro tyto materiály byly následující:

- 10 Materiál 1: ocel ČSN 17251 Emat = 168500 MPa; V_{LUZ} = 5543,27 m/s;
 Materiál 2: ocel ČSN 13180 Emat = 248700 MPa; V_{LUZ} = 63112,6 m/s;
 Materiál 3: slitina SnPb40 Emat = 41710 MPa; V_{LUZ} = 3461,5 m/s;
 Materiál 4: ocel ČSN 11140 Emat = 198700 MPa; V_{LUZ} = 6154 m/s;
 Materiál 5: Cu 99,5 Emat = 99400 MPa; V_{LUZ} = 4587,5 m/s;
 15 Materiál 6: ocel 17 618 Emat = 144900 MPa; V_{LUZ} = 5309,55 m/s.

Vstupní parametry do algoritmu 1 byly:

- 20 **Ckwhod** = 3,5, **lambd** = 0,7, **dazr** = 0,000188, **da** = 4*dazr, **hx** = 8, **Kdvdao** = 0,329, **Roabr** = 3,4, **Roa** = Roabr, **Rov** = 1, **Roj** = 1,3, **Rao** = 3,7, **Yreto** = 1.

25 Výstupy numerických hodnot z algoritmu pro materiály 1 – 6 vypočtené na základě Kawj jsou uvedeny v tabulkách na obr. 7 a na obr. 8. Vybrané příklady grafických výstupů průběhových hodnot podle rovnic v algoritmu, příkladem pro materiál 1 (ocel ČSN 17 251), jsou zde uváděny na obr. 9 až 19 a na obr. 21. Tento výběr grafických výstupů si může technolog, (resp. výzkumný pracovník) doplnit podle aktuální potřeby individuálně. Individuálně lze vykreslovat/modelovat nebo detailizovat a konfigurovat vzájemné vztahy různých funkcí podle vlastní volby, které v prezentované grafické části algoritmu provedeny nejsou.

30 Soubor numerických výstupů (viz. řádek 14 na obr. 7 a obr. 8) obsahuje také technologicky důležitou možnost zařazení testovaných materiálů do tříd hydroabrazivní dělitelnosti Tcut (–), viz. také obr. 5. Pro nejměkčí a relativně snadno dělitelný materiál 3 (slitina SnPb40) vychází třída Tout = 4,614. Pro nejpevnější a méně snadno dělitelný materiál 2 (ocel ČSN 13180) vychází třída Tout = 5,409. Zařazení testovaných materiálů 1 – 6 je v tabulce na obr. 23. Postup řazení technických materiálů pro potřebu hydroabrazivní technologie dělení/obrábění je na základě původního návrhu způsobu klasifikace popsán výše. Klasifikace technických materiálů do tříd hydroabrazivní dělitelnosti Tcut má výhodu, že pro zvolené reprezentanty jednotlivých tříd lze zpracovat standardní režimy hlavních technologických parametrů pro jednotlivé třídy a jejich podtřídy. Pro standardizaci technologických režimů mohou sloužit i výsledky v tabulkách na obr. 7 a na obr. 8 získané v rámci příkladu realizace.

40 Graf na obr. 26 je vykreslení závislosti parametru Kawj na modulu pružnosti materiálu Emat pro testované materiály 1 – 6. Tato kalibrační závislost Kawj = f(Emat) umožňuje v praxi orientační odečet a rychlou kontrolu.

45 Pro vykreslení a zdůraznění rozdílů v technologiích podle dělitelnosti testovaných materiálů 1 – 6 je algoritmem zkonstruován samostatný graf na obr. 27 vybraných technologických parametrů v závislosti na parametru Kawj jednotlivých materiálů. Podobně je na obr. 28 zkonstruován graf pro topografické parametry povrchu ve srovnávací hloubce $h = 8$ mm. Zde je taktéž vyznačen způsob kontroly na stanovení parametru Kawj z grafických hodnot podle vztahu (3), kde Kawj(kontr) = Ra(kontr)*h(kontr)/Yret(kontr) (μm) (analogie k verzi A přímých měření na zkušebním řezu).

Ilustrativně a pro přehlednost jsou pro konstrukci grafu na obr. 27 vybrány pouze ty technologické parametry, které jsou pro rozhodování a pro první názor technologa podstatné. Jsou to zejména tyto výpočtem optimalizované parametry pro volbu technologického režimu:

posuvná rychlost V_{popt} (mm/min),

5 tlak vody před tryskou P_v [MPa],

hmotnostní tok abraziva m_a [g/min],

limitní/maximální dořezaná hloubka H_{lim} [mm],

hodinová spotřeba elektrické energie pro dělení N_{kwhod} [kWhod],

aktuální náklady na elektrickou energii pro dělení C_{kwhod} [Kč/h].

10

Tyto parametry technologie jsou podle příslušných rovnic algoritmem vykresleny průběhově, jako přímé funkce k parametru dělitelnosti K_{awj} (x-ová souřadnice). Potom hodnoty technologických parametrů příslušné konkrétnímu materiálu odečteme na y-ové souřadnici průsečíků se svislými řezy 1 až 6 grafem podle K_{awj} konkrétního materiálu. V rámci příkladu realizace jsou

15

a) Provedení experimentů podle verzí A, B a výsledné hodnoty parametru K_{awj} ;

b) Vyhodnocení výsledných hodnot a zjištěných diferencí v parametru K_{awj} ;

20

c) Vyhodnocení vlivu diferencí v parametru K_{awj} na hlavní technologické parametry;
a na drsnost;

d) Celkové zhodnocení příkladu realizace.

25

Ad a) Provedení experimentů podle verzí A, B a výsledné hodnoty parametru K_{awj}

Podle verze provedení vynálezu A (viz. schéma na obr. 1) byl vyčíslen hlavní vstupní parametr do algoritmu, tj. konstanta hydroabrazivní dělitelnosti uvedených materiálů K_{awj} tak, že naměřené hodnoty drsnosti R_{ax} a odchylka řezné stopy Y_{ret_x} ve zvolené hloubce zkušebních řezů/vzorků $h_x = 8$ mm byly dosazeny do rovnice (3). Potom hodnoty K_{awj} a také teoretické ekvivalenty pro E_{mat} , resp. pro V_{LUZ} s výhodou doplňkově vyčíslené podle vztahu (4), resp. (14), které jsou také součástí soustavy rovnic algoritmu, byly pro jednotlivé materiály následovné:

30

35

pro ocel ČSN 17251: $h_x = 8$ mm; $R_{ax} = 2,88$ μ m; $Y_{ret_x} = 0,644$ mm;

potom: $K_{awj} = 35,77$ μ m; $E_{mat} = 167200$ MPa; $V_{LUZ} = 5461,82$ m/s;

pro ocel ČSN 13180: $h_x = 8$ mm; $R_{ax} = 11,089$ mm; $Y_{ret_x} = 5,835$ mm;

potom: $K_{awj} = 15,203$ μ m; $E_{mat} = 256466$ MPa; $V_{LUZ} = 6298,06$ m/s;

pro slitinu SnPb40: $h_x = 8$ mm; $R_{ax} = 0,146$ μ m; $Y_{ret_x} = 0,002$ mm;

40

potom: $K_{awj} = 591,672$ μ m; $E_{mat} = 41110$ MPa; $V_{LUZ} = 3423,9$ m/s;

pro ocel ČSN 11140: $h_x = 8$ mm, $R_{ax} = 6,04$ μ m, $Y_{ret_x} = 2,27$ mm

potom: $K_{awj} = 21,824$ μ m; $E_{mat} = 216753$ MPa; $V_{LUZ} = 5954,93$ m/s;

pro Cu 99,5: $h_x = 8$ mm, $R_{ax} = 0,838$ μ m, $Y_{ret_x} = 0,063$ mm

potom: $K_{awj} = 106,423$ μ m; $E_{mat} = 96935$ MPa; $V_{LUZ} = 4555,1$ m/s;

45

pro ocel 17 618: $h_x = 8$ mm, $R_{ax} = 2,1119$ μ m, $Y_{ret_x} = 0,3701$ mm

potom: $K_{awj} = 45,653$ μ m; $E_{mat} = 148010$ MPa; $V_{LUZ} = 5244,5$ m/s.

Podle verze provedení vynálezu B (viz. schéma na obr. 2), ve které se s výhodou vyhneme nutnosti příliš specializovaného měření parametru drsnosti R_a v etalonové hloubce řezu h_{et} , postupujeme v těchto krocích:

50

a) jako etalonový materiál se zvolí v tomto případě ocel ČSN 17 251 (materiál 1), a využitím laboratorně naměřeného modulu pružnosti v tahu $E_{mat} = 168500 \text{ MPa}$ se vypočítá optimální a v tomto případě i etalonovou posuvnou mm/min a dosazením laboratorní hodnoty E_{mat} do vztahu (7) se stanoví etalonová hodnota $Kaw_{j_{et}} = 35,221 \text{ } \mu\text{m}$;

b) vzorek o výšce 10 mm se prořeže vypočtenou etalonovou rychlostí $V_{popt_{et}}$ a ve zvolené etalonové hloubce, např. $h_{et} = 8 \text{ mm}$, se změří etalonová odchylka/retardace stopy řezu od radiální roviny v hodnotě $Y_{ret_{et}} = 0,651 \text{ mm}$ (kontrolním výpočtem se můžeme přesvědčit, že podle algoritmu vychází pro vstupní hodnotu $Kaw_{j_{et}} = 35,221 \text{ } \mu\text{m}$ v hloubce $h_x = h_{et} = 8 \text{ mm}$ odchylka stopy na $Y_{ret_x} = 0,668 \text{ mm}$);

c) při stejných technologických parametrech prořežeme vzorky o výšce 10 mm všech dalších 5 testovaných materiálů a v hloubce $h_{et} = 8 \text{ mm}$ změříme odchylky řezných stop Y_{ret_x} a tyto dosadíme do vztahů (6) a (7), vypočteme tak E_{mat_x} a Kaw_{j_x} a doplňkově/kontrolně také V_{LUZ_x} ze vztahu (13) pro tyto neznámé materiály a s výhodou obdržíme následující testovací hodnoty:

pro ocel ČSN 13180 (materiál 2):

$Y_{ret_x} = 3,09 \text{ mm}$; $E_{mat_x} = 248710 \text{ MPa}$; $Kaw_{j_x} = 16,166 \text{ } \mu\text{m}$; $V_{LUZ_x} = 6288,8 \text{ m/s}$;

pro slitinu SnPb40 (materiál 3):

$Y_{ret_x} = 0,0024 \text{ mm}$; $E_{mat_x} = 41520 \text{ MPa}$; $Kaw_{j_x} = 580,077 \text{ } \mu\text{m}$; $V_{LUZ_x} = 3462,7 \text{ m/s}$;

pro ocel ČSN 11140 (materiál 4):

$Y_{ret_x} = 1,723 \text{ mm}$; $E_{mat_x} = 214920 \text{ MPa}$; $Kaw_{j_x} = 21,65 \text{ } \mu\text{m}$; $V_{LUZ_x} = 5990 \text{ m/s}$;

pro měď Cu 99,5 (materiál 5):

$Y_{ret_x} = 0,079 \text{ mm}$; $E_{mat_x} = 99451 \text{ MPa}$; $Kaw_{j_x} = 101,106 \text{ } \mu\text{m}$; $V_{LUZ_x} = 4633,1 \text{ m/s}$;

pro ocel ČSN 17 618 (materiál 6):

$Y_{ret_x} = 0,36 \text{ mm}$; $E_{mat_x} = 145300 \text{ MPa}$; $Kaw_{j_x} = 47,363 \text{ } \mu\text{m}$; $V_{LUZ_x} = 5257,3 \text{ m/s}$.

Hodnoty Kaw_{j_x} pro jednotlivé materiály dosadíme do algoritmu.

Jako etanolový materiál může být zvolena např. ocel ČSN 17251 (materiál 1), kde konstanta dělitelnosti byla postupem podle verze A stanovena na hodnotu $Kaw_j = 35,77 \text{ } \mu\text{m}$, a tedy $E_{mat_{et}} = 167200 \text{ MPa}$, $Y_{ret_{et}} = 0,644 \text{ mm}$. Hodnoty se pak změny odpovídajícím způsobem, avšak stále jsou v požadovaném rozmezí možných chyb.

Ad b) Vyhodnocení výsledných hodnot a zjištěných diferencí v parametru Kaw_j

Výsledné hodnoty Kaw_j z experimentů provedených postupy podle verzí provedení vynálezu A, B jsou pro testované materiály 1 až 6 shrnuty v tabulce na obr. 24 včetně vyhodnocení procentuálních diferencí v hodnotě Kaw_j podle jednotlivých verzí. Největší difference podle verzí provedení byla zjištěna v postupu podle verze D, a to $-1,33 \text{ } \%$ k průměru. Difference podle verzí a materiálů jsou uvedeny v tabulce na obr. 25. Největší difference k průměru podle materiálů byla zjištěna v hodnotách Kaw_j pro nejpevnější ze souboru ocel ČSN 13180 (materiál 2) a to $3,739 \text{ } \%$ taktéž podle verze D.

Ad c) Vyhodnocení vlivu diferencí v parametru Kaw_j na hlavní technologické parametry a na drsnost

Pro kvalitní volbu/nastavení technologických parametrů podle mechanických vlastností a hydroabrazivní dělitelnosti toho kterého materiálu, což je hlavním cílem a smyslem postupů podle vynálezu, potřebujeme vědět, jak se případné vyskytnuté difference/chyby ve stanovení Kaw_j , které se nedají úplně vyloučit, projeví na konečných hodnotách parametrů technologie a na konečných hodnotách kvality povrchu dělicích stěn řezů. Komplexní vyhodnocení vlivu největší difference v parametru Kaw_j $3,739 \text{ } \%$ v oceli ČSN 13180 (materiál 2) na hlavní technologické parametry a na parametr drsnosti v radiálním směru R_{arad} v hloubce dělicí stěny $h = 8 \text{ mm}$ je vyčísleno v tabulce na obr. 29. Difference se projeví nejvíce v hodnotách pro limitní hloubku H_{lim}

v procentuálním vyjádření 2,101 % a dále pro spotřebu a náklady na el. energii –2,684 %, v drsnosti Rarad –1,034 %.

Ad d) Celkové zhodnocení příkladu realizace a výhod navrhovaného řešení

5

Prezentované výsledky v rámci příkladu realizace podle bodů a) až c) dokumentují dostatečnou přesnost, dle požadavků by fluktuace neměly přesahovat $\pm 10 \%$, a technickou využitelnost navrhovaného řešení na úrovni současných potřeb praxe a současný stav v technologii posunují na úroveň vyšší. Přitom opakujeme, že postupy stanovení vstupního parametru Kawj pro dosažení do algoritmu včetně závěrů z příkladu realizace jsou pro technické materiály obecně platné. Tenkostěnné polotovary, jako je kůže, papír, textil apd. lze testovat na Kawj s výhodou použitím metod A) a B) v zatížených vrstvách o tloušťce 10 až 20 cm.

10

Algoritmus technologie hydroabrazivního dělení:

15

Kawj=vstupní údaj zjištěný způsoby A nebo B

Emat= $10^6/1./Kawj.^{0.5}$,

Ckwhod= dle ceny

lmbd= dle abraziva

dazr= dle abraziva

da= $4.*dazr$, dle abraziva

hx= dle požadavků zákazníka

Kdvdao=0,329,

Roabr= dle abraziva;**Roa**=Roabr,

Rov=1,

Roj= dle abraziva

Rao=3.7,

Yreto=1,

Tcut= $\log_{10}(Emat)$,

```

Hlim =10.^12/1./Emat.^2
Kcut=10.^12/1./Emat.^2;Kplmat=10.^12/1./Emat.^2;Kawj=Kcut,
ho=Hlim/1./Rao,SIGm=1190.31.*20/1./Kcut,
h=0.01:0.1:Hlim;Hrel=h/1./Kplmat;Hekvp=h/1./Kplmat.*100;Hrelp=Hekvp;
Ra=(-10)*(1-Kplmat/1./Kplmat-h));Kpl=Ra.*h;figure;plot(h,Ra,h,Kpl);grid
Eretz=Emat.*(Kpl/1./Kcut).^0.5;Eret=Emat.*(Kcut/1./Kpl).^0.5;figure;plot(h,Eretz,h
,Eret,h,Emat);grid
VLUZ=(Emat.*10.^6).^0.5,
Yret=Kpl/1./Kplmat;tanD=Yret/1./h;tgD=tanD;EPSyretV=10.^3.*Yret/1./Emat;Indho=
log10(5.41)/1./log10(ho);figure;plot(h,Ra,h,Yret,h,h);grid;figure;plot(h,Ra,h,Kpl,h,Yret
,h,Rao,h,Kplmat,h,Yreto);grid
SIGrz=Eretz.^0.5.*20/1./Kplmat;SIGrzx=SIGrz.*cos(atan(tgD));SIGret=Eret.^0.5;SIGklo=Emat.^0.5,figure;plot(h,SIGrz,h,SIGrzx,h,SIGret,h,SIGklo);grid
SIGrzPlimEPSrz=1001;EPSrz=SIGrz/1./Emat;EPSret=SIGret/1./Emat;EPSklo=SIGklo/1./Emat;figure;plot(h,EPSrz,h,EPSret,h,EPSklo);grid;SIGrz=Eretz.^0.5.*20/1./Kplmat;SIGeretz=Eretz.^0.5;SIGeretzx=Eretz.^0.5.*cos(atan(tgD));SIGrzx=SIGrz.*cos(atan(tgD));SIGret=Eret.^0.5;SIGklo=Emat.^0.5;SIGrz=Eretz.^0.5.*20/1./Kplmat;SIGeretz=Eretz.^0.5;SIGeretzx=Eretz.^0.5.*cos(atan(tgD));SIGrzx=SIGrz.*cos(atan(tgD));SIGret=Eret.^0.5;x=Kplmat;Kxy=SIGm/1./x;Plim=Kxy.*h;Plim=SIGm/1./Kplmat.*h;figure;plot(h,SIGrz,h,SIGrzx,h,SIGret,h,SIGklo,h,Plim,h,SIGeretz,h,SIGeretzx,h,SIGm);grid

```

fceRasklog=1001;SIGpr=Eret/1./Emat;Rarado=Rao.*10.^3.*(Emat).^0.5/1./Emat;Rarad=Rao.*10.^3.*(Eretz).^0.5/1./Emat;Rasklog=(10.^(((log10(h)).^2+(log10(SIGpr)).^2).^0.5)+Rarad.^2).^0.5;Raskyo=10.^log10((log10(ho)).^2+(log10(1/1./Yreto)).^2+Rarado.^2).^0.5;Rasky=10.^log10((log10(h)).^2+(log10(1/1./Yret)).^2+Rarad.^2).^0.5;Rarado=Rao.*10.^3.*(Emat).^0.5/1./Emat;Rarad=Rao.*10.^3.*(Eretz).^0.5/1./Emat;Rasklog=(10.^(((log10(h)).^2+(log10(SIGpr)).^2).^0.5)+Rarad.^2).^0.5;Rarado=(Rao.*10.^3.*(Emat).^0.5/1./Emat);Rasklog=(10.^(((log10(h)).^2+(log10(Emat/1./Eret)).^2).^0.5)+Rarad.^2).^0.5;Rasklogo=(10.^(((log10(ho)).^2+(log10(Emat/1./Emat)).^2).^0.5)+Rarado.^2).^0.5;Rarad=(Rao.*10.^3.*(Eretz).^0.5/1./Emat);Raradye=3.7.*10.^3.*Yret.^0.25.*Emat.^-0.5;Rasklogye=(10.^(((log10(h)).^2+(log10(SIGpr)).^2).^0.5)+Raradye.^2).^0.5;Rasky=10.^log10((log10(h)).^2+(log10(1/1./Yret)).^2+Rarad.^2).^0.5;Raradye=3.7.*10.^3.*Yret.^0.25.*Emat.^-0.5;Raske=10.^log10((log10(h)).^2+(log10(Eret/1./Emat)).^2+(Rarad.^2).^0.5);Rasky=10.^log10((log10(h)).^2+(log10(1/1./Yret)).^2+Rarad.^2).^0.5;figure;plot(h,Ra,h,Rao,h,Rarad,h,Rarado,h,Rasky,h,Raskyo);grid;figure;plot(h,Raske,h,Rasky);grid;figure;plot(h,Rarad,h,Rasklog,h,Rasklogye,h,Raradye);grid
arcDo=atan(tan(Yreto/1./ho)).*180/1./3.14,arcD=atan(tan(Yret/1./h)).*180/1./3.14;figure;plot(h,arcDo,h,arcD,h,Yreto,h,Yret,h,Rao,h,h,Ra,h,Rarad,h,Rarado,h,Rasky,h,Raskyo);grid
Vpopt=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./Emat.^0.5,Vpostopt=Vpopt;Vcutrast=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./SIGrz;x=Kplmat;Kxy=SIGm/1./x;Plim=Kxy.*h/1./Rarado;SIGrasky=10.^-3.*Rasky.*Emat/1./Rao;Vcutrasky=(10.^-3.*Raskyo).^0.5.*10.^6/1./SIGrasky;SIGrzrast=10.^-3.*Ra.*Emat/1./Rao;SIGrzrarad=10.^-3.*Rarad.*Emat/1./Rao;SIGrzrasklog=10.^-3.*Rasklog.*Emat/1./Rao;SIGrzrasklogo=10.^-3.*Rasklogo.*Emat/1./Rao;Vpregulrast=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./SIGrzrast;Vpregulsigrast=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./SIGrz;Vpregulararad=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./SIGrzrarad;Vpregulrasklog=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./SIGrzrasklog;figure;plot(h,Vpopt,h,Vcutrast,h,Vcutrasky);grid;figure;plot(h,Vpregulararad,h,Vpregulrasklog,h,Vpopt,h,Vpregulrast);grid
Pvpopt=lmbd.^-1.*Rov/1./Roabr.*(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./Vpopt,Pvpcut=lmbd.^-1.*Rov/1./Roabr.*(10.^-

```

3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./Vcutrast;Pvpcutx=Pvpcut.*cos(atan(tgD));figure;plot(h,Pvpopt,
t,h,Pvpopt,h,Pvpopt,h,Popt,h,Vcutrast,h,Vcutrasky);grid
ROskd=0.5.*(Emat/1./0.55688/1./4000).^0.33333,
ROskW=(10.^6/1./((10.^12/1./Emat.^2)/1./16).^0.27,
Maho=lmbd.*Rao.^-1.*Kdvdao.*ROskW.*10.^-3.*Vpopt.*60.^-
1.*(Kcut/1./ho),Mahcut=lmbd.*Rao.^-1.*Kdvdao.*ROskW.*10.^-3.*Vcutrast.*60.^-
1.*(Kcut/1./ho);figure;plot(h,Maho,h,Mahcut);grid
Kdvda=2.*Rao.*10.^3.*60.*Maho/1./((lmbd.*ROskW.*Vpostopt.*Rarado),
Kplmat=Kcut;Kplmat=Hlim;Rax=(-10).*(1-Kplmat/1./((Kplmat-
hx))),Emi=0:10000:400000;Kmi=10.^12/1./Emi.^2;Vopti=(10.^-
3.*Rao).^0.5.*10.^6.*Emi.^-0.5;figure;plot(Emi,Kmi,Emi,Vopti);grid
Raradx=Rarado.*hx.*ho.^-1,
Yretx=Rax.*hx/1./Kcut,
arcDx=atan(tan(Yretx/1./hx)).*180/1./3.14
hp=Kcut/1./2
SIGm=1190.31.*20/1./Kcut,
Raskyx=10.^log10((log10(hx)).^2+(log10(1/1./Yretx)).^2+Raradx.^2).^0.5
Fcutsto=10.^-3.*Rao.*Emat/1./((Rao)
Fcutstx=10.^-3.*Rax.*Emat/1./((Rao)
SIGcutsko=10.^-3.*Raskyo.*Emat/1./((Raskyo)
SIGcutskx=10.^-3.*Raskyx.*Emat/1./((Raskyo)
Rap=(-10).*(1-Kplmat/1./((Kplmat-hp))
Raradp=Rarado.*hp.*ho.^-1,
Yretp=Rap*hp/1./Kcut,
arcDp=atan(tan(Yretp/1./1./hp)).*180/1./3.14,
Raskyp=10.^log10((log10(hp)).^2+(log10(1/1./Yretp)).^2+Raradp.^2).^0.5
Fcutstp=10.^-3.*Rap.*Emat/1./((Rao);
SIGcutskp=10.^-3.*Raskyp.*Emat/1./((Raskyo)
Scuto=Fcutsto/1./SIGcutsko
Scutp=Fcutstp/1./SIGcutskp
Kzro=0.001,dhmcmo=Kzro.*(10.^3.*Kcut.*(Rao/1./((Rao.*10.^3.*ho)+1)-
(Rao.*10.^3.*ho)/1./Rao);dho=dhmcmo;Udho=10.^-3.*Scuto.*dho
dhmcmp=Kzro.*(10.^3.*Kcut.*(Rap/1./((Rap.*10.^3.*hp)+1)-
(Rap.*10.^3.*hp)/1./Rap);dhp=dhmcmp;Udhp=10.^-3.*Scutp.*dhp

```

$$\text{Scutx} = \text{Fcutstx} / 1. / \text{SIGcutskx}$$

$$\text{dhmcmx} = \text{Kzro} \cdot (10.^3 \cdot \text{Kcut} \cdot (\text{Rax} / 1. / (\text{Rax} \cdot 10.^3 \cdot \text{hx}) + 1) - (\text{Rax} \cdot 10.^3 \cdot \text{hx}) / 1. / \text{Rax}); \text{dhx} = \text{dhmcmx}; \text{Udhx} = 10.^{-3} \cdot \text{Scutx} \cdot \text{dhx}$$

$$\text{Gudhod} = 10.^{-3} \cdot \text{Udho} \cdot \text{ROskd}$$

$$\text{Gudhpd} = 10.^{-3} \cdot \text{Udhp} \cdot \text{ROskd}$$

$$\text{Gudhxd} = 10.^{-3} \cdot \text{Udhx} \cdot \text{ROskd}$$

$$\text{Gudhow} = 10.^{-3} \cdot \text{Udho} \cdot \text{ROskW}$$

$$\text{dhmcmo} = \text{Kzro} \cdot (10.^3 \cdot \text{Kcut} \cdot (\text{Rao} / 1. / (\text{Rao} \cdot 10.^3 \cdot \text{ho}) + 1) - (\text{Rao} \cdot 10.^3 \cdot \text{ho}) / 1. / \text{Rao})$$

$$\text{dhmcmp} = \text{Kzro} \cdot (10.^3 \cdot \text{Kcut} \cdot (\text{Rap} / 1. / (\text{Rap} \cdot 10.^3 \cdot \text{hp}) + 1) - (\text{Rap} \cdot 10.^3 \cdot \text{hp}) / 1. / \text{Rap})$$

$$\text{dhmcmx} = \text{Kzro} \cdot (10.^3 \cdot \text{Kcut} \cdot (\text{Rax} / 1. / (\text{Rax} \cdot 10.^3 \cdot \text{hx}) + 1) - (\text{Rax} \cdot 10.^3 \cdot \text{hx}) / 1. / \text{Rax})$$

$$\text{Dzrrasto} = \text{dho}.^{-1}, \text{Dzrrastp} = \text{dhp}.^{-1}, \text{Dzrrastx} = \text{dhx}.^{-1}$$

$$\text{dhmcmraskh} = \text{Kzro} \cdot (10.^3 \cdot \text{Kcut} \cdot (\text{Rasky} / 1. / (\text{Rasky} \cdot 10.^3 \cdot \text{h}) + 1) - (\text{Rasky} \cdot 10.^3 \cdot \text{h}) / 1. / \text{Rasky}); \text{dskh} = \text{dhmcmraskh}; \text{Dzrraskh} = \text{dskh}.$$

1;figure;plot(h,Dzrrasto,h,Dzrrastp,h,Dzrrastx,h,Dzrraskh,(Kplmat-h),Dzrraskh);grid

$$\text{dhmcmradh} = \text{Kzro} \cdot (10.^3 \cdot \text{Kcut} \cdot (\text{Rarad} / 1. / (\text{Rarad} \cdot 10.^3 \cdot \text{h}) + 1) - (\text{Rarad} \cdot 10.^3 \cdot \text{h}) / 1. / \text{Rarad}); \text{dradh} = \text{dhmcmradh}; \text{Dzrradh} = \text{dradh}.$$

1;figure;plot(h,dhmcmo,h,dhmcmp,h,dhmcmx,h,dradh,(Kplmat-h),dradh);grid;figure;plot(h,Dzrrasto,h,Dzrrastp,h,Dzrrastx,h,Dzrradh,(Kplmat-h),Dzrradh);grid

$$\text{dhmcmrasth} = \text{Kzro} \cdot (10.^3 \cdot \text{Kcut} \cdot (\text{Ra} / 1. / (\text{Ra} \cdot 10.^3 \cdot \text{h}) + 1) - (\text{Ra} \cdot 10.^3 \cdot \text{h}) / 1. / \text{Ra}); \text{dsth} = \text{dhmcmrasth}; \text{Dzrrasth} = \text{dsth}.$$

1;figure;plot(h,dhmcmo,h,dhmcmp,h,dhmcmx,h,dsth);grid;figure;plot(h,Dzrrasto,h,Dzrrastp,h,Dzrrastx,h,Dzrrasth,(Kplmat-h),Dzrrasth);grid;figure;plot(h,Dzrrasto,h,Dzrrasth,(Kplmat-h),Dzrrasth,h,Dzrraskh,(Kplmat-h),Dzrraskh,h,Dzrradh,(Kplmat-h),Dzrradh);grid

$$\text{Gudhpdw} = 10.^{-3} \cdot \text{Udhp} \cdot \text{ROskW}$$

$$\text{Gudhxdw} = 10.^{-3} \cdot \text{Udhx} \cdot \text{ROskW}$$

$$\text{SIGyx} = \text{SIGm} - \text{SIGm} \cdot (\cos(\text{arcDx}))^2,$$

$$\text{SIGxx} = \text{SIGm} - \text{SIGm} \cdot (\sin(\text{arcDx}))^2$$

$$\text{SIGnx} = \text{SIGxx} - \text{SIGyx}$$

$$\text{Taux} = (\text{SIGxx} - \text{SIGyx}) / 1. / 2. \cdot \sin(2. \cdot \text{arcDx})$$

TauVx=(SIGxx-SIGyx)/1./2.*sin(2.*arcDx)
SIGyo=SIGm-SIGm.*(cos(arcDo)).^2
SIGxo=SIGm-SIGm.*(sin(arcDo)).^2
SIGno=SIGxo-SIGyo
Tauo=(SIGxo-SIGyo)/1./2.*sin(2.*arcDo)
TauVo=(SIGxo-SIGyo)/1./2.*sin(2.*arcDo)
SIGyp=SIGm-SIGm.*(cos(arcDp)).^2
SIGxp=SIGm-SIGm.*(sin(arcDp)).^2
SIGnp=SIGxp-SIGyp
Taup=(SIGxp-SIGyp)/1./2.*sin(2.*arcDp)
TauVp=(SIGxp-SIGyp)/1./2.*sin(2.*arcDp)
Tpopt=Hlim/1./(ho.*Vpostopt.*60.^-1)
Tphxopt=hx/1./(ho.*Vpostopt.*60.^-1)
Mavpopt=Rao.^-1.*Imbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*Vpostopt.*60.^-1.
 *(Kcut/1./ho),Mavpoptx=Mavpopt.*Tphxopt,Mio=0.5.*Emat.^0.5/1./SIGm
Mio=0.5.*((Emat.^0.5/1./SIGm).^2).^0.5;Astrobj=((1-
 2.*Mio)/1./(6.*Emat).*(SIGm+SIGm).^2).^0.5;Atstr=(1+Mio)/1./(3.*Emat).*(SI
 Gm.^2+SIGm.^2-
 SIGm.*SIGm);Acelstr=1.5.*(Astrobj+Atstr),SIGeret=Eret.^0.5;SIGyield=SIGeret;SI
 Gyieldo=Emat.^0.5,Mixao=0.5.*Emat.^0.5/1./SIGm;Mixa=0.5.*((Emat.*(Kplmat/1./(
 Ra.*h)).^0.5).^0.5/1./(1190.31.*20/1./(Ra.*h/1./Yret)));Mixa=0.5.*SIGeret/1./SIGm;
 Mixao=0.5.*SIGyieldo/1./SIGm;SIGmXao=SIGyieldo+SIGyieldo.*Mio/1./Mixa;SI
 GmXa=SIGeret+SIGeret.*Mio/1./Mixa;MiXa=0.5.*(1-
 SIGeret/1./SIGmXa);MiXao=0.5.*(1-
 SIGyieldo/1./SIGmXa),figure;plot(h,SIGmXa,h,SIGmXao,h,SIGm,h,SIGeret,h,SIGy
 ieldo);grid,figure;plot(h,Mixa,h,Mio,h,MiXa,h,MiXao);grid
Tphxopto=ho/1./(ho.*Vpostopt.*60.^-1),Tpopto=Tphxopto;Ncelstr=Acelstr/1./Tphxopto,figure;plot(h,Astrobj,h,Atstr,h,Acelstr);grid
Tphcut=h/1./(ho.*Vcutrast.*60.^-1);Ncelstrcut=Acelstr/1./Tphcut;figure;plot(h,Tphxopto,h,Tphcut,h,Ncelstr,h,Ncelstrcut,h,Acelstr);grid

Fcutst=10.^-3.*Ra.*Emat/1./(Rao);SIGcutsk=10.^-
 3.*Rasky.*Emat/1./(Raskyo);Scut=Fcutst/1./SIGcutsk;figure;plot(h,Fcutst,h,SIGcutsk
 ,h,Scut,h,Fcutsto,h,SIGcutsko,h,Scuto);grid
Kzro=0.001,dhmemcut=Kzro.*(10.^3.*Kcut.*(Ra/1./(Rao.*10.^3.*ho)+1)-
 (Rao.*10.^3.*ho)/1./Rao);dhcut=dhmemcut;Udhcut=10.^-
 3.*Scut.*dhcut;figure;plot(h,dhmemo,h,dhmemcut,h,Udho,h,Udhcut,h,Scut,h,Scuto);
 grid
Xdhmemo=ho/1./(10.^-3.*dhmemo),Xdhmcmx=hx/1./(10.^-
 3.*dhmcmx),Xdhmcut=h/1./(10.^-
 3.*dhmcut);figure;plot(h,Xdhmemo,h,Xdhmcut);grid
Nstrhod=10.^-3.*Ncelstr.*3600,Ncelstrcuthod=10.^-
 3.*Ncelstrcut.*3600;figure;plot(h,Nstrhod,h,Ncelstrcuthod);grid
Ccutxhod=Nstrhod.*Ckwhod,Cskcutxhod=Ncelstrcuthod.*Ckwhod;Cskcutxsm=Nce
 lstrcuthod.*Ckwhod.*7;Cskcutxrok=Ncelstrcuthod.*Ckwhod.*7.*280;
Vpostopt=Vpostopt,Lhxcuthod=10.^-3.*Vpostopt.*60,Lhxcutsm=10.^-
 3.*Vpostopt.*60.*7,Lhxcutrok=10.^-3.*Vpostopt.*60.*7.*280,
CcelLhj=10.*Ccutxhod/1./Lhxcuthod,CskcelLhj=10.*Cskcutxhod/1./Lhxcuthod;figu
 re;plot(h,CcelLhj,h,CskcelLhj);grid;figure;plot(h,Nstrhod,h,Ncelstrcuthod,h,Ccutxhod
 ,h,Cskcutxhod,h,Lhxcuthod,h,CcelLhj);grid
GudhoD=10.^-3.*Udho.*ROskd,GudhoW=10.^-
 3.*Udho.*ROskW,GudcuthoD=10.^-
 3.*Udhcut.*ROskd;Gudcuthod=GudcuthoD;GudcuthoW=10.^-
 3.*Udhcut.*ROskW;Gudcuthow=GudcuthoW;figure;plot(h,GudhoD,h,GudhoW,h,Gu
 dcuthoD,h,GudcuthoW);grid
GhxkgWhod=Xdhmcmx.*Gudhxw.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-
 3,GcutkgWhod=Xdhmcut.*GudcuthoW.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-3;
GhxkgDhod=Xdhmcmx.*Gudhxd.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-
 3,GcutkgDhod=Xdhmcut.*GudcuthoD.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-3;
GhxkgWsm=Xdhmcmx.*Gudhxw.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*10^-
 3,GcutkgWsm=GcutkgWhod.*7;
GhxkgDsm=Xdhmcmx.*Gudhxd.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*10^-
 3,GcutkgDsm=GudcuthoD.*7;
GhxkgWrok=Xdhmcmx.*Gudhxw.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*280.*10^-
 3,GcutkgWrok=GcutkgWsm.*280;GcuttunaWrok=GcutkgWsm.*280.*10.^-3;

GhokgDrok=Xdhmcmx.*Gudhxd.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*280.*10^-
 3,GcutkgDrok=GcutkgWsm.*280;GcuttunaDrok=GcutkgWsm.*280.*10.^-3;
GhokgWhod=Xdhmcmo.*Gudhow.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-
 3,GhcutkgWhod=Xdhmcmcut.*Gudcuthow.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-
 3;figure;plot(h,GhokgWhod,h,GhcutkgWhod);grid
GhokgDhod=Xdhmcmo.*Gudhod.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-
 3,GhcutkgDhod=Xdhmcmcut.*Gudcuthod.*Lhxcuthod.*10.^3.*10^-
 3;figure;plot(h,GhokgDhod,h,GhcutkgDhod);grid
GhokgWsm=Xdhmcmo.*Gudhow.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*10^-
 3,GhcutkgWsm=Xdhmcmcut.*Gudcuthow.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*10^-
 3;figure;plot(h,GhokgWsm,h,GhcutkgWsm);grid
GhokgDsm=Xdhmcmo.*Gudhod.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*10^-
 3,GhcutkgDsm=Xdhmcmcut.*Gudcuthod.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*10^-
 3;figure;plot(h,GhokgDsm,h,GhcutkgDsm);grid
GhokgWrok=Xdhmcmo.*Gudhow.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*280.*10^-
 3,GhotunaWrok=10.^-
 3.*GhokgWrok;GhcutkgWrok=Xdhmcmcut.*Gudcuthow.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*28
 0.*10^-3;figure;GhcuttunaWrok=10.^-
 3.*GhcutkgWrok;plot(h,GhokgWrok,h,GhcutkgWrok,h,GhotunaWrok,h,GhcuttunaW
 rok);grid
GhokgDrok=Xdhmcmo.*Gudhod.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*280.*10^-
 3,GhcutkgDrok=Xdhmcmcut.*Gudcuthod.*Lhxcuthod.*10.^3.*7.*280.*10^-
 3,GhotunaDrok=10.^-3.*GhokgDrok,GhcuttunaDrok=10.^-
 3.*GhcutkgDrok;figure;plot(h,GhokgDrok,h,GhcutkgDrok,h,GhotunaDrok,h,Ghcuttu
 naDrok);grid
Mavpoptk=lmbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*Vpostopt.*60.^-
 1.*(Kcut/1./ho);Mavpoptcut=lmbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*Vcutrast.*60.^-
 1.*(Kcut/1./h);figure;plot(h,Mavpoptk,h,Mavpoptcut);grid
Mavpophodk=Mavpoptk.*3600
Mavpophod=Mavpopt.*3600,KkomplNVr=0.01404.*2.718.^(-Emat/1./-
 38120.35969) + 0.27047.*2.718.^(-
 Emat/1./1.81394E90),KkomplNVr=(0.01404.*2.718.^(-Emat/1./-38120.35969) +
 0.27047.*2.718.^(-Emat/1./1.81394E90)).^-1,

Ccelxsm=10.*Nstrhod.*Ckwhod.*7,Ccelstrcutsm=10.*Ncelstrcuthod.*Ckwhod.*7;figure;plot(h,Ccelxsm,h,Ccelstrcutsm);grid
Ccelxrok=10.*Nstrhod.*Ckwhod.*7.*280,Ccelstrcutrok=10.*Ncelstrcuthod.*Ckwhod.*7.*280;figure;plot(h,Ccelxrok,h,Ccelstrcutrok);grid
Ccelxhod=10.*Nstrhod.*Ckwhod,Ccelstrcuthod=10.*Ncelstrcuthod.*Ckwhod;figure;plot(h,Ccelxhod,h,Ccelstrcuthod);grid
CcelhtunaDrok=10.^3.*Ccelxrok/1./GhcutkgDrok;CcelhotunaDrok=10.^3.*Ccelxrok/1./GhokgDrok,figure;plot(h,CcelhtunaDrok,h,CcelhotunaDrok);grid
CcelhtunaWrok=10.^3.*Ccelxrok/1./GhcutkgWrok;CcelhotunaWrok=10.^3.*Ccelxrok/1./GhokgWrok,figure;plot(h,CcelhtunaWrok,h,CcelhotunaWrok);grid,figure;plot(h,CcelhtunaWrok,h,CcelhotunaWrok,h,CcelhtunaDrok,h,CcelhotunaDrok);grid,figure;plot(CcelhtunaWrok,GhcutkgWrok.*10.^-3);grid
ROskdkontr=Gudhxd/1./(10.^-3.*Udhx)
RoskWkontr=Gudhxd/1./(10.^-3.*Udhx)
Vpostoptk=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./Emat.^0.5,UZkpl=(Emat.*10.^6).^0.3333,UZkpli=(Eret.*10.^6).^0.3333;figure;plot(h,UZkpl,h,UZkpli);grid
Pvpoptk=lmbd.^-1.*Rov/1./Roabr.*(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./Vpostopt,
Mavpoptk=Rao.^-1.*lmbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*Vpostopt.*60.^-1.*(Kcut/1./ho)
Kdvda=2.*Rao.*10.^3.*60.*Maho/1./(lmbd.*ROskW.*Vpostopt.*Rarado),
PRODUKTnanox=1001;CcuttunaWrok=Ccelxrok/1./GhcuttunaWrok;CcuttunaDrok=Ccelxrok/1./GhcuttunaDrok;figure;plot(CcuttunaWrok,GhcuttunaWrok,CcuttunaDrok,GhcuttunaDrok,CcuttunaDrok,h);grid
va=(2.*Pvpopt.*1000/1./Roj.*1000)^0.5,
Ckh=4.*Mavpopt/1./(3.14.*Roa.*1000.*va.*da.^2),
da=10.*4.*Mavpopt/1./(Ckh.*3.14.*Roa.*1000.*va).^0.5;damm=10.*10.^3.*(4.*Mavpopt/1./(Ckh.*3.14.*Roa.*1000.*va).^0.5),
dv=da.*Kdvda;dvm=dammm.*Kdvda,
fceVteorHteorVhlHhl=1001;Sp=1;HlimHL=Kcut;hv=0:1:Kcut;VpHL=((Ckh.*Sp.*3.14.*0.00025.*(2.*1300.*3000000.^3.*2.178.^(-5.*0.6.*1)).^0.5.*(1-0.5.^2)).*(8.*hv.*10.^-3.*(3000000.*7800.*0.5.^2.*2.178.^(-2.*0.6.*1)+600.*10.^6.*1300)).^(-1)).^0.67-0.0001;hteor=Rao.^-1.*Kplmat.*(((10.^-

3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./Vcutrast).^2/1./Emat).^2;figure;plot(hv,VpHL.*1000.*60);grid
d,figure;plot(hteor,Vcutrast);grid,figure;plot(hv,VpHL.*1000.*60,hteor,Vcutrast);grid
Ck_{hm}=0.74414.*(0.04133 + 1.93305.*2.718.^(-Emat/1./13119.96742) +
0.25291.*2.718.^(-Emat/1./322550.21047))
E=10000:10000:700000;**Ck_{he}**=0.74414.*(0.04133 + 1.93305.*2.718.^(-
E/1./13119.96742) + 0.25291.*2.718.^(-E/1./322550.21047));
dam_{me}=10.^3.*10.^4.*Mavpopt/1./(Ck_{he}.*3.14.*Roa.*1000.*va).^0.5;dvm_{me}=Kdv
dak.*dam_{me};figure;plot(E,Ck_{he},E,dam_{me},E,dvm_{me});grid
damm_h=10.^3.*10.^4.*Mavpoptcut/1./(Ck_h.*3.14.*Roa.*1000.*va).^0.5;dvm_{mh}=K
dvda.*damm_h;figure;plot(h,damm_h,h,dvm_{mh});grid
OK_{fceMacut}=1001;Mavpophinvxy=100.*(2.*Rao.^2.*lmbd.*Kdvda.*ROskW.*10.
^-3.*Vpostopt.*60.^-
1).*(ho/1./Kcut+h/1./Kcut)/1./cos(atan(tgD)).^1;Mavpophinvho=100.*(2.*Rao.^2.*l
mbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*Vpostopt.*60.^-
1).*(ho/1./Kcut+ho/1./Kcut);figure;plot(Mavpophinvxy,h,Mavpophinvho,h);grid
ROZBOR_{xABRAZE}=2222;SIG_{rz}o=Emat.^0.5;SIG_{abr}=SIG_{rz}x-
Pvp_{cut};SIG_{abro}=SIG_{rz}o-
Pvp_{optk},SIG_{abr}XY=SIG_{abr}/1./cos(atan(tgD)).^K_{plmat};Srah=Ra.*h.*10.^-
3;S_{rskh}=R_{sky}.*h.*10.^-
3;F_{abr}=SIG_{abr}.*Srah;F_{abrxy}=F_{abr}/1./cos(atan(tgD));F_{abr}XY=F_{abr}/1./cos(atan(tgD))
.^K_{plmat};SIG_{cutabrsk}=SIG_{cutsk}-Pvp_{cut};SIG_{cutabrsko}=SIG_{cutsko}-
Pvp_{optk},SIG_{abrskV}=(SIG_{cutabrsk}.^2+SIG_{abr}.^2).^0.5;SIG_{abrskVo}=(SIG_{cutabrsko}.^
2+SIG_{abro}.^2).^0.5,S_{rskh}=R_{sky}.*h.*10.^-3;S_{rskho}=R_{skyo}.*ho.*10.^-
3,F_{abrskV}=SIG_{abrskV}.*S_{rskh};F_{abrskVo}=SIG_{abrskVo}.*S_{rskho},F_{abrsk}=SIG_{abr}.*S<sub>r
askh</sub>;F_{abrsk}XY=F_{abrsk}/1./cos(atan(tgD)).^K_{plmat};F_{abrskx}=F_{abrsk}.*cos(atan(tgD));
Srah=10.^-3.*Ra.*h;Sraho=10.^-
3.*Rao.*ho,F_{abrV}=SIG_{abrskV}.*Srah;F_{abrskVo}=SIG_{abrskVo}.*S_{rskho},F_{abrVo}=SIG
abrskVo.*Sraho,R_{qhodsklogV}=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*((log(h).^2+log((h.*t
gD)).^-
1).^0.25).^2).^0.333;R_{qhodsklogxxxV}=R_{qhodsklogV}.*cos(atan(tgD)).^(3.*Indho.^-
1);SIG_{rzqhoxV}=10.^-
3.*Emat.*2.*R_{qhodsklogxxxV}/1./Rao;SIG_{rzqhoxVVV}=SIG_{rzqhoxV}.*(20/1./K_{plmat})
.^0.5;figure;plot(h,SIG_{abr},h,SIG_{abrskV},h,F_{abrskV},h,S_{rskh},h,SIG_{abr},h,F_{abrVo},h,Yre

t);grid,figure;plot(h,SIGabr,h,SIGabrXY,h,FabrskXY,h,Fabrskx,h,SIGrzqhoxVVV,h,
Sraskh,h,Sraskh/1./h);grid

PRODUKT nano=1001;CcuttunaWrok=Ccelxrok/1./GhcuttunaWrok;CcuttunaDrok=
Ccelxrok/1./GhcuttunaDrok;figure;plot(CcuttunaWrok,GhcuttunaWrok,CcuttunaDrok
,GhcuttunaDrok,CcuttunaDrok,h);grid

fceNOV AxSIGrzqhoxVB=1001;EPSyretV=10.^3.*Yret/1./Emat;Indho=log10(5.41)/
1./log10(ho);Yreto=1;Rarado=Rao.*10.^3.*(Emat).^0.5/1./Emat;Kcut=Kplmat;SIGm
=1190.31.*20/1./Kcut,SIGret=Eret.^0.5;Yret=Kpl/1./Kcut;tgD=tan(Yret/1./h);arcD=a
tan(tgD).*180/1./3.14;x=Kplmat;Kxy=SIGm/1./x;

Plim=Kxy.*h;EPSyretV=10.^3.*Yret/1./Emat;Indho=log10(5.41)/1./log10(ho);Rqhod
sklog=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*((log(h).^2+log((h.*tgD).^-
1).^0.25).^2).^0.333/1./cos(atan(tgD));RqhodsklogV=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.
*((log(h).^2+log((h.*tgD).^-

1).^0.25).^2).^0.333;RqhodsklogxxxV=RqhodsklogV.*cos(atan(tgD)).^(3.*Indho.^-
1);Rqhodsklogxxx=Rqhodsklog.*cos(atan(tgD)).^(3.*Indho.^-1);SIGrzqhoxV=10.^-
3.*Emat.*2.*RqhodsklogxxxV/1./Rao;SIGrzqhoxVV=10.^-

3.*Emat.*RqhodsklogxxxV/1./Rarado;EPSelrq=SIGrzqhoxV/1./Emat;SIGrzqEPSab
sH=1001;EPSelrq=SIGrzqhoxV/1./Emat;Khel=ho/1./0.006;Kekvhpel=27/1./0.006;K
yretel=Yreto/1./0.006;RqhodsklogVB=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*((log(h).^2+lo
g((h.*tgD).^-

1).^0.25).^2).^0.5;RqhodsklogxxxVB=RqhodsklogVB.*cos(atan(tgD)).^(3.*Indho.^-
1);SIGrzqhoxVB=10.^-

3.*Emat.*2.*RqhodsklogxxxVB/1./Raskyo;Kekvhel=27/1./0.006;figure;plot(EPSyret
V,SIGrzqhoxVB,EPSyretV,SIGrzqhoxV);grid,figure;plot(h,SIGrzqhoxVB,h,SIGrzqh
oxV);grid

komplMOHR xrozkladHabsHrelp=1001;SIGind=SIGm;SIGy=SIGind-
SIGind.*(cos(atan(tgD))).^2;SIGx=SIGind-SIGind.*(sin(atan(tgD))).^2;SIGn=SIGx-
SIGy;Tau=(SIGx-SIGy)/1./2.*sin(2.*atan(tgD).*180/1./3.14);TauV=(SIGx-
SIGy)/1./2.*sin(2.*arcD);Yretn=Yret.*cos(atan(tgD));arcD=atan(tgD).*180/1./3.14;S
IGy=SIGind-SIGind.*(cos(atan(tgD))).^2;SIGx=SIGind-
SIGind.*(sin(atan(tgD))).^2;SIGn=SIGind.*(cos(atan(tgD))).^2+SIGind.*(sin(atan(tg
D))).^2;SIGn=SIGx-SIGy;Yretn=Yret.*cos(atan(tgD));Tau=(SIGx-
SIGy)/1./2.*sin(2.*atan(tgD).*180/1./3.14);TauV=(SIGx-
SIGy)/1./2.*sin(2.*arcD);arcD=atan(tgD).*180/1./3.14;arcDr=atan(tgD);SIGy=SIGin

$d-SIGind \cdot (\cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D)))^2$; $SIGx = SIGind -$
 $SIGind \cdot (\sin(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D)))^2$; $SIGN = SIGind \cdot (\cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D)))^2 + SIGind \cdot (\sin(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D)))^2$; $SIGN = SIGx -$
 $SIGy$; $Yretn = Yret \cdot \cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D))$; $EPSelrzq = SIGrzqhoxV / 1 ./ Emat$; $Khel = ho / 1 ./ 0.006$;
 $Kekvhpel = 27 / 1 ./ 0.006$; $Kyretel = Yreto / 1 ./ 0.006$; **figure**; **plot**($EPSelrzq \cdot Kekvhpel$, $SIGrzqhoxVB$, $Hrelp$, $SIGy$, $Hrelp$, $SIGx$, $Hrelp$, $SIGN$, $Hrelp$, h , $Hrelp$, Tau , $Hrelp$, $TauV$, $Hrelp$, $arcD$, $Hrelp$, $Yret$, $Hrelp$, $SIGrzqhoxVB$); **grid**; **figure**; **plot**($EPSelrzq \cdot Khel$, $SIGrzqhoxVB$, h , $SIGy$, h , $SIGx$, h , $SIGN$, h , h , Tau , h , $TauV$, h , $arcD$, h , $Yret$, h , $SIGrzqhoxVB$); **grid**
komplMOHRxrozkladEPSyretV = 1001; **figure**; **plot**($EPSelrzq$, $SIGrzqhoxVB$, $EPSyretV$, $SIGy$, $EPSyretV$, $SIGx$, $EPSyretV$, $SIGN$, $EPSyretV$, h , $EPSyretV$, Tau , $EPSyretV$, $TauV$, $EPSyretV$, $arcD$, $EPSyretV$, $Yret$, $EPSyretV$, $SIGrzqhoxVB$); **grid**
Tphcut = $h / 1 ./ (ho \cdot Vcutrast \cdot 60.^{-1})$; $Tphcuto = ho / 1 ./ (ho \cdot Vpostopt \cdot 60.^{-1})$; $Tphcuth = Tphcuto \cdot h / 1 ./ ho$; **figure**; **plot**(h , $Tphcut$, h , $Tphcuto$, h , $Tphcuth$); **grid**
ROZBORxFcutFabrxPvpSIGxHefekt = 1001; $Fcutrask = SIGcutsk \cdot Srah$; $Fcutrzra = SIGrz \cdot Srah$; $Sraho = 10.^{-3}$;
 $3 \cdot Rao \cdot ho$; $Fcutrasko = SIGcutsko \cdot Sraho$; $Fcutrzrao = SIGrzo \cdot Sraho$; $SIGrzo = Emat.^{0.5}$; $Pvpculo = Pvpopt$; **figure**; **plot**(h , $SIGcutsk$, h , $SIGcutsko$, h , $SIGrz$, h , $SIGrzo$, h , $SIGrx$, h , $Fcutrask$, h , $Fcutrzra$, h , $Fcutrasko$, h , $Sraskh$, h , $Sraskho$, h , $Pvpcut$, h , $Pvpcutx$, h , $Pvpculo$, h , $Yret$, h , $SIGabrskV$, h , $SIGrzqhoxVB$, h , Ra , h , $Rarad$, h , $Rasky$, h , $arcD$); **grid**
NOVAfceSIGefxEPSyretV = 1001; $SIGef = Kplmat / 1 ./ 20 \cdot (Plim \cdot SIGrzqhoxVB)^{0.5}$;
 $EPSelef = SIGef / 1 ./ Emat$; $EPSelefho = ho / 1 ./ 0.006 \cdot EPSelef$; **figure**; **plot**($EPSelefho$, $SIGef$, h , $SIGef$, h , $Plim$); **grid**
KOMPLAWJREZxABRxTphcutxTUH = 2222; $Tphcut = h / 1 ./ (ho \cdot Vcutrast \cdot 60.^{-1})$;
 $Hrelp = h / 1 ./ Kplmat \cdot 100$; $SIGrz = (Eretz)^{0.5} \cdot 20 / 1 ./ Kplmat$; $SIGrx = SIGrz \cdot \cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D))$;
 $Khel = ho / 1 ./ 0.006$; $Kyretel = Yreto / 1 ./ 0.006$; $EPSelrx = SIGrx / 1 ./ Emat$; $SIGabr = SIGrx - Pvpcut$;
 $SIGabrXY = SIGabr / 1 ./ \cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D))^{Kplmat}$; $Srah = Ra \cdot h \cdot 10.^{-3}$; $Sraskh = Rasky \cdot h \cdot 10.^{-3}$;
 3 ; $Fabr = SIGabr \cdot Srah$; $Fabrxy = Fabr / 1 ./ \cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D))$; $FabrXY = Fabr / 1 ./ \cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D))^{Kplmat}$;
 $Fabrsk = SIGabr \cdot Sraskh$; $FabrskXY = Fabrsk / 1 ./ \cos(\operatorname{atan}(\operatorname{tg}D))^{Kplmat}$; $EPSelrzqVB = SIGrzqhoxVB / 1 ./ Emat$;
 $Khel = ho / 1 ./ 0.006$; $EPSelrzqVBh = EPSelrzqVB \cdot Khel$; $Kekvhpel = 27 / 1 ./ 0.006$;
 $EPSelrzqVBekvp = EPSelrzqVB \cdot Kekvhpel$; $Kyretel = Yreto / 1 ./ 0.006$; $EPSelrzqVByret = EPSelrzqVB \cdot Kyretel$; **figure**; **plot**($EPSelrzqVB$, $SIGrzqhoxVB$, $EPSyretV$, $SIGrzqhoxVB$, $EPSyretV$, $Pvpopt$, $EPSyretV$, $Pvpcut$, $EPSyretV$, $Pvpcutx$, $EPSyretV$, $Vpopt$, $EPSyretV$, $Vcutrast$, $EPSyretV$, $Vcutrasky$, $EPSyretV$, $SIGrx$, $EPSyretV$,

SIGrz,EPsYretV,Mavpophthinvxy,EPsYretV,Mavpophthinvho,EPsYretV,arcD,EPsYretV,Yret,EPsYretV,Ra,EPsYretV,Rarad,EPsYretV,Rasky,EPsYretV,SIGabr,EPsYretV,Fabr,EPsYretV,Fabrsk,EPsYretV,Plim,EPsYretV,Yret,EPsYretV,SIGabrXY,EPsYretV,FabrXY);grid

ABRAZEslozky=1001;SIGabrskV;FabrskXY=Fabrsk/1./cos(atan(tgD)).^Kplmat;Fabrsk=SIGabr.*Sraskh;Fabrskx=Fabrsk.*cos(atan(tgD));figure;plot(h,SIGabr,h,SIGabrXY,h,Fabrskx,h,FabrskXY);grid

SIGrzqEPSxHekvp=1001;SIGkl=Eret.^0.5;SIGklo=Emat.^0.5;EPSelrzqVB=SIGrzqhoxVB/1./Emat;Kekvhel=27/1./0.006;figure;plot(EPSelrzq.*Kekvhel,SIGrzqhoxVB,Hekvp,SIGrz,Hekvp,SIGyield,Hekvp,SIGret,Hekvp,SIGyieldo,Hekvp,SIGrzqhoxVB,Hekvp,SIGrzqhoxVV,Hekvp,Plim,Hekvp,Yret);grid

SIGrzqEPSxYret=1001;EPSelrzqVB=SIGrzqhoxVB/1./Emat;Kyretel=Yreto/1./0.006;figure;plot(EPSelrzqVB.*Kyretel,SIGrzqhoxV,Yret,SIGrz,Yret,SIGret,Yret,SIGklo,Yret,SIGrzqhoxVB,Yret,SIGrzqhoxVV,Yret,Plim,Yret,Yret,Yret,SIGyield,Yret,SIGyieldo);grid

SIGrzqEPSabsH=1001;EPSelrzqVB=SIGrzqhoxVB/1./Emat;Khel=ho/1./0.006;figure;plot(EPSelrzqVB.*Khel,SIGrzqhoxV,h,SIGrz,h,SIGret,h,SIGklo,h,SIGrzqhoxVB,h,SIGrzqhoxVV,h,Plim,h,Yret,h,SIGyield,h,SIGyieldo);grid

SIGrzqEPSretV=1001;EPSelrzqVB=SIGrzqhoxVB/1./Emat;Kyretel=Yreto/1./0.006;figure;plot(EPSelrzqVB,SIGrzqhoxVB,EPsYretV,SIGrz,EPsYretV,SIGret,EPsYretV,SIGklo,EPsYretV,SIGrzqhoxVB,EPsYretV,SIGrzqhoxVV,EPsYretV,Plim,EPsYretV,Yret,EPsYretV,SIGyield,EPsYretV,SIGyieldo);grid,

SIGrz=Eretz.^0.5.*20/1./Kplmat;SIGrx=SIGrz.*cos(atan(tgD));EPSelr=SIGrz/1./Emat;Khel=ho/1./0.006;Kyretel=Yreto/1./0.006;Kekvhel=27/1./0.006;figure;plot(EPSelr.*Khel,SIGrz,h,SIGrz,h,SIGrx,h,Plim,h,Yret);grid,figure;plot(EPSelr,SIGrz,EPsYretV,SIGrz,EPsYretV,SIGrx,EPsYretV,Plim,EPsYretV,Yret);grid,figure;plot(EPSelr.*Kyretel,SIGrz,Yret,SIGrz,Yret,SIGrx,Yret,Plim,Yret,Yret);grid,figure;plot(EPSelr.*Kekvhel,SIGrz,Hekvp,SIGrz,Hekvp,SIGrx,Hekvp,Plim,Hekvp,Yret,Hekvp,SIGyield,Hekvp,SIGyieldo);grid,figure;plot(EPSelrzqVB.*Khel,SIGrzqhoxVB,h,SIGyield,h,SIGyieldo,h,SIGkl,h,SIGklo,h,SIGrzqhoxVB,h,SIGrz,h,SIGrx);grid

KOMPLAWJREZxABRxHabsxVxTcutTUHxMOD=3333;Hrelp=h/1./Kplmat.*100;SIGrz=(Eretz).^0.5.*20/1./Kplmat;SIGrx=SIGrz.*cos(atan(tgD));Khel=ho/1./0.006;Kyretel=Yreto/1./0.006;EPSelrx=SIGrx/1./Emat;SIGabr=SIGrx-Pvpcut;Srah=Ra.*h.*10.^-3;Sraskh=Rasky.*h.*10.^-

3;Fabr=SIGabr.*Srah;Fabrxy=Fabr/1./cos(atan(tgD));Fabrsk=SIGabr.*Sraskh;EPSelr
zqVB=SIGrzhoxVB/1./Emat;Khel=ho/1./0.006;EPSelrzhVBh=EPSelrzhVB.*Khel;
Kekvhpel=27/1./0.006;EPSelrzhVBekvp=EPSelrzhVB.*Kekvhpel;Kyretel=Yreto/1./0
.006;EPSelrzhVBh=EPSelrzhVB.*Khel;figure;plot(EPSelrzhVBh,SIGrzhoxVB,h,SI
GrzhoxVB,h,Pvpopt,h,Pvpcut,h,Pvpcutx,h,Vpopt,h,Vcutrast,h,Vcutrasky,h,Sraskh,h,
Ra,h,Rarad,h,Rasky,h,SIGabr,h,Fabr,h,Fabrsk,h,Yret,h,SIGabrXY,h,FabrXY,h,Eretz,
h,Eret,h,Emat,h,Emat.^-1,h,Eret.^-1,h,Eretz.^-1,h,Tphcut);grid
fceVdefhxVdefoxVpopto=1001;EPSyretV=10.^3.*Ra.*h.*Kplmat.^-
1/1./Emat;EPSyretV=10.^3.*Yret/1./Emat;EPSyretVo=10.^3.*Rao.*ho.*Kplmat.^-
1/1./Emat,Vdefho=ho/1./(EPSyretVo.*Tpoptho.*ho.^-
1);Vdefh=ho/1./(EPSyretV.*Tpoptho.*h.^-1);Tdefh=Vdefh.^-
1;figure;plot(Hekvp,Vdefho,Hekvp,Vdefh,Hekvp,Tdefh,Hekvp,Yret);grid,
fceHLADxSIGrzhoxVB=1001;SIGrzhoxVB=10.^-
3.*Emat.*2.*((log10(5.41)/1./log10(ho)).*Rao.*((log(h).^2+log((Yret).^-
1).^0.25).^2).^0.5).*cos(atan(Yret/1./h)).^(3.*Indho.^-
1))/1./(10.^log10((log10(ho)).^2+(log10(1/1./Yreto)).^2+Rarado.^2).^0.5);figure;plot(
h,SIGrzhoxVB);grid
fceHLADkomplMOHRxrozkladHabsHrelp=1001;SIGind=SIGm;SIGy=SIGind-
SIGind.*(cos(atan(Yret/1./h))).^2;SIGx=SIGind-
SIGind.*(sin(atan(Yret/1./h))).^2;SIGn=SIGx-SIGy;Tau=(SIGx-
SIGy)/1./2.*sin(2.*atan(Yret/1./h).*180/1./3.14);TauV=(SIGx-
SIGy)/1./2.*sin(2.*Yret/1./h);Yretn=Yret.*cos(atan(Yret/1./h));arcD=atan(Yret/1./h).
180/1./3.14;SIGy=SIGind-SIGind.(cos(atan(Yret/1./h))).^2;SIGx=SIGind-
SIGind.*(sin(atan(Yret/1./h))).^2;SIGn=SIGind.*(cos(atan(Yret/1./h))).^2+SIGind.*(
sin(atan(Yret/1./h))).^2;SIGn=SIGx-
SIGy;Yretn=Yret.*cos(atan(Yret/1./h));Tau=(SIGx-
SIGy)/1./2.*sin(2.*atan(Yret/1./h).*180/1./3.14);TauV=(SIGx-
SIGy)/1./2.*sin(2.*Yret/1./h);arcD=atan(Yret/1./h).*180/1./3.14;arcDr=atan(Yret/1./h
);SIGy=SIGind-SIGind.*(cos(atan(Yret/1./h))).^2;SIGx=SIGind-
SIGind.*(sin(atan(Yret/1./h))).^2;SIGn=SIGind.*(cos(atan(Yret/1./h))).^2+SIGind.*(
sin(atan(Yret/1./h))).^2;SIGn=SIGx-
SIGy;Yretn=Yret.*cos(atan(Yret/1./h));EPSelrzhq=SIGrzhoxV/1./Emat;Khel=ho/1./0
.006;Kekvhpel=27/1./0.006;Kyretel=Yreto/1./0.006;figure;plot(EPSelrzhq.*Kekvhpel,
SIGrzhoxVB,Hrelp,SIGy,Hrelp,SIGx,Hrelp,SIGn,Hrelp,h,Hrelp,Tau,Hrelp,TauV,Hr

elp,arcD,Hrelp,Yret,Hrelp,SIGrzqhoxVB);grid,figure;plot(EPSelrq.*Khel,SIGrzqhoxVB,h,SIGy,h,SIGx,h,SIGn,h,h,h,Tau,h,TauV,h,arcD,h,Yret,h,SIGrzqhoxVB);grid
komplDIAGRAMxSIGrqEPSxHabsEPSyretV=1001;RqhodsklogVx=RqhodsklogV.*cos(atan(Yret/1./h));SIGrq=RqhodsklogV.*Kplmat.^2/1./20;SIGrqx=RqhodsklogVx.*Kplmat.^2/1./20;Vpqx=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./SIGrqx;Vpq=(10.^-3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./
 SIGrq;figure;plot(h,Vpq,h,Vpqx);grid,figure;plot(h,SIGrq,h,SIGrqx,h,Vdefho,h,Vdefh,h,h,Tdefh,h,Yret,h,RqhodsklogV,h,RqhodsklogVx,h,arcD,h,cos(atan(Yret/1./h)));grid,figure;plot(Hekvp,RqhodsklogV,Hekvp,RqhodsklogVx);grid,EPSELrq=SIGrq/1./Emat;EPSmelo=SIGm/1./Emat,Kmelo=ho/1./EPSmelo;figure;plot(EPSELrq,SIGrq,EPSELrq.*Kmelo,SIGrq,h,SIGrq,h,SIGrqx,h,Plim);grid,figure;plot(EPSELrq,SIGrq,EPsyretV,SIGrq,EPsyretV,SIGrqx,EPsyretV,Plim);grid,figure;plot(EPSELrq.*Kmelo,SIGrq,h,SIGrq,h,SIGrqx,h,Plim,h,RqhodsklogV,h,RqhodsklogVx,h,Vdefho,h,Vdefh,h,Tdefh,h,Yret,h,arcD,h,cos(atan(Yret/1./h)),h,Vpq,h,Vpregularad,h,Vpregulrast,h,Vpqx,h,Vpregulrasklog);grid,figure;plot(EPSELrq.*Kmelo,SIGrq,EPSELrq,SIGrq,EPsyretV,SIGrq,EPsyretV,SIGrqx,EPsyretV,Plim,EPsyretV,RqhodsklogV,EPsyretV,RqhodsklogVx,EPsyretV,Vdefho,EPsyretV,Vdefh,EPsyretV,Tdefh,EPsyretV,Yret,EPsyretV,arcD,EPsyretV,cos(atan(Yret/1./h)),EPsyretV,Vpq,EPsyretV,Vpregularad,EPsyretV,Vpregulrast,EPsyretV,Vpqx,EPsyretV,Vpregulrasklog);grid
**RqhodsklogV=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*((log(h).^2+log((h.*tgD).^-1).^0.25).^2).^0.333;RqhodsklogVx=RqhodsklogV.*cos(atan(Yret/1./h));RqhodsklogVxy=RqhodsklogV/1./cos(atan(Yret/1./h));SIGrq=RqhodsklogV.*Kplmat.^2/1./20;SIGrqx=RqhodsklogVx.*Kplmat.^2/1./20;RqhodsklogVB=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*((log(h).^2+log((h.*tgD).^-1).^0.25).^2).^0.5;RqhodsklogxxxVB=RqhodsklogVB.*cos(atan(tgD)).^(3.*Indho.^-1);SIGrzqhoxVB=10.^-3.*Emat.*2.*RqhodsklogxxxVB/1./Raskyo;figure;plot(h,Rarad,h,Rasklog,h,Rasklogy,h,Raradye,h,RqhodsklogVxy,h,RqhodsklogV,h,RqhodsklogVx);grid
fceSIGrqHabs=1001;Yreto=1;Rarado=Rao.*10.^3.*(Emat).^0.5/1./Emat;Kcut=Kplmat;SIGm=1190.31.*20/1./Kcut,SIGret=Eret.^0.5;Yret=Kpl/1./Kcut;tgD=tan(Yret/1./h);arcD=atan(tgD).*180/1./3.14;x=Kplmat;Kxy=SIGm/1./x;Plim=Kxy.*h;EPsyretV=10.^3.*Yret/1./Emat;Indho=log10(5.41)/1./log10(ho);Rqhodsklog=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*((log(h).^2+log((h.*tgD).^-1).^0.25).^2).^0.333/1./cos(atan(tgD));RqhodsklogV=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.**

$((\log(h))^2 + \log((h \cdot \text{tgD}))^{\wedge-1})^{\wedge 0.25})^{\wedge 2})^{\wedge 0.333}$; RqhodsklogxxxV = RqhodsklogV * $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))^{\wedge (3 \cdot \text{Indho}^{\wedge-1})}$; Rqhodsklogxxx = Rqhodsklog * $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))^{\wedge (3 \cdot \text{Indho}^{\wedge-1})}$; SIGrzqhoxV = $10^{\wedge-3 \cdot \text{Emat} \cdot 2 \cdot \text{RqhodsklogxxxV} / 1 / \text{Rao}}$; SIGrzqhoxVV = $10^{\wedge-3 \cdot \text{Emat} \cdot \text{RqhodsklogxxxV} / 1 / \text{Rarado}}$; EPSelrzq = SIGrzqhoxV / 1 / Emat; SIGrzqEPSabsh = 1001; EPSelrzq = SIGrzqhoxV / 1 / Emat; Khel = ho / 1 / 0.006; Kekvhpel = 27 / 1 / 0.006; Kyretel = Yreto / 1 / 0.006;

KOMPLAWJREZxABRxHabsxTUH=2222; SIGrz = (Eretz). $^{\wedge 0.5 \cdot 20 / 1 / \text{Kplmat}}$; SIGrzx = SIGrz * $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))$; Khel = ho / 1 / 0.006; EPSelrzx = SIGrzx / 1 / Emat; SIGabr = SIGrzx - Pvpcut; SIGabrXY = SIGabr / 1 / $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))^{\wedge \text{Kplmat}}$; Srah = Ra * h * $10^{\wedge-3}$; Sraskh = Rasky * h * $10^{\wedge-3}$; Fabr = SIGabr * Srah; FabrXY = Fabr / 1 / $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))^{\wedge \text{Kplmat}}$; Fabrsk = SIGabr * Sraskh; EPSelrzqVB = SIGrzqhoxVB / 1 / Emat; Khel = ho / 1 / 0.006; EPSelrzqVBh = EPSelrzqVB * Khel; figure; plot(EPSelrzqVBh, SIGrzqhoxVB, h, SIGrzqhoxVB, h, Pvpopt, h, Pvpcut, h, Pvpcutx, h, Vpopt, h, Vcutrast, h, Vcutrasky, h, SIGrzx, h, SIGrz, h, Mavpophthinvy, h, arcD, h, Yret, h, Ra, h, Rarad, h, Rasky, h, SIGabr, h, SIGabrXY, h, Fabr, h, FabrXY, h, Fabrsk, h, Plim, h, Yret, h, Sraskh); grid

ROZBORxABRAZE=1001; SIGcutabrsk = SIGcutsk - Pvpcut; SIGabrskV = (SIGcutabrsk. ^{2} + SIGabr. ^{2}). $^{\wedge 0.5}$; Sraskh = Rasky * h * $10^{\wedge-3}$; FabrskV = SIGabrskV * Sraskh; figure; plot(h, SIGabr, h, Fabrsk, h, SIGabrskV, h, FabrskV, h, Sraskh, h, SIGabr, h, Fabr, h, Fabrsk, h, Yret); grid

figure; plot(EPSelrzqVBh, SIGrzqhoxVB, h, SIGrzqhoxVB, h, Plim); grid; plot(EPSelrzq, SIGrzqhoxVB, EPSyretV, SIGrzqhoxVB, EPSyretV, Plim); grid

KOMPLAWJREZxHrelpxTUH=2222; Hrelp = h / 1 / $\text{Kplmat} \cdot 100$; SIGrz = (Eretz). $^{\wedge 0.5 \cdot 20 / 1 / \text{Kplmat}}$; SIGrzx = SIGrz * $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))$; Khel = ho / 1 / 0.006; Kyretel = Yreto / 1 / 0.006; EPSelrzx = SIGrzx / 1 / Emat; SIGabr = SIGrzx - Pvpcut; Srah = Ra * h * $10^{\wedge-3}$; Sraskh = Rasky * h * $10^{\wedge-3}$; Fabr = SIGabr * Srah; Fabrxy = Fabr / 1 / $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))$; SIGabrXY = SIGabr / 1 / $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))^{\wedge \text{Kplmat}}$; FabrXY = Fabr / 1 / $\cos(\text{atan}(\text{tgD}))^{\wedge \text{Kplmat}}$; Fabrsk = SIGabr * Sraskh; EPSelrzqVB = SIGrzqhoxVB / 1 / Emat; Khel = ho / 1 / 0.006; EPSelrzqVBh = EPSelrzqVB * Khel; Kekvhpel = 27 / 1 / 0.006; EPSelrzqVBekvp = EPSelrzqVB * Kekvhpel; Kyretel = Yreto / 1 / 0.006; EPSelrzqVbyret = EPSelrzqVB * Kyretel; figure; plot(EPSelrzqVbyret, SIGrzqhoxVB, Hrelp, SIGrzqhoxVB, Hrelp, Pvpopt, Hrelp, Pvpcut, Hrelp, Pvpcutx, Hrelp, Vpopt, Hrelp, Vcutrast, Hrelp, Vcutrasky, Hrelp, SIGrzx, Hrelp, SIGrz, Hrelp, Mavpophthinvy, Hrelp

p,Mavpophthinvo,Hrelp,arcD,Hrelp,Yret,Hrelp,Ra,Hrelp,Rarad,Hrelp,Rasky,Hrelp,SIGabr,Hrelp,Fabr,Hrelp,Fabrsk,Hrelp,Plim,Hrelp,Yret,Hrelp,SIGabrXY,Hrelp,FabrXY);grid

KOMPLAWJREZxYretxTUH=2222;Hrelp=h/1./Kplmat.*100;SIGrz=(Eretz).^0.5.*20/1./Kplmat;SIGrzx=SIGrz.*cos(atan(tgD));Khel=ho/1./0.006;Kyretel=Yreto/1./0.006;EPSelrzhx=SIGrzx/1./Emat;SIGabr=SIGrzx-Pvpcut;Srah=Ra.*h.*10.^-3;Sraskh=Rasky.*h.*10.^-

3;Fabr=SIGabr.*Srah;Fabrxy=Fabr/1./cos(atan(tgD));Fabrsk=SIGabr.*Sraskh;EPSelrzhqVB=SIGrzqhoxVB/1./Emat;Khel=ho/1./0.006;EPSelrzhqVBh=EPSelrzhqVB.*Khel;Kekvhpel=27/1./0.006;EPSelrzhqVBekvp=EPSelrzhqVB.*Kekvhpel;Kyretel=Yreto/1./0.006;EPSelrzhqVBbyret=EPSelrzhqVB.*Kyretel;figure;plot(EPSelrzhqVBbyret,SIGrzqhoxVB,Yret,SIGrzqhoxVB,Yret,Pvpopt,Yret,Pvpcut,Yret,Pvpcutx,Yret,Vpopt,Yret,Vcutrast,Yret,Vcutrasky,Yret,SIGrzx,Yret,SIGrz,Yret,Mavpophthinvy,Yret,Mavpophthinvo,Yret,arcD,Yret,Yret,Yret,Ra,Yret,Rarad,Yret,Rasky,Yret,SIGabr,Yret,Fabr,Yret,Fabrsk,Yret,Plim,Yret,Yret,Yret,SIGabrXY,Yret,FabrXY);grid

KOMPLAWJREZxEPSyretVxTUH=2222;Hrelp=h/1./Kplmat.*100;SIGrz=(Eretz).^0.5.*20/1./Kplmat;SIGrzx=SIGrz.*cos(atan(tgD));Khel=ho/1./0.006;Kyretel=Yreto/1./0.006;EPSelrzhx=SIGrzx/1./Emat;SIGabr=SIGrzx-Pvpcut;Srah=Ra.*h.*10.^-3;Sraskh=Rasky.*h.*10.^-

3;Fabr=SIGabr.*Srah;Fabrxy=Fabr/1./cos(atan(tgD));Fabrsk=SIGabr.*Sraskh;EPSelrzhqVB=SIGrzqhoxVB/1./Emat;Khel=ho/1./0.006;EPSelrzhqVBh=EPSelrzhqVB.*Khel;Kekvhpel=27/1./0.006;EPSelrzhqVBekvp=EPSelrzhqVB.*Kekvhpel;Kyretel=Yreto/1./0.006;EPSelrzhqVBbyret=EPSelrzhqVB.*Kyretel;figure;plot(EPSelrzhqVB,SIGrzqhoxVB,EPSyretV,SIGrzqhoxVB,EPSyretV,Pvpopt,EPSyretV,Pvpcut,EPSyretV,Pvpcutx,EPSyretV,Vpopt,EPSyretV,Vcutrast,EPSyretV,Vcutrasky,EPSyretV,SIGrzx,EPSyretV,SIGrz,EPSyretV,Mavpophthinvy,EPSyretV,Mavpophthinvo,EPSyretV,arcD,EPSyretV,Yret,EPSyretV,Ra,EPSyretV,Rarad,EPSyretV,Rasky,EPSyretV,SIGabr,EPSyretV,Fabr,EPSyretV,Fabrsk,EPSyretV,Plim,EPSyretV,Yret,EPSyretV,SIGabrXY,EPSyretV,FabrXY);grid

RqhodsklogV=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*((log(h).^2+log((h.*tgD).^-1).^0.25).^2).^0.333;RqhodsklogxxxV=RqhodsklogV.*cos(atan(tgD)).^(3.*Indho.^-1);SIGrzqhoxV=10.^-3.*Emat.*2.*RqhodsklogxxxV/1./Rao;SIGrzqhoxVVV=SIGrzqhoxV.*(20/1./Kplmat).^0.5;

SIGrzqhoxV=10.^-3.*Emat.*2.*RqhodsklogxxxV/1./Rao;
fceNOVAxSIGrzqhoxVB=1001;RqhodsklogVB=log10(5.41)/1./log10(ho).*Rao.*(1
 og(h).^2+log((h.*tgD).^-
 1).^0.25).^2).^0.5;RqhodsklogxxxVB=RqhodsklogVB.*cos(atan(tgD)).^(3.*Indho.^-
 1);SIGrzqhoxVB=10.^-
 3.*Emat.*2.*RqhodsklogxxxVB/1./Raskyo;Kekvhel=27/1./0.006;figure;plot(EPSyret
 V,SIGrzqhoxVB,EPSyretV,SIGrzqhoxV);grid;figure;plot(h,SIGrzqhoxVB,h,SIGrzqh
 oxV);grid
ROZBORxFcutFabrxPvpSIGxHefekt=1001;Fcutrask=SIGcutsk.*Srah;Fcutrzra=S
 IGrz.*Srah;Sraho=10.^-
 3.*Rao.*ho;Fcutrasko=SIGcutsko.*Sraho;Fcutrzrao=SIGrzo.*Sraho;SIGrzo=Emat.^0
 .5;Pvpculo=Pvpopt;figure;plot(h,SIGcutsk,h,SIGcutsko,h,SIGrz,h,SIGrzo,h,SIGrx,h,
 Fcutrask,h,Fcutrzra,h,Fcutrasko,h,Sraskh,h,Sraskho,h,Pvpcut,h,Pvpcutx,h,Pvpculo,h,
 Yret,h,SIGabrskV,h,SIGrzqhoxVB,h,Ra,h,Rarad,h,Rasky,h,arcD);grid
fceTUHOST=1001;figure;plot(h,SIGabr,h,Fabr,h,SIGabrXY,h,FabrXY);grid
SIGrzqEPSretVVV=1001;EPSelrzq=SIGrzqhoxV.*(20/1./Kplmat).^0.5/1./Emat;Kyret
 el=Yreto/1./0.006;SIGeloV=Emat.^0.5.*(20/1./Kplmat).^0.5;Kxy=SIGm/1./Kplmat;
 Plim=Kxy.*h;Kxyo=SIGm/1./ho;
 Plimo=Kxyo.*h;Kxyel=SIGeloV/1./ho;Plimel=Kxyel.*h;Kxyelo=Emat.^0.5/1./ho;Pli
 melo=Kxyelo.*h;figure;plot(EPSelrzq,SIGrzqhoxV,EPSyretV,SIGrzqhoxV.*(20/1./K
 plmat).^0.5,EPSyretV,Plim,EPSyretV,SIGyield.*(20/1./Kplmat).^0.5,EPSyretV,SIGy
 ieldo.*(20/1./Kplmat).^0.5,EPSyretV,Plimo);grid,
SIGrzqHabsVVV=1001;EPSelrzq=SIGrzqhoxV.*(20/1./Kplmat).^0.5/1./Emat;Kyret
 el=Yreto/1./0.006;SIGeloV=Emat.^0.5.*(20/1./Kplmat).^0.5;Kxy=SIGm/1./Kplmat;
 Plim=Kxy.*h;Kxyo=SIGm/1./ho;
 Plimo=Kxyo.*h;Kxyel=SIGeloV/1./ho;Plimel=Kxyel.*h;Kxyelo=Emat.^0.5/1./ho;Pli
 melo=Kxyelo.*h;figure;plot(h,SIGrzqhoxV.*(20/1./Kplmat).^0.5,h,Plim,h,SIGyield.*
 (20/1./Kplmat).^0.5,h,Plimo,h,Plimel,h,Plimelo);grid,
SIGrzqhoxVVV=SIGrzqhoxV.*(20/1./Kplmat).^0.5;
EmatX=30000:5000:300000;Vpostoptk=(10.^-
 3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./EmatX.^0.5;KawjEx=10.^12/1./EmatX.^2;figure;plot(EmatX,
 Vpostoptk);grid;figure;plot(EmatX,KawjEx);grid

KawjX=10:50:700;Vpostoptk=(10.^-
 $3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^0.5$;figure;plot(KawjX,Vpostoptk);grid
 d
KawjX=10:5:700;EmatX=10.^6/1./KawjX.^0.5;VpostoptkX=(10.^-
 $3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^0.5$;figure;plot(KawjX,VpostoptkX);g
 rid,MavpoptkX=lmbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*VpostoptkX.*60.^-
 $1.*(Kcut/1./ho)$;MavpoptkhodX=3600.*MavpoptkX;PvpoptkX=lmbd.^-
 $1.*Rov/1./Roabr.*(10.^-$
 $3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./VpostoptkX$;figure;plot(KawjX,VpostoptkX,KawjX,Pvpoptk
 X,KawjX,MavpoptkhodX,KawjX,KawjX,KawjX,EmatX/1./1000);grid,
KawjX=10:5:700;VpostoptkX=(10.^-
 $3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^0.5$;figure;plot(KawjX,VpostoptkX);g
 rid,MavpoptkX=60.*lmbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*VpostoptkX.*60.^-
 $1.*(Kcut/1./ho)$;MavpoptkhodX=3600.*MavpoptkX;MavpoptkminX=60.*Mavpoptk
 X;PvpoptkX=lmbd.^-1.*Rov/1./Roabr.*(10.^-
 $3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./VpostoptkX$;KdvdaX=2.*Rao.*10.^3.*60.*Maho/1./(lmbd.*
 ROskW.*VpostoptkX.*Rarado);HraXo=KawjX/1./Rao;dammX=20.*(4.*MavpoptkX
 /1./((Ckh.*3.14.*Roa.*1000.*va).^0.5));dvmmX=dammX.*2.*Kdvda;figure;plot(Kawj
 X,VpostoptkX,KawjX,PvpoptkX,KawjX,MavpoptkminX,KawjX,KawjX,KawjX,Emat
 X/1./1000,KawjX,HraXo,KawjX,dammX,KawjX,dvmmX);grid,
techKOMPLEXxPV=1001;KawjX=10:5:700;VpostoptkX=(10.^-
 $3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^0.5$;figure;plot(KawjX,VpostoptkX);g
 rid,MavpoptkX=60.*lmbd.*Kdvda.*ROskW.*10.^-3.*VpostoptkX.*60.^-
 $1.*(Kcut/1./ho)$;MavpoptkhodX=3600.*MavpoptkX;MavpoptkminX=60.*Mavpoptk
 X;PvpoptkX=1.5.*(lmbd.^-1.*Rov/1./Roabr.*(10.^-
 $3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./VpostoptkX$);KdvdaX=2.*Rao.*10.^3.*60.*Maho/1./(lmbd.*
 ROskW.*VpostoptkX.*Rarado);HraXo=KawjX/1./Rao;dammX=20.*(4.*MavpoptkX
 /1./((Ckh.*3.14.*Roa.*1000.*va).^0.5));dvmmX=dammX.*2.*Kdvda;Cstrkwhod=Nstr
 hod.*Ckwhod;Ccelstrkwhod=Ncelstr.*Ckwhod;figure;plot(KawjX,VpostoptkX,Kawj
 X,PvpoptkX,KawjX,MavpoptkminX,KawjX,EmatX/1./1000,KawjX,HraXo,KawjX,d
 ammX,KawjX,dvmmX,KawjX,Ckwhod);grid,figure;plot(KawjX,Nstrhod,KawjX,Nce
 lstr,KawjX,Cstrkwhod,KawjX,Ccelstrkwhod);grid,
fecRasklogN=1001;Rar=Ra-log10(Ra/1./Rao);Raradr=Rarad-
 $\log_{10}(Rarad/1./Rarado)$;

```

fceSIGzatN=1001;SIGraradr=10.^-
3.*Raradr.*Emat/1./(Rarado);SIGraradrx=SIGraradr.*cos(atan(tanD));figure;plot(h,SIGraradr,h,SIGraradrx,h,SIGrz,h,SIGrzx);grid
newPraceXvykonXcenaXhodXKawj=1001;KawjX=10:5:700;EmatX =
10.^6/1./KawjX.^0.5;Ckwhod=3.5;Tpopt=Hlim/1./(ho.*Vpostopt.*60.^-
1),TpoptX=Hlim/1./(ho.*VpostoptkX.*60.^-
1);figure;plot(KawjX,TpoptX);grid,AstrobjX=((1-
2.*Mio)/1./(6.*EmatX).*(SIGm+SIGm).^2).^0.5;AtstrX=(1+Mio)/1./(3.*EmatX).
*(SIGm.^2+SIGm.^2-SIGm.*SIGm);AcelstrX=1.5.*(AstrobjX+AtstrX);
Ncelstr=Acelstr/1./Tphxopto,NstrhodX=AstrobjX/1./TpoptX;NstrobjX=NstrhodX;CstrobjX=NstrhodX.*Ckwhod;NtstrX=AtstrX/1./TpoptX;CtstrX=NtstrX.*Ckwhod;NcelstrX=AcelstrX/1./TpoptX;CcelstrX=NcelstrX.*Ckwhod;Cstrhod=Nstrhod.*Ckwhod,
PwREGX=1.5.*(83.9826 + 108.524.*2.718.^(-KawjX/1./13.68504) +
104.30582.*2.718.^(-KawjX/1./132.7153));NstrhodXREG=25.63546.*2.718.^(-
KawjX/1./51.31997) + 325.32423.*2.718.^(-KawjX/1./9.29095) + 4.14871.*2.718.^(-
KawjX/1./-
1.37731E84);CstrhodXREG=NstrhodXREG.*Ckwhod;figure;plot(KawjX,NstrhodXREG,KawjX,CstrhodXREG);grid,figure;plot(KawjX,65.*NstrobjX.^-
1,KawjX,65.*CstrobjX.^-1);grid,
figure;plot(KawjX,KawjX,KawjX,VpostoptkX,KawjX,PvpoptkX,KawjX,Mavpoptkm
inX,KawjX,EmatX/1./1000,KawjX,HraXo,KawjX,65.*NstrobjX.^-
1,KawjX,65.*CstrobjX.^-1);grid,
ROskWX=(10.^6/1./(10.^12/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^2)/1./16).^0.27;VpostoptkX=(
10.^-
3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^0.5;MavpoptkX=lmbd.*Kdvda.*ROs
kWX.*10.^-3.*Vpostopt.*60.^-
1.*(KawjX/1./ho);MavpoptkXvX=lmbd.*Kdvda.*ROskWX.*10.^-
3.*VpostoptkX.*60.^-1.*(KawjX/1./ho);
newMaKawj=1001;vMavpoptkXX=MavpoptkXvX;vMavpoptkgrminXXbREG=10.*
1.3655.*0.4516.*0.7.*0.269.*ROskWX.*10.^-3.*148.758.*60.^-
1.*(9.6676/35.77).*1000.*60;figure;plot(KawjX,Mavpoptk,KawjX,vMavpoptkXX.*1
000.*60,KawjX,vMavpoptkgrminXXbREG);grid,
figure;plot(KawjX,1.5.*PvpoptkX);grid,
NstrobjX=NstrhodX;

```

FIGkompl=1001;figure;plot(KawjX,KawjX,KawjX,VpostoptkX,KawjX,PvpoptkX,
KawjX,vMavpoptkgrminXXbREG,KawjX,EmatX/1./1000,KawjX,HraXo,KawjX,65.
*NstrobjX.^-1,KawjX,65.*CstrobjX.^-1);grid,
FIGkompltopo=1001;KawjX=10:5:700;hX=8,RaX=(-10)*(1-KawjX/1./(KawjX-
hX));KplX=RaX.*hX;EretzX=EmatX.*(KplX/1./KawjX).^0.5;RaradX=Rao.*10.^3.*
(EretzX).^0.5/1./EmatX;YretX=KplX/1./KawjX;Rasky=10.^log10((log10(hX)).^2+(l
og10(1/1./YretX)).^2+RaradX.^2).^0.5;arcDX=atan(tan(YretX/1./hX)).*180/1./3.14;
FcePovchKawjX=1001;KawjX=10:5:700;hX=8,RaX=(-10)*(1-KawjX/1./(KawjX-
8));KplX=RaX.*hX;EretzX=EmatX.*(KplX/1./KawjX).^0.5;RaradX=Rao.*10.^3.*(E
retzX).^0.5/1./EmatX;YretX=KplX/1./KawjX;arcDX=atan(tan(YretX/1./hX)).*180/1.
/3.14;RaskyX=10.^log10((log10(hX)).^2+(log10(1/1./YretX)).^2+RaradX.^2).^0.5;fi
gure;plot(KawjX,hX,KawjX,RaX,KawjX,RaskyX,KawjX,YretX,KawjX,arcDX);grid,
ROskWX=(10.^6/1./(10.^12/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^2)/1./16).^0.27;VpostoptkX=
(10.^-
3.*Rao).^0.5.*10.^6/1./(10.^6/1./KawjX.^0.5).^0.5;MavpoptkX=lmbd.*Kdvda.*ROs
kWX.*10.^-3.*VpostoptkX.*60.^-
1.*(KawjX/1./ho);MavpoptkXvX=lmbd.*Kdvda.*ROskWX.*10.^-
3.*VpostoptkX.*60.^-1.*(Kawj/1./ho);
MaKawj=1001;vMavpoptkXX=MavpoptkXvX;vMavpoptkgrminXXbREG=10.*1.3
655.*0.4516.*0.7.*0.269.*ROskWX.*10.^-3.*148.758.*60.^-
1.*(9.6676/35.77).*1000.*60;figure;plot(KawjX,Mavpoptk,KawjX,vMavpoptkXX.*1
000.*60,KawjX,vMavpoptkgrminXXbREG);grid,

Průmyslová využitelnost

5

Řešení může být využito ve všech podnicích, provozovnách a na výzkumných pracovištích, které se zabývají dělením technických materiálů hydroabrazivní technologií.

PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Způsob stanovení konstanty hydroabrazivní dělitelnosti materiálu Kawj potřebné pro algoritmy při výpočtu technologických parametrů pro řez materiálu, prováděného pomocí obráběcího stroje hydroabrazivní soupravy, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že se provede zkušební řez v obráběném materiálu, změří se hloubka provedeného řezu h_x , v této hloubce se změří lokální drsnost Ra_x a lokální odchylka řezné stopy od normálové roviny $Yret_x$ a z těchto změřených pa-
10 metrů se Kawj stanoví dle vztahu:

$$Kawj = \frac{Ra_x \cdot h_x}{Yret_x} \quad [\mu m],$$

, kde h_x [mm] je hloubka provedeného řezu materiálu, Ra_x [μm] je lokální drsnost materiálu na stěně řezu v hloubce řezu h_x , $Yret_x$ [mm] je odchylka řezné stopy od normálové roviny v hloubce h_x materiálu $Yret_x$ [mm]

15

nebo se změří odchylka řezné stopy od normálové roviny $Yret_x$ v etalonové hloubce h_{et} a konstanta hydroabrazivní dělitelnosti materiálu Kawj se stanoví dle vztahů:

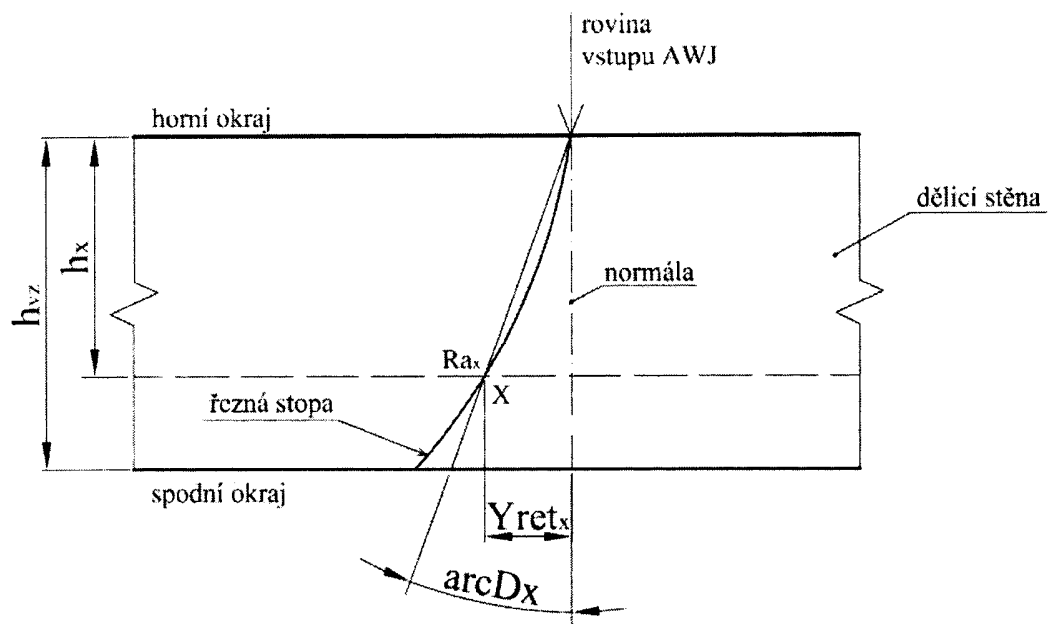
$$Emat = \sqrt[4]{\frac{10^{24} \cdot Yret_x}{Yret_{et} \cdot Kawj_{et}^2}} \text{ [MPa]}, \text{ a } Kawj = \frac{10^{12}}{Emat^2} \quad [\mu m],$$

20

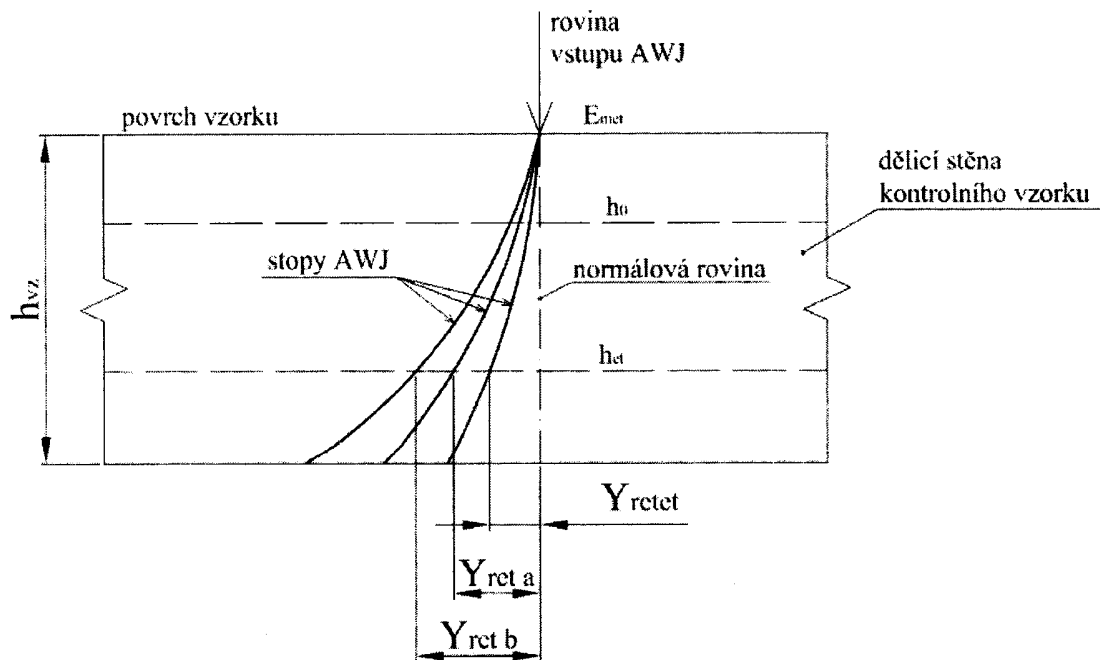
kde $Yret_{et}$ [mm] je odchylka řezé stopy od normálové roviny v hloubce h_{et} [mm] etalonu, $Kawj_{et}$ [μm] je konstanta hydroabrazivní dělitelnosti etalonu a $Yret_x$ [mm] je odchylka řezné stopy od normálové roviny v hloubce h_{et} [mm] materiálu.

25

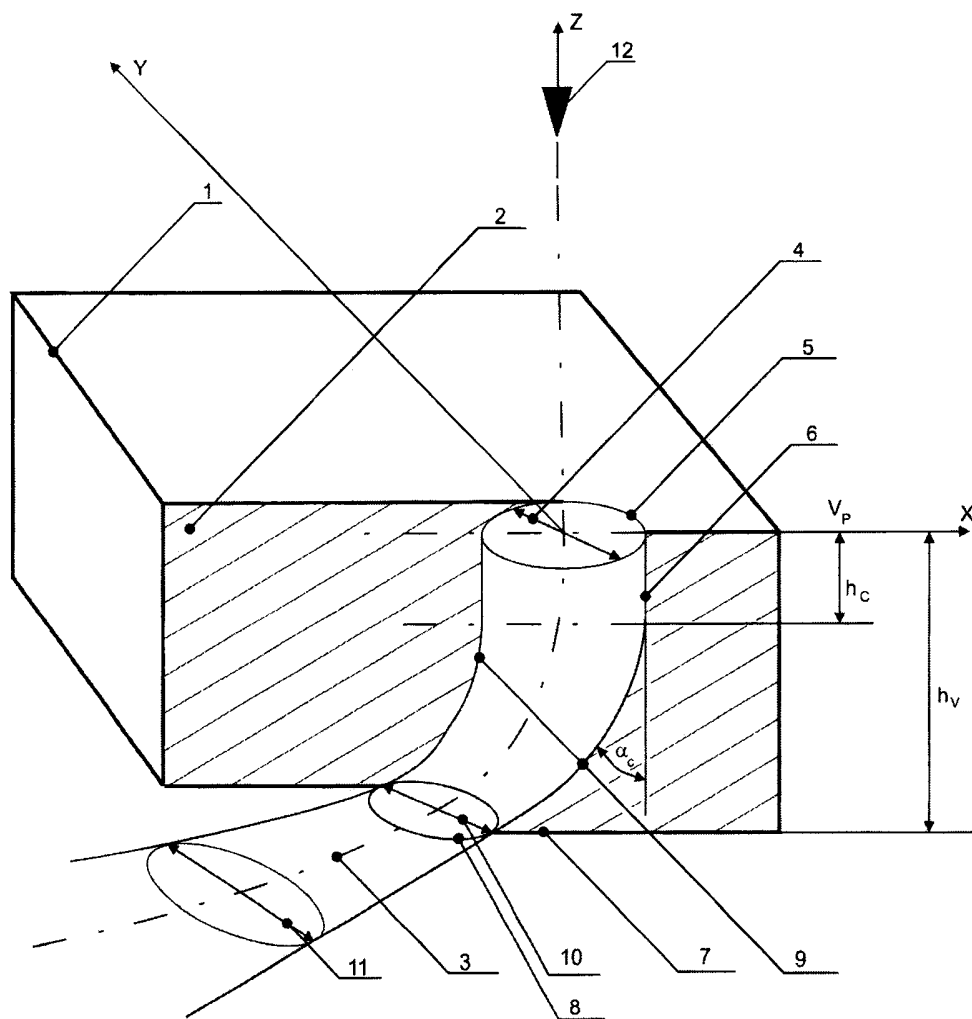
19 výkresů



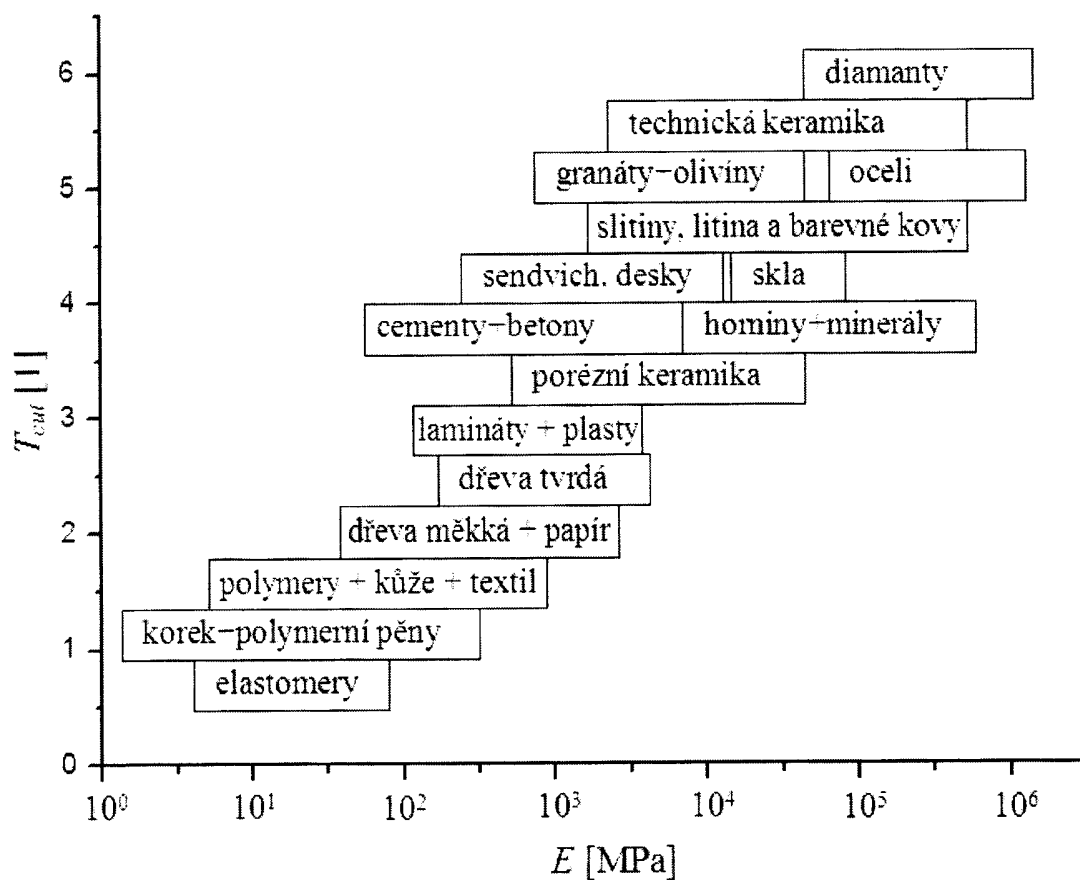
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 4



Obr. 5

SL.	TECHNOLOGICKÉ FAKTORY	JEDNOTKA	ZNAČKA	HODNOTA
1	Tlak kapaliny	MPa	p	300
2	Průměr vodní trysky	mm	dv_o	0,247
3	Průměr abrazivní trubice	mm	d_{abro}	0,752
4	Délka abrazivní trubice	mm	l_a	76
5	Hmotnostní průtok abraziva	g/min	m_a	250
6	Vzdálenost trysky od povrchu	mm	L	2
7	Posuvná rychlost	mm/min	v_{popt}	150
8	Velikost abraziva	MESH	-	80
9	Materiál abraziva	-	-	Granát Barton

Obr. 6

SL.	PARAMETR / MATERIÁL dle ČSN	JEDN.	SYMB.	17251	13180	SnPb40
1	Koeficient hydroabrazivní dělitelnosti	μm	Kawj	35,770	15,203	591,672
2	Modul pružnosti v tahu	GPa	Emat	167,200	256,466	41,110
3	Cena el. energie	Kč/kW	Ckwhod	3,500	3,500	3,500
4	Objem. podíl abraziva v proudu AWJ	l	lambda	0,700	0,700	0,700
5	Průměr abrazivního zrna	mm	dazr	0,188	0,188	0,188
6	Volba průměru abrazivní dýzy	mm	da	0,752	0,752	0,752
7	Hloubka řezu volená/požadovaná	mm	h _x	8,000	8,000	8,000
8	Poměr průměrů dýz Dv/Dabr volený	l	Kdvdao	0,329	0,329	0,329
9	Měrná hmotnost abraziva	kg/m ³	Roa	3,400	3,400	3,400
10	Měrná hmotnost vody	g/cm ³	Rov	1,000	1,000	1,000
11	Měrná hmotnost celková proudu AWJ	g/cm ³	Roj	1,300	1,300	1,300
12	Drsnost stopy v neutrální rovině h ₀	μm	Ra ₀	3,700	3,700	3,700
13	Odchylka stopy od normálové roviny v neutr. rovině h ₀	mm	Yret ₀	1,000	1,000	1,000
14	Třída dělitelnosti techn. AWJ	l	Tcut	5,223	5,409	4,614
15	Limitní hloubka řezu	mm	Hlim	35,770	15,203	591,67
16	Koeficient řezatelnosti	mm	Kawj	35,770	15,203	591,67
17	Hloubka neutrální roviny	mm	h ₀	9,668	4,109	159,91
18	Napětí na mezi kluzu v neutrální rovině	MPa	SIGklo	408,90	506,42	34,513
19	Drsnost radiální v neutrální rovině h ₀	μm	Rarado	9,049	7,306	18,248
20	Drsnost komplexní v neutrální rovině	μm	Raskyo	9,102	7,332	18,381
21	Úhel zakřivení stopy v neutr. rovině	grad	arcDo	5,930	13,951	0,359
22	Rychlost posuvu optimální	mm/min	Vpopt	148,76	120,11	300,00
23	Tlak čerpadla optimální	MPa	Pvpopt	171,81	212,78	85,19
24	Ekvivalent hm. mat. křehkých výpočtový	g/cm ³	ROskd	2,109	2,432	1,321
25	Ekvivalent hm. mat. kovových výpočtový	g/cm ³	ROskW	7,507	9,457	3,519
26	Průtok abraziva volený	kg/min	Maho	0,004	0,004	0,004
27	Poměr průměrů dýz Dv/Dabr optimální	l	Kdvda	0,269	0,333	0,133
28	Drsnost stopy v libovolné rovině h _x	μm	Ra _x	2,881	11,106	0,137
29	Drsnost radiální v libovolné rovině h _x	μm	Ra _{radx}	7,49	14,22	0,913
30	Odchylka stopy od normálové roviny v libovolné rovině h _x	mm	Yret _x	0,644	5,844	0,002
31	Úhel zakřivení stopy v libovolné rovině h _x	grad	arcDx	4,617	41,875	0,013
32	Hloubka pásma plasticity v řezu	mm	hp	17,885	7,602	295,836
33	Pevnost mat. výpočtová	MPa	SIGm	665,52	1570,0	40,235
34	Drsnost komplexní v libovolné rovině h _x	μm	Raskyx	7,544	14,274	3,019
35	Silový odpor stopy v neutr. rovině h ₀	N	Fcutsto	167,20	256,47	41,111
36	Silový odpor stopy v libovolné rovině h _x	N	Fcutstx	130,18	769,81	1,523
37	Napětí komplexní v neutr. rovině h ₀	MPa	SIGcutsko	167,20	256,47	41,111
38	Napětí komplexní ve volené rovině h _x	MPa	SIGcutskx	138,58	499,29	6,752

39	Drsnost stopy v rovině pásma plasticity hp	μm	Rap	10,000	10,000	10,000
40	Drsnost radiální v rovině pásma plasticity hp	μm	Raradp	16,740	13,516	33,759
41	Odchylka stopy od normálové roviny v rovině pásma hp	mm	Yretp	5,000	5,000	5,000
42	Deviace stopy v rovině pásma plasticity hp	grad	arcDp	16,026	37,705	0,969
43	Drsnost komplexní v rovině pásma plasticity hp	μm	Raskyp	16,801	13,563	33,857
44	Napětí komplexní v rovině pásma plasticity hp	N	SIGcutskp	308,63	474,43	75,73
45	Plocha kontaktu v neutr. rovině h_0	mm^2	Scuto	1,000	1,000	1,000
46	Plocha kontaktu v rovině pásma plasticity hp	mm^2	Scutp	1,464	1,461	1,467
47	Konstanta pro zrnitost	l	Kzro	0,001	0,001	0,001
48	Objem úběru v neutr. rovině h_0	mm^3	Udho	0,026	0,011	0,432
49	Objem úběru v rovině pásma plasticity hp	mm^3	Udhp	0,026	0,011	0,434
50	Plocha kontaktu v libovolné rovině h_x	mm^2	Scutx	0,939	1,542	0,226
51	Objem úběru v libovolné rovině h_x	mm^3	Udhx	0,026	0,011	0,132
52	Váha okamž. úběru křehkého materiálu pro h_0	mg	Gudhod	0,055	0,027	0,571
53	Váha okamž. úběru křehkého materiálu pro hp	mg	Gudhpd	0,055	0,027	0,574
54	Váha okamž. úběru křehkého materiálu pro h_x	mg	Gudhxd	0,055	0,027	0,174
55	Váha okamž. úběru kovového materiálu pro h_0	mg	Gudhow	0,196	0,105	1,500
56	Délka třísky v neutr. rovině h_0	μm	dhmcmo	26,107	11,098	431,765
57	Délka třísky v rovině pásma plasticity hp	μm	dhmcmp	17,887	7,604	295,838
58	Délka třísky v libovolné rovině h_x	μm	dhmcmx	27,775	7,210	583,747
59	Zrnitost drtě v neutr. rovině h_0	μm	Dzrrasto	0,038	0,090	0,002
60	Zrnitost drtě v rovině pásma plasticity hp	μm	Dzrrastp	0,056	0,132	0,003
61	Zrnitost drtě v libovolné rovině h_x	μm	Dzrrastx	0,036	0,139	0,002
62	Váha okamž. úběru kovového materiálu pro hp	mg	Gudhpw	0,197	0,105	1,500
63	Váha okamž. úběru kovového materiálu pro h_x	mg	Gudhwx	0,196	0,105	0,463
64	Napěťová složka SIGy na hloubce h_x	MPa	SIGyx	659,43	1160,0	0,007
65	Napěťová složka SIGx na hloubce h_x	MPa	SIGxx	6,09	408,99	40,228
66	Napěťová složka normál. SIGn na hloubce h_x	MPa	SIGnx	-653,34	-747,88	40,221
67	Smyková složka Tau na hloubce h_x	MPa	Taux	-62,23	-328,53	0,534
68	Smyková složka TauV na hloubce h_x	MPa	TauVx	-62,23	-328,53	0,534
69	Napěťová složka SIGy na hloubce h_0	MPa	SIGyo	79,84	1510,0	4,953
70	Napěťová složka SIGx na hloubce h_0	MPa	SIGxo	585,68	53,67	35,283
71	Napěťová složka normál. SIGn na hloubce h_0	MPa	SIGno	505,83	-1460,0	30,330
72	Smyková složka Tau na hloubce h_0	MPa	Tauo	-164,36	-265,35	9,965
73	Smyková složka TauV na hloubce h_0	MPa	TauVo	-164,36	-265,35	9,965
74	Napěťová složka SIGy na hloubce hp	MPa	SIGyp	64,935	0,060	27,335
75	Napěťová složka SIGx na hloubce hp	MPa	SIGxp	600,6	1570,0	12,9
76	Napěťová složka normál. SIGn na hloubce hp	MPa	SIGnp	535,7	1570,0	-14,4
77	Smyková složka Tau na hloubce hp	MPa	Taup	158,945	9,696	-6,737

78	Smyková složka TauV na hloubce h_p	MPa	TauVp	154,521	0,332	3,709
79	Penetrační čas pro limitní hloubku řezu Hlim	sec	Tpopt	1,492	1,848	0,740
80	Penetrační čas pro hloubku h_x	sec	Tphxopt	0,334	0,973	0,010
81	Hmotnostní průtok abraziva pro hloubku h_0	kg/s	Mavpopt	0,008	0,009	0,003
82	Hmotnostní průtok abraziva pro hloubku h_x	kg/s	Mavpoptx	0,001	0,004	0,000
83	Poissonova konstanta na úrovni h_0	l	Mio	0,307	0,162	2,520
84	Práce řezného nástroje střední	J	Acelstr	2,744	12,021	0,228
85	Napětí na mezi kluzu v neutrální rovině h_0	MPa	SIGyieldo	408,90	506,42	202,76
86	Penetrační čas pro hloubku h_0	sec	Tphxopto	0,403	0,500	0,200
87	Spotřeba el. energie za hodinu pro řezání	kWh	Nstrhod	24,496	86,635	4,111
88	Cena el. energie za hodinu řezání	Kč/hod	Ccutxhod	85,735	303,222	14,387
89	Metráž za hodinu při hloubce řezu h_0	m/hod	Lhxcuthod	8,926	7,207	18,000
90	Metráž za směnu při hloubce řezu h_0	m/sm	Lhxcutsm	62,479	50,447	126,00
91	Metráž za rok při hloubce řezu h_0	km/rok	Lhxcutrok	17,494	14,100	35,300
92	Náklady na metr řezu při hloubce řezu h_0	Kč/m	CcelLhj	96,056	420,749	7,993
93	Náklady pro řez za směnu při hloubce řezu h_0	tisKč/sm	Ccelxsm	6,001	21,200	1,010
94	Náklady pro řez za rok při hloubce řezu h_0	tis.Kč/rok	Ccelxrok	1680,0	5940,0	282,0
95	Náklady pro řez za hodinu při hloubce řezu h_0	Kč/hod	Ccelxhod	857,3	3030,0	143,9
96	Poměr průměrů dýz Dv/Dabr/optimaliz. volby	l	Kdvdak	0,269	0,333	0,198
97	Průměr abrazivní dýzy/optimalizace volby	mm	damm	0,890	0,999	0,610
98	Průměr vodní dýzy/optimalizace volby	mm	dvm	0,240	0,333	0,081
99	Napětí abrazivní na úrovni hloubce h_0	MPa	SIGabro	237,09	293,64	117,57
100	Plocha abraze v radiálním směru na hloubce h_0	mm ²	Sraskho	0,088	0,030	2,939
101	Abrazivní síla v radiálním směru na hloubce h_0	N	FabrskVo	20,868	8,944	369,06
102	Plocha abraze ve stopě na hloubce h_0	mm ²	Sraho	0,036	0,015	0,592
103	Abrazivní síla v radiálním směru na hloubce h_0	N	FabrskVo	20,868	8,944	369,06
104	Abrazivní síla ve stopě na hloubce h_0	N	FabrVo	8,483	4,514	74,290
105	Hmotnostní průtok abraziva hodinový/kovy	Kg/hod	Mahodk	27,360	58,813	21,885
106	Hmotnostní průtok abraziva hodinový/nekovy	Kg/hod	Mahodn	12,617	15,896	5,915
107	Ukazatel nákladů podle typu materiálu	l	Knaklm	1,398	11,990	0,312
108	Ukazatel nákladů podle změny technologie	l	Knkawj	1,398	11,990	0,312
109	Ukazatel poměru ceny výkonu k nákl. základu	l	KcelVN	1,000	0,665	0,360
110	Ukazatel cenové kompenzace k základu	l	Kckomp	1,000	1,504	2,774

Obr. 7

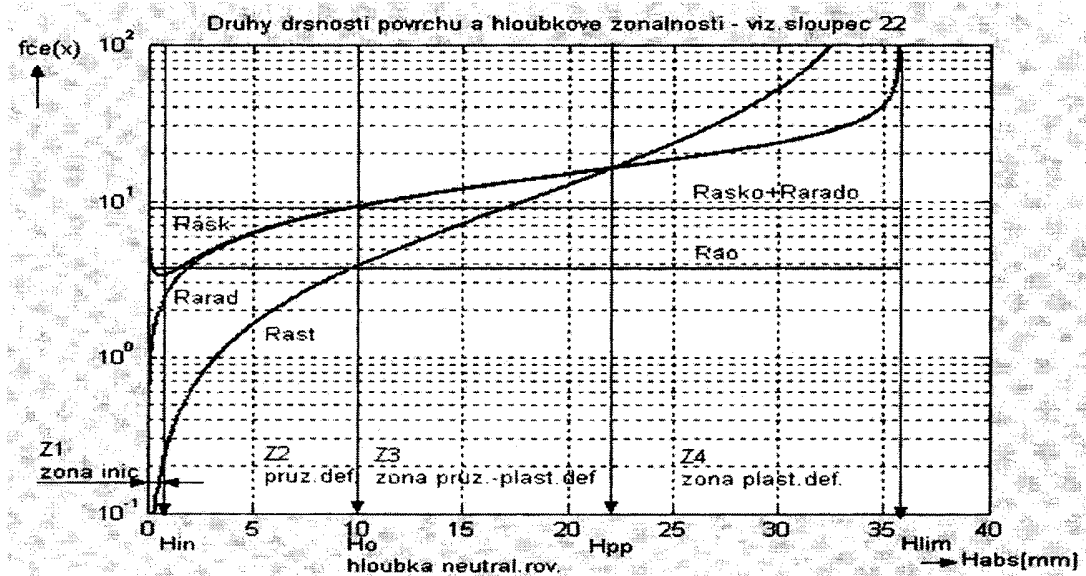
SL.	PARAMETR / MATERIÁL dle ČSN	JEDN.	SYMB.	11140	Cu 99,5	17618
1	Koeficient hydroabrazivní dělitelnosti	μm	Kawj	21,284	106,423	45,653
2	Modul pružnosti v tahu	GPa	Emat	216,753	96,935	148,010

3	Cena el. energie	Kč/kW	Ckwhod	3,500	3,500	3,500
4	Objem. podíl abraziva v proudu AWJ	l	lambda	0,700	0,700	0,700
5	Průměr abrazivního zrna	mm	dazr	0,188	0,188	0,188
6	Volba průměru abrazivní dýzy	mm	da	0,752	0,752	0,752
7	Hloubka řezu volená/požadovaná	mm	h _x	8,000	8,000	8,000
8	Poměr průměrů dýz Dv/Dabr volený	l	Kdvdao	0,329	0,329	0,329
9	Měrná hmotnost abraziva	kg/m ³	Roa	3,400	3,400	3,400
10	Měrná hmotnost vody	g/cm ³	Rov	1,000	1,000	1,000
11	Měrná hmotnost celková proudu AWJ	g/cm ³	Roj	1,300	1,300	1,300
12	Drsnost stopy v neutrální rovině h _o	μm	Ra _o	3,700	3,700	3,700
13	Odchylka stopy od normály v neutr. rovině h _o	mm	Yret _o	1,000	1,000	1,000
14	Třída dělitelnosti techn. AWJ	l	Tcut	5,336	4,987	5,170
15	Limitní hloubka řezu	mm	Hlim	21,284	106,42	45,653
16	Koeficient řezatelnosti	mm	Kawj	21,284	106,42	45,653
17	Hloubka neutrální roviny	mm	h _o	5,753	28,763	12,339
18	Napětí na mezi kluzu v neutrální rovině	MPa	SIGklo	465,57	98,76	384,71
19	Drsnost radiální v neutrální rovině h _o	μm	Rarado	7,947	11,884	9,618
20	Drsnost komplexní v neutrální rovině	μm	Raskyo	7,984	11,973	9,679
21	Úhel zakřivení stopy v neutr. rovině	grad	arcDo	9,965	1,993	4,646
22	Rychlost posuvu optimální	mm/min	Vpopt	130,65	195,37	158,11
23	Tlak čerpadla optimální	MPa	Pvpopt	195,62	130,82	161,64
24	Ekvivalent hm. mat. křehkých výpočtový	g/cm ³	ROskd	2,300	1,759	2,025
25	Ekvivalent hm. mat. kovových výpočtový	g/cm ³	ROskW	8,636	5,592	7,028
26	Průtok abraziva volený	kg/min	Maho	0,004	0,004	0,004
27	Poměr průměrů dýz Dv/Dabr optimální	l	Kdvda	0,306	0,205	0,253
28	Drsnost stopy v libovolné rovině h _x	μm	Ra _x	6,022	0,813	2,125
29	Drsnost radiální v libovolné rovině h _x	μm	Ra _{radx}	11,052	3,305	6,236
30	Odchylka stopy od normály v libovolné rovině h _x	mm	Yret _x	2,263	0,061	0,372
31	Úhel zakřivení stopy v libovolné rovině h _x	grad	arcDx	16,218	0,438	2,668
32	Hloubka pásma plasticity v řezu	mm	hp	10,642	53,212	22,827
33	Pevnost mat. výpočtová	MPa	SIGm	1110,0	224,00	521,45
34	Drsnost komplexní v libovolné rovině h _x	μm	Raskyx	11,095	3,635	6,315
35	Silový odpor stopy v neutr. rovině h _o	N	Fcutsto	216,75	96,94	148,00
36	Silový odpor stopy v libovolné rovině h _x	N	Fcutstx	352,78	21,29	84,98
37	Napětí komplexní v neutr. rovině h _o	MPa	SIGcutsko	216,75	96,94	148,00
38	Napětí komplexní ve volené rovině h _x	MPa	SIGcutskx	301,22	29,430	96,563
39	Drsnost stopy v rovině pásma plasticity hp	μm	Rap	10,000	10,000	10,000
40	Drsnost radiální v rovině pásma plasticity hp	μm	Raradp	14,703	21,985	17,793
41	Odchylka stopy od normály v rovině pásma hp	mm	Yretp	5,000	5,000	5,000
42	Úhel zakřivení stopy v rovině pásma plasticity hp	grad	arcDp	26,932	5,387	12,556

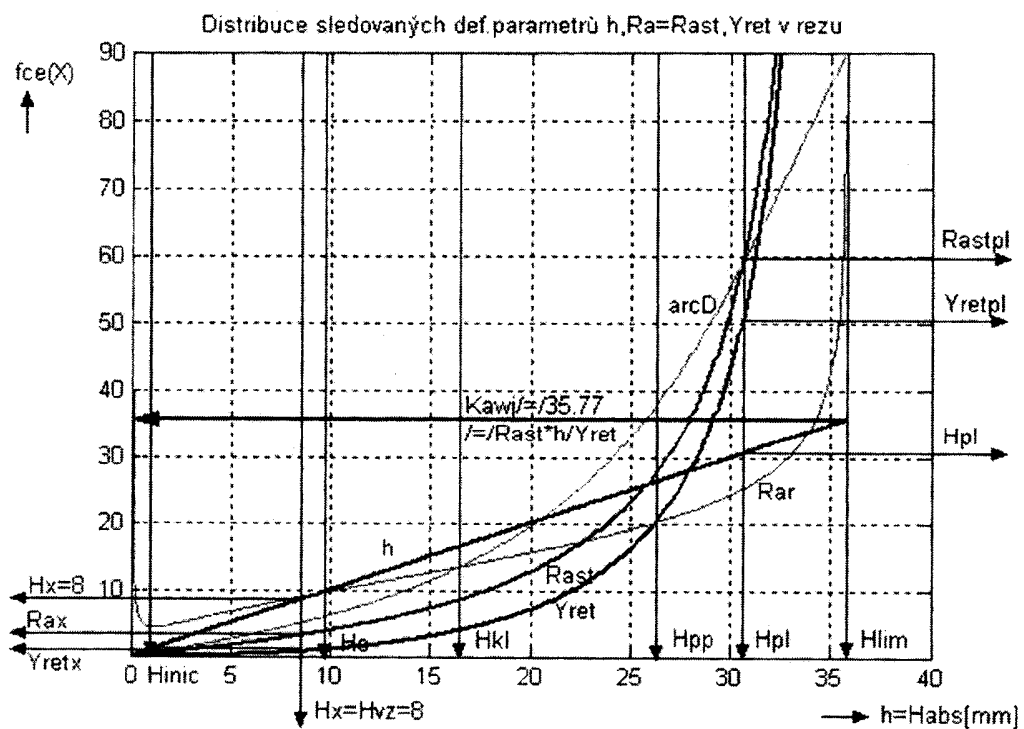
43	Drsnost komplexní v rovině pásma plasticity h_p	μm	Raskyp	14,755	22,064	17,858
44	Napětí komplexní v rovině pásma plasticity h_p	N	SIGcutskp	400,60	178,63	273,06
45	Plocha kontaktu v neutr. rovině h_0	mm^2	Scuto	1,000	1,000	1,000
46	Plocha kontaktu v rovině pásma plasticity h_p	mm^2	Scutp	1,462	1,467	1,465
47	Konstanta pro zrnitost	l	Kzro	0,001	0,001	0,001
48	Objem úběru v neutr. rovině h_0	mm^3	Udho	0,016	0,078	0,033
49	Objem úběru v rovině pásma plasticity h_p	mm^3	Udhp	0,016	0,078	0,033
50	Plocha kontaktu v libovolné rovině h_x	mm^2	Scutx	1,171	0,724	0,880
51	Objem úběru v libovolné rovině h_x	mm^3	Udhx	0,016	0,071	0,033
52	Váha okamžitého úběru křehkého materiálu pro h_0	mg	Gudhod	0,036	0,137	0,675
53	Váha okamžitého úběru křehkého materiálu pro h_p	mg	Gudhpd	0,036	0,137	0,068
54	Váha okamžitého úběru křehkého materiálu pro h_x	mg	Gudhxd	0,036	0,125	0,067
55	Váha okamžitého úběru kovového materiálu pro h_0	mg	Gudhow	0,134	0,434	0,234
56	Délka třísky v neutr. rovině h_0	μm	dhmcmo	15,536	77,664	33,319
57	Délka třísky v rovině pásma plasticity h_p	μm	dhmcmp	10,644	53,214	22,829
58	Délka třísky v libovolné rovině h_x	μm	dhmcmx	13,288	98,437	37,660
59	Zrnitost drtě v neutr. rovině h_0	μm	Dzrrasto	0,064	0,013	0,030
60	Zrnitost drtě v rovině pásma plasticity h_p	μm	Dzrrastp	0,094	0,019	0,044
61	Zrnitost drtě v libovolné rovině h_x	μm	Dzrrastx	0,075	0,010	0,027
62	Váha okamžitého úběru kovového materiálu pro h_p	mg	Gudhpdw	0,134	0,436	0,235
63	Váha okamžitého úběru kovového materiálu pro h_x	mg	Gudhxdw	0,134	0,398	0,233
64	Napětíová složka SIGy na hloubce h_x	MPa	SIGyx	266,96	40,21	108,57
65	Napětíová složka SIGx na hloubce h_x	MPa	SIGxx	851,50	183,48	412,88
66	Napětíová složka normálová SIGn na hloubce h_x	MPa	SIGnx	584,55	143,28	304,31
67	Smyková složka Tau na hloubce h_x	MPa	Taux	249,18	55,01	-123,56
68	Smyková složka TauV na hloubce h_x	MPa	TauVx	249,18	55,01	-123,56
69	Napětíová složka SIGy na hloubce h_0	MPa	SIGyo	295,81	186,13	519,15
70	Napětíová složka SIGx na hloubce h_0	MPa	SIGxo	822,65	37,560	2,303
71	Napětíová složka normálová SIGn na hloubce h_0	MPa	SIGno	526,84	-148,573	-516,85
72	Smyková složka Tau na hloubce h_0	MPa	Tauo	232,36	55,534	-34,273
73	Smyková složka TauV na hloubce h_0	MPa	TauVo	232,36	55,534	-34,273
74	Napětíová složka SIGy na hloubce h_p	MPa	SIGyp	1060,0	137,00	0,052
75	Napětíová složka SIGx na hloubce h_p	MPa	SIGxp	57,507	87,150	521,40
76	Napětíová složka normálová SIGn na hloubce h_p	MPa	SIGnp	-1000,0	-49,392	521,35
77	Smyková složka Tau na hloubce h_p	MPa	Taup	221,606	24,087	-5,181
78	Smyková složka TauV na hloubce h_p	MPa	TauVp	52,628	48,270	-0,022
79	Penetrační čas pro limitní hloubku řezu Hlim	sec	Tpopt	1,699	1,136	1,404
80	Penetrační čas pro hloubku h_x	sec	Tphxopt	0,639	0,085	0,246

81	Hmotnostní průtok abraziva pro hloubku h_0	g/s	Mavpopt	8,000	5,200	6,600
82	Hmotnostní průtok abraziva pro hloubku h_x	g/s	Mavpoptx	2,600	0,223	0,807
83	Poissonova konstanta na úrovni h_0	l	Mio	0,208	0,381	0,369
84	Práce řezného nástroje střední	J	Acelstr	6,855	0,640	1,739
85	Napětí na mezi kluzu na úrovni neutr. roviny h_0	MPa	SIGyieldo	465,57	311,34	384,71
86	Penetrační čas pro hloubku h_0	sec	Tphxopto	0,459	0,307	0,380
87	Spotřeba el. energie za hodinu pro řezání	kWh	Nstrhod	53,739	7,502	16,500
88	Cena el. energie za hodinu řezání	Kč/hod	Ccutxhod	188,09	26,258	57,751
89	Metráž za hodinu při hloubce řezu h_0	m/hod	Lhxcuthod	7,839	11,722	9,487
90	Metráž za směnu při hloubce řezu h_0	m/sm	Lhxcutsm	54,874	82,056	66,408
91	Metráž za rok při hloubce řezu h_0	km/rok	Lhxcutrok	15,400	23,000	18,600
92	Náklady na metr řezu při hloubce řezu h_0	Kč/m	Ccellhj	239,933	22,400	60,875
93	Náklady pro řez za směnu při hloubce řezu h_0	tis.Kč/r	Ccelxsm	13,200	1,840	4,040
94	Náklady pro řez za rok při hloubce řezu h_0	tis.Kč/r	Ccelxrok	3690,0	515,0	1130,0
95	Náklady pro řez za hodinu při hloubce řezu h_0	Kč/hod	Ccelxhod	1880,0	263,00	577,51
96	Poměr průměrů dýz Dv/Dabr - optimalizace volby	l	Kdvdak	0,306	0,205	0,253
97	Průměr abrazivní dýzy - optimalizace volby	mm	damm	0,955	0,769	0,862
98	Průměr vodní dýzy - optimalizace volby	mm	dvmm	0,293	0,157	0,218
99	Napětí abrazivní na úrovni hloubce h_0	MPa	SIGabro	269,95	180,53	223,07
100	Plocha abraze v radiálním směru na hloubce h_0	mm ²	Sraskho	0,046	0,344	0,119
101	Abrazivní síla v radiálním směru na hloubce h_0	N	FabrskVo	12,436	63,257	26,69
102	Plocha abraze ve stopě na hloubce h_0	mm ²	Sraho	0,021	0,106	0,046
103	Abrazivní síla v radiálním směru na hloubce h_0	N	FabrskVo	12,436	63,257	26,691
104	Abrazivní síla ve stopě na hloubce h_0	N	FabrVo	5,763	19,548	10,203
105	Hmotnostní průtok abraziva hodinový - kovy	Kg/hod	Mahodk	53,706	34,778	23,760
106	Hmotnostní průtok abraziva hodinový - nekovy	Kg/hod	Mahodn	14,515	9,399	11,812
107	Ukazatel nákladů podle typu materiálu	l	Knaklm	4,406	0,449	0,952
108	Ukazatel nákladů podle změny technologie	l	Knkawj	4,406	0,449	0,952
109	Ukazatel poměru ceny výkonu k nákladům základu	l	KcelVN	0,766	1,097	1,157
110	Ukazatel cenové kompenzace k základu	l	Kckomp	1,306	0,911	0,864

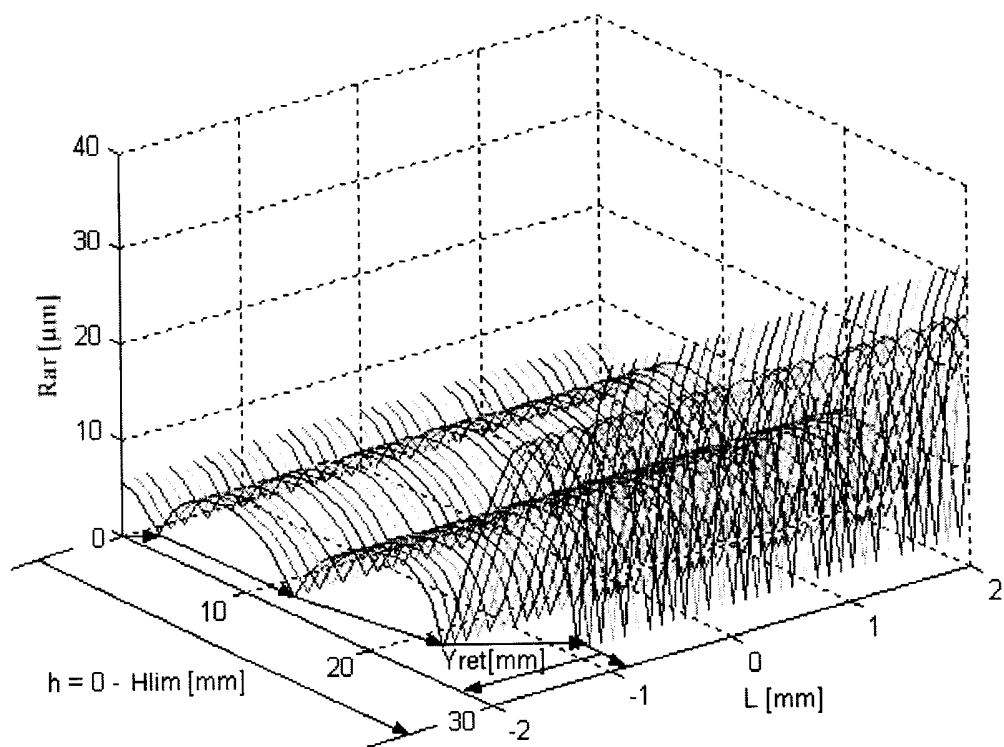
Obr. 8



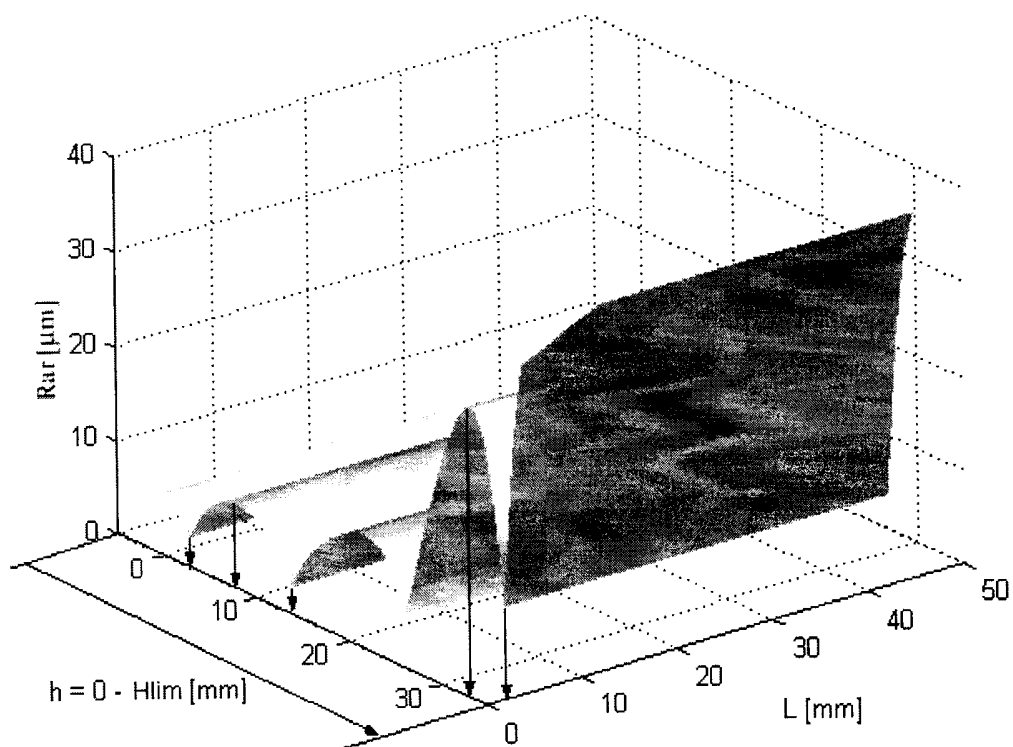
Obr. 9



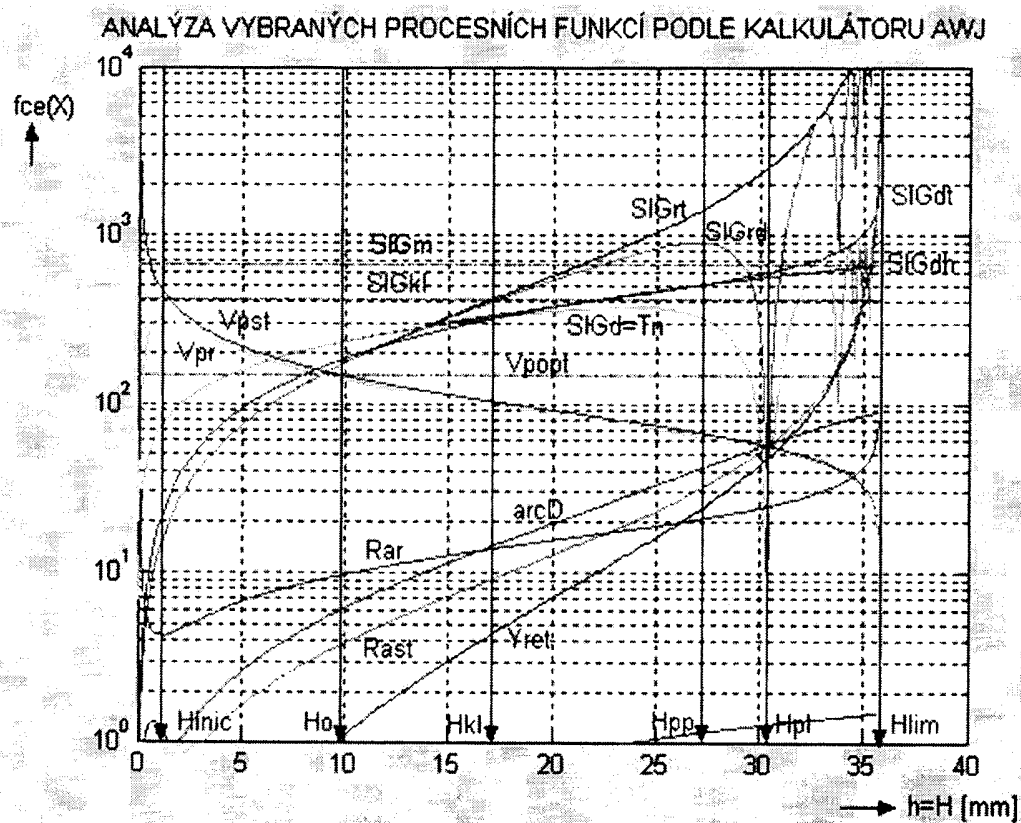
Obr. 10



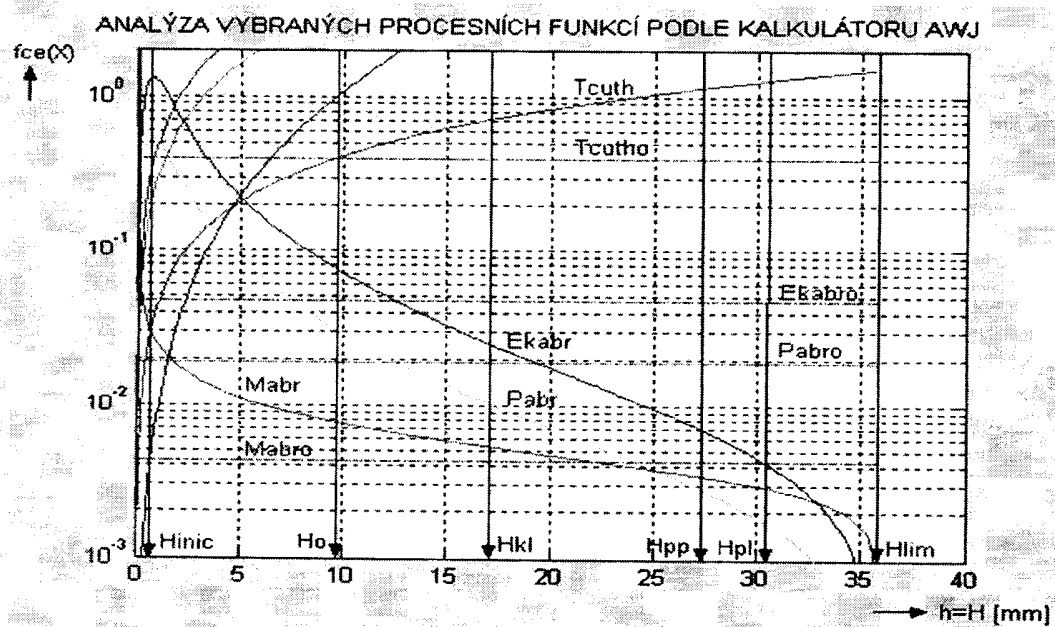
Obr. 11



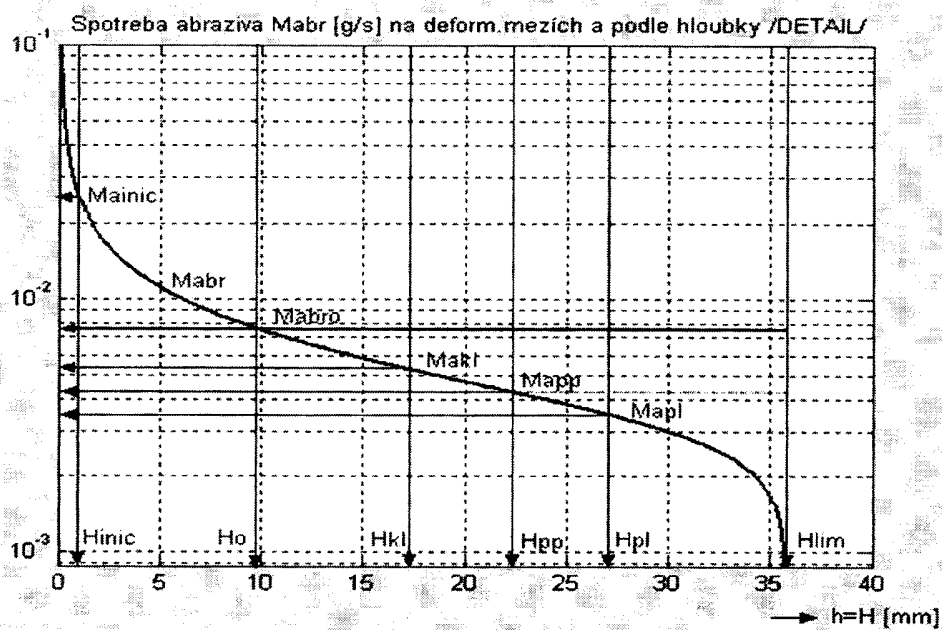
Obr. 12



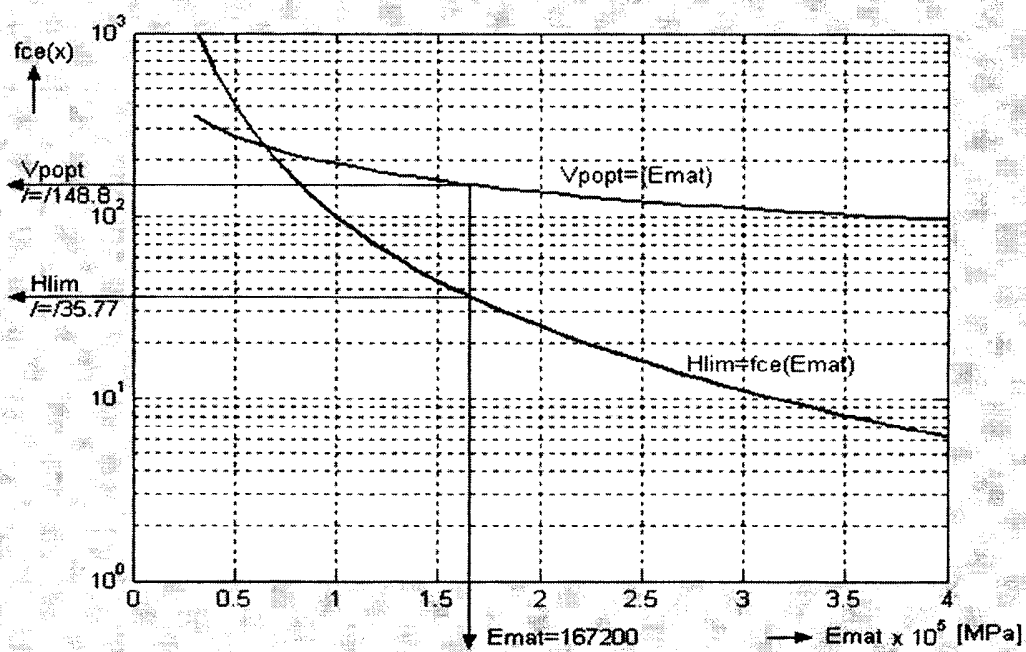
Obr. 13



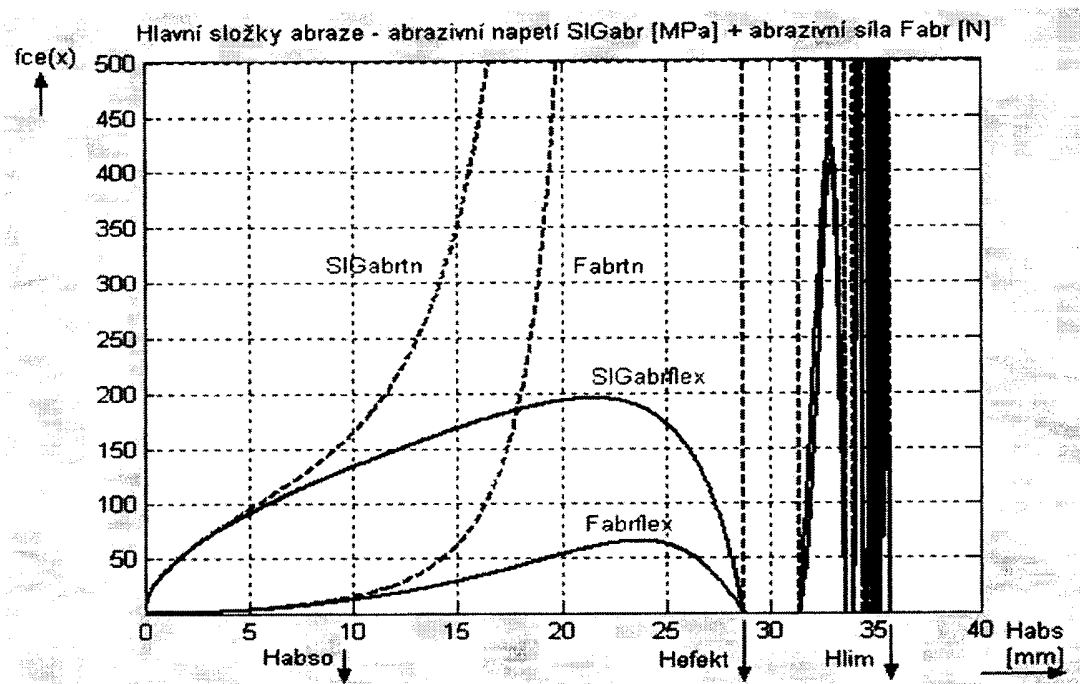
Obr. 14



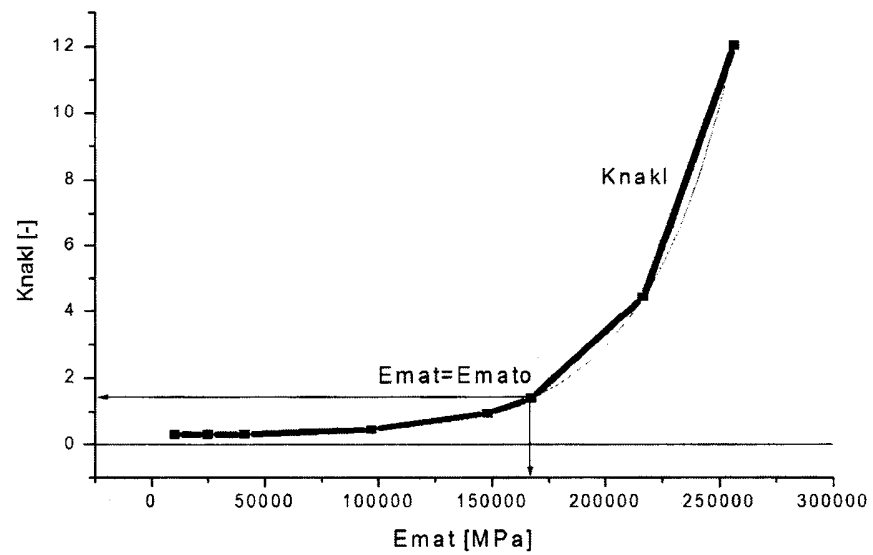
Obr. 15



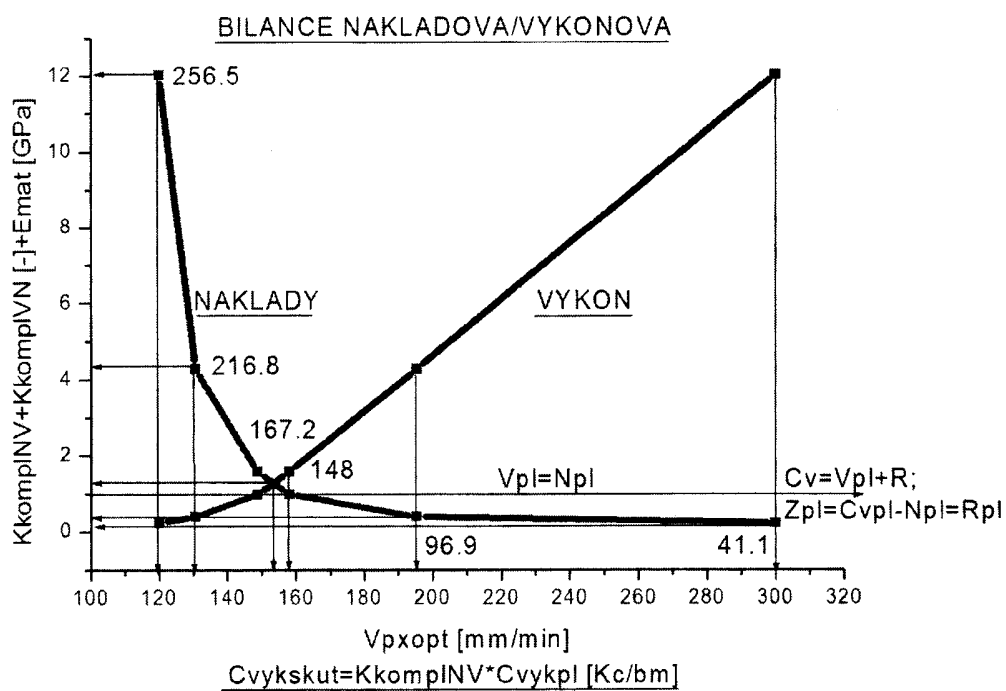
Obr. 16



Obr. 17



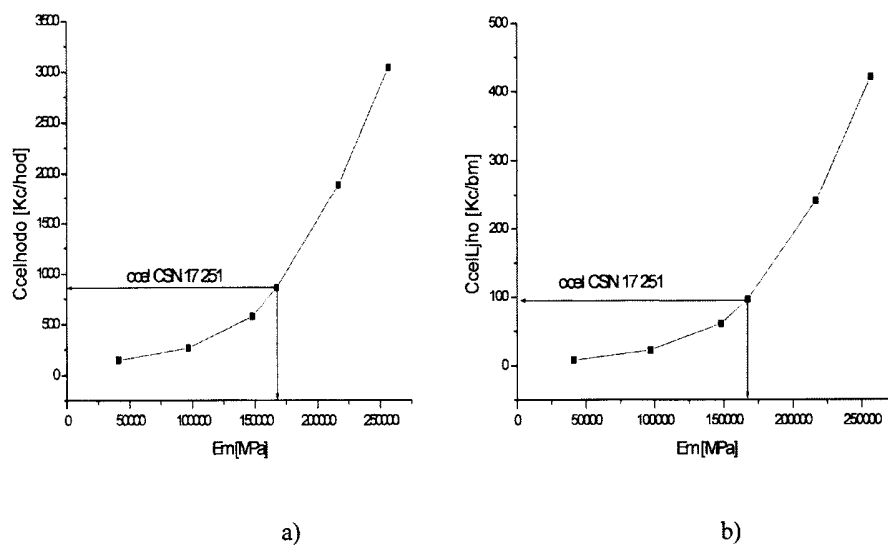
Obr. 18



Obr. 19

SL.	JEDN.	PARAM	ČSN17251	ČSN 13180	SnPb40	ČSN 11140	Cu 99.5	ČSN 17618
1	μm	Kawj	35,77	15,203	591,672	21,284	106,423	45,653
2	MPa	E m a t	167200	256466	41110	216753	96935	148010
3	mm	h_o	9,67	4,11	159,91	5,75	28,76	12,34
4	Kč/bm	CcelLhj	96,055	420,749	7,992	239,932	22,399	60,874
5	Kč/hod	Ccelhod	857,348	3,03E+03	143,8672	1,88E+03	2,63E+02	577,506

Obr. 20



Obr. 21

	Vstupní parametry	jednotka	symbol	hodnota	poznámka
1	Cena el.energie	Kč/kWh	Ckwhod	3,5	Aktualizovat dle ceny
2	Objem. podíl abraziva v proudu AWJ	l	lambda	0,7	Aktualizovat dle abraziva
3	Průměr abrazivního zrna	mm	dazr	1,88E-01	Aktualizovat dle použitého abraziva
4	Volba poměru abrazivní dýzy	mm	da=4*dazr	7,52E-01	Aktualizovat dle použitého abraziva
5	Hloubka řezu volená/požadovaná	mm	h _x	8	Aktualizovat dle požadavků zákazníka
6	Konstanta pro výpočet poměru průměrů dýz Dv/Dabr	l	Kdvdao	0,329	Hodnota trvale daná
7	Hmotnost abraziva	g/cm ³	Ro _a	3,4	Aktualizovat dle abraziva
8	Měrná hmotnost vody	g/cm ³	Ro _v	1	Hodnota trvale daná
9	Hmotnost celková proudu AWJ	g/cm ³	Ro _j	1,3	Aktualizovat podle typu abraziva
10	Drsnost stopy v neutrální rovině ho /teor. daná konst./	μm	Ra _o	3,7	Hodnota trvale daná
11	Zpoždění stopy v neutr. rovině ho /teor. daná konst./	mm	Yret _o	1	Hodnota trvale daná

Obr. 22

JEDNOTKA	SYMBOL	ČSN 17251	ČSN 13 180	slitina SnPb40
μm	Kawj	35,770	15,203	591,67
GPa	Emat	167,200	256,466	41,110
/ - /	Tcut	5,223	5,409	4,614
/ - /	Klasif. skupina	oceli	oceli	slitiny, litiny, barev. kovy
JEDNOTKA	SYMBOL	ČSN 11140	Cu 99,5	ČSN 17618
μm	Kawj	21,284	106,423	45,653
GPa	Emat	216,753	96,935	148,010
/ - /	Tcut	5,336	4,987	5,170
/ - /	Klasif. skupina	oceli	slitiny, litiny, barev. kovy	oceli

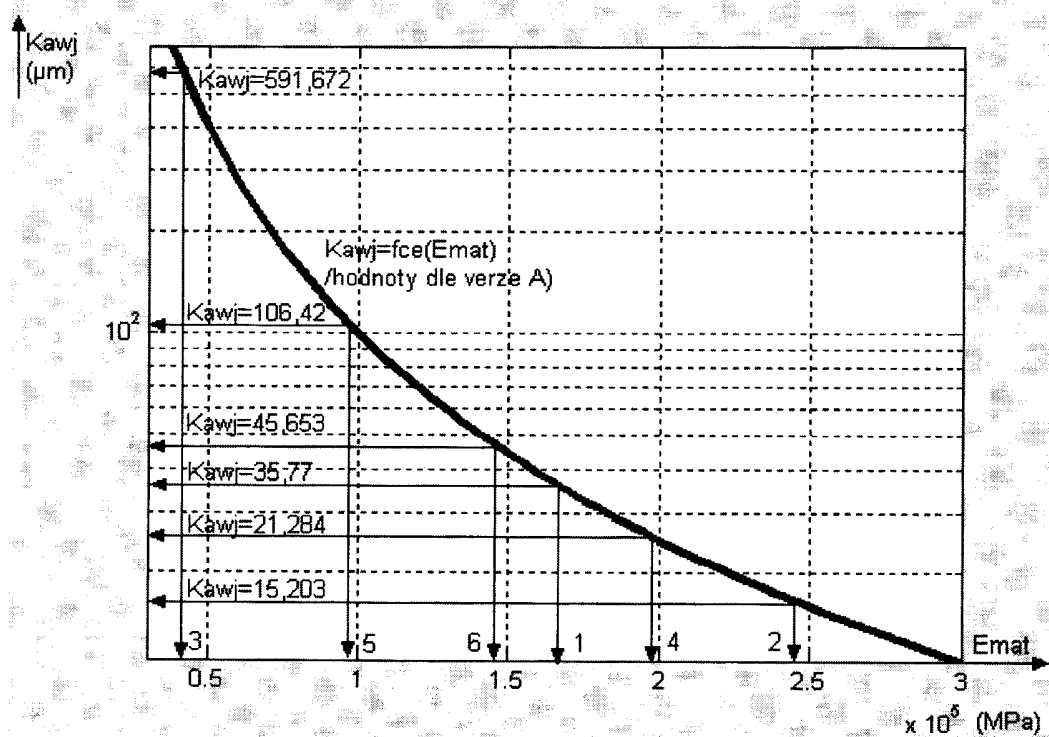
Obr. 23

č. materiálu	Materiál	Kawj (A)	Kawj (B)	průměr
		(μm)	(μm)	(μm)
1	ocel ČSN 17 251	35,77	35,221	35,171
2	ocel ČSN 13180	15,203	16,166	15,585
3	slitina SnPb40	591,672	580,077	579,429
4	ocel ČSN 11140	21,284	25,317	24,085
5	Cu 99,5	106,423	101,106	106,509
6	ocel 17 618	45,653	47,363	46,319
	průměr	136	134,208	134,516
	dif. k průměru (%)	1,104	-0,229	0

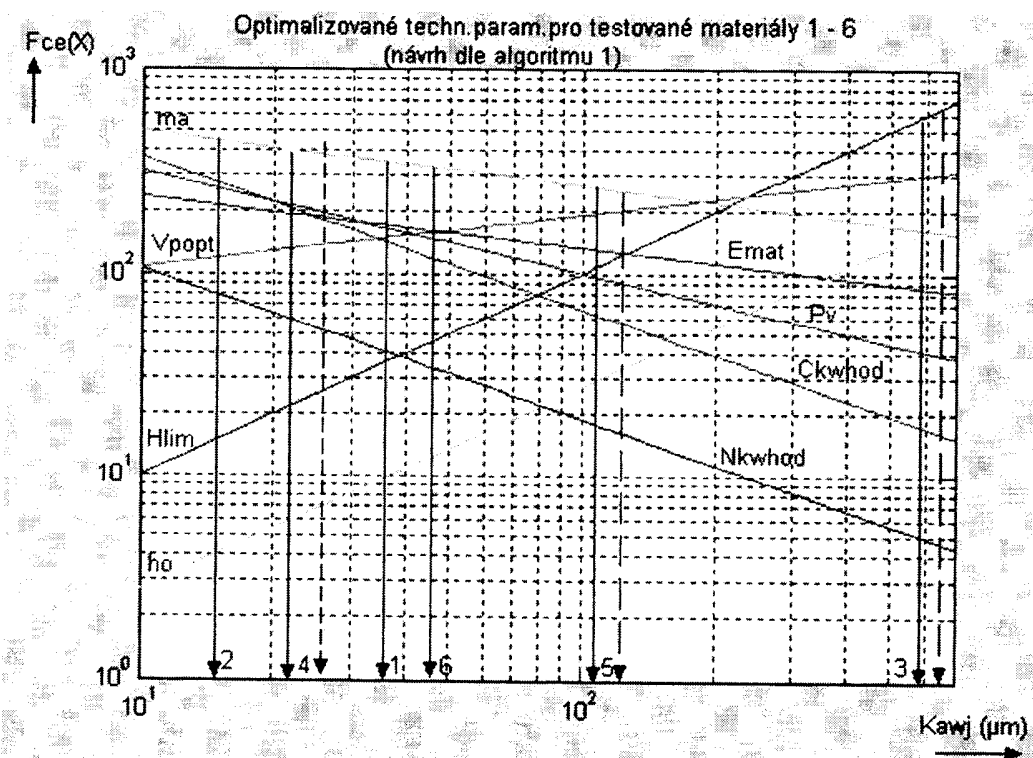
Obr. 24

č. materiálu	Materiál	dif. Kawj (A) k průměru (%)	dif. Kawj (B) k průměru (%)
-	-		
1	ocel ČSN 17 251	1,702	0,142
2	ocel ČSN 13180	-2,453	3,726
3	slitina SnPb40	2,113	0,112
4	ocel ČSN 11140	-11,631	5,114
5	Cu 99,5	-0,080	-5,072
6	ocel 17 618	-1,437	2,255

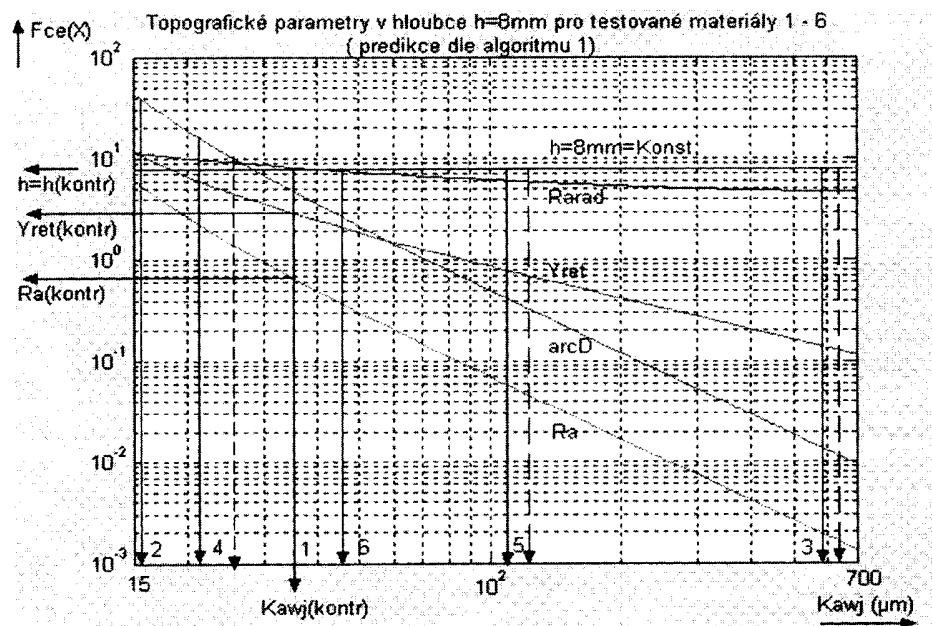
Obr. 25



Obr. 26



Obr. 27



Obr. 28

ocel ČSN 13180(mat.2)	$Kawj$	V_{popt}	P_v	m_a	H_{lim}	N_{kwhod}	C_{kwhod}	h_o	R_{arad} ($h=8\text{mm}$)
fyz.jednotka	(μm)	(mm/min)	(MPa)	(g/min)	(mm)	(kW/hod)	(Kč/hod)	(mm)	(μm)
$Kawj(A)$	16,168	121,973	314,444	434,237	16,168	79,958	279,852	4,37	11,008
$Kawj(str)$	15,835	121,34	316,022	436,684	15,835	82,163	287,57	4,28	11,123
difer. (fyz.jedn.)	0,333	0,633	-1,578	-2,447	0,333	-2,205	-7,718	0,089	-0,115
difer. (%)	2,101	0,521	-0,499	-0,56	2,101	-2,684	-2,684	2,101	-1,03389

Obr. 29

Konec dokumentu
