

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Řezání vodním paprskem

diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Milan Brožek, Csc.

Diplomant: Pavel Kaše

PRAHA 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Pavel Kaše

Zemědělská technika

Název práce

Řezání vodním paprskem

Název anglicky

Waterjet cutting

Cíle práce

shromáždit informace o technologiích používaných pro dělení kovů se zaměřením na řezání vodou, na základě provedeného experimentu zhodnotit proces řezání oceli vodou, včetně technicko-ekonomického zhodnocení.

Metodika

současný stav řešeného problému (literární rešerše),
cíl práce a metody jejího zpracování,
výsledky experimentů a jejich diskuse,
závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

Klíčová slova

dělení materiálu; řezání vodou; abrazivo; technicko-ekonomické zhodnocení

Doporučené zdroje informací

- AWAC, spol. s r. o., systémy dělení materiálu [online]. Dostupné z www: <http://www.awac.cz/>
Časopisy: Manufacturing Technology, MM Průmyslové spektrum, SDSM (Svařování, dělení, spojování materiálů), Strojírenská technologie, Strojárstvo / Strojírenství, Svět svaru, Technický týdeník, Zváranie / Svařování.
Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace.
KŘENEK, J.: Dělení materiálů kapalinovým paprskem. Bakalářská práce. Praha, ČVUT FS 2010.
MINAŘÍK, V.: Tepelné dělení materiálu. Praha, ČVUT 1993.
VALÍČEK, J. et al.: Experimental analysis of irregularities of metallic surfaces generated by abrasive waterjet. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 2007.
VALÍČEK, J., HLOCH, S., KOZAK, D.: Surface geometric parameters proposal for the advanced control of abrasive waterjet technology. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 41, 2009, č. 3 – 4.
VLASTNÍK, J.: Dělení materiálů paprskem kapaliny. Kandidátská disertační práce. Praha, ČVUT FS 1983.
VOMOČIL, L.: Vodní paprsek nyní dokáže řezat se stálým pracovním tlakem 6000 barů. In: Technik, 16, 2008, č. 9.
WaterJets.org ... the most complete waterjet resource on the web [online]. Dostupné z www: <http://waterjets.org/>
-

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 24. 1. 2016

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Řezání vodním paprskem vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne:.....

Podpis:.....

Poděkování

Poděkování patří především panu Prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc z technické fakulty - katedry materiálu a strojírenské technologie, jenž mi poskytl množství materiálů, ze kterých jsem čerpal při psaní této diplomové práce a dále, že mi umožnil přístup k přístrojům pro měření a dalším strojírenským zařízením.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá dělením materiálu nekonvenční metodou - vodním paprskem. Je zde popsán historický vývoj vodního paprsku od jeho prvního použití z dřevařského průmyslu, přes strojní obrábění. Čtenář je seznámen s jeho dělením podle typu generování vodního paprsku, přes konstrukci a typy konstrukčního řešení až po popis jednotlivých částí stroje, s následným přiblížením univerzálního použití v různých druzích odvětvích s vysvětlením výhod v daném provozu. Praktická část se zabývá posouzením řezu na vybraných vzorcích o tloušťkách 5, 10, 15, 20 mm v závislosti na rychlosti posuvu řezné hlavy, kde je zkoumána šířka a řezný úhel spáry. Tyto aspekty jsou posuzovány na dvou strojích s rozdílným tlakem média a množstvím abraziva. Dále je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení. Výsledky z naměřených ukazatelů prokazují, že vyšší tlak média umožňuje rychlejší posuv řezné hlavy i s menším hmotnostním tokem abraziva.

Klíčová slova:

dělení materiálu, řezání vodou, abrazivo, technicko-ekonomické zhodnocení.

Waterjet cutting

Summary:

This thesis deals with the unconventional method - by the water jet. There is described the historical references from the first water jet from the timber industry, through machining. Reader is apprised with the water jet division by variation of generation mode, construction and design to the description of the various parts of a machine. Approach its universal application in a variety of sectors with an explanation of its benefits in the service. The practical part is dealing with the assessment of the rust - either 5, 10, 15, 20 mm depending on the cutting head displacement where is examine the width and cutting angle of the cleft. These parameters are evaluated on two machines with different pressure media and the amount of abrasives. Next will be realized the technical and economic evaluation. The results of the measured parameters show that the higher pressure of the medium allows a faster movement of the cutting head and with a lower mass flow of abrasive.

Keywords:

cutting material, water jet, abrasives, technical and economic evaluation.

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Vodní paprsek	2
2.1	Historie.....	2
2.2	Použití vysokoenergetického kapalinového paprsku (dále už jen VKP).....	3
2.3	Princip řezání	4
3.	Druhy vodního paprsku	5
3.1	Diskontinuální vodní paprsek	5
3.1.1	Zařízení pro generování pulzních paprsků.....	6
3.2	Kontinuální vodní paprsek.....	7
3.2.1	Čistý vodní paprsek	7
3.2.2	Abrazivní vodní paprsek.....	8
3.2.3	Kryogenní vodní paprsek.....	9
3.2.4	Kavitační vodní paprsek	9
3.2.5	Ultravysokotlaký vodní paprsek	10
4.	Schéma, rozbor a popis jednotlivých součástí vodního paprsku	11
4.1	Schéma a pracoviště vodního paprsku.....	11
4.2	Čerpadla a druhy	12
4.3	Akumulátor tlaku	13
4.4	Princip změkčování vody.....	14
4.5	Zařízení na změkčování vody	14
4.6	Abrazivo.....	15
4.6.1	Druh abraziva.....	16
4.7	Dávkovač abraziva.....	18
4.8	Doprava abraziva	18
4.9	Odkalovací systémy	19
4.10	Recyklační systém	19

4.11	CNC stoly	20
4.12	Řídicí systém - ovládací panel CNC stolů	21
4.13	Řezací hlava	22
4.13.1	System naklápěcí hlavy	23
5.	Kvalita řezu	24
5.1	Drsnost povrchu	25
6.	Vodní paprsek a jeho aplikace v praxi	28
6.1	Využití vodního paprsku při mletí materiálů	29
6.2	Přehled využití vodního paprsku v praxi	29
6.3	Nejvíce ceněné poznatky, vlastnosti a argumenty pro výběr této unikátní technologie	30
6.4	Ekonomická efektivnost vodního paprsku v praxi	31
6.5	Vodní paprsek - nevýhody	32
7.	Cíl práce	33
8.	Metodika práce	34
8.1	Technologické parametry, které byly zvoleny pro experiment	35
8.2	Přístroj pro měření spáry a software	35
8.3	Velikost řezné spáry vlivem rychlosti posuvu řezné hlavy	36
8.4	Pracovní postup měření	37
9.	Vyhodnocování kvality řezu - vliv rychlosti na šířku řezné spáry (mm)	38
9.1	Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 5 mm	39
9.2	Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 5 mm	40
9.3	Celkové srovnání obou strojů tloušťky 5 mm	40
9.4	Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 10 mm	41
9.5	Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 10 mm	41
9.6	Celkové srovnání obou strojů tloušťky 10 mm	42
9.7	Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 15 mm	43

9.8	Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 15 mm.....	43
9.9	Celkové srovnání obou strojů tloušťky 15 mm.....	44
9.10	Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 20 mm	45
9.11	Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 20 mm.....	45
9.12	Celkové srovnání obou strojů tloušťky 20 mm.....	46
9.13	Dílčí závěr na kvalitu řezu – vliv rychlosti na šířku řezné spáry (mm).....	47
10.	Vyhodnocování kvality řezu – tvar řezných spár ve stupních (°).....	47
10.1	Pracovní postup měření úhlů	47
10.1.1	Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 5 mm	49
10.1.2	Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 5 mm.....	50
10.1.3	Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 10 mm	51
10.1.4	Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 10 mm.....	51
10.1.5	Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 15 mm	52
10.1.6	Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 15 mm.....	53
10.1.7	Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 20 mm	54
10.1.8	Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 20 mm.....	54
10.1.9	Dílčí závěr na kvalitu řezu – tvar řezných spár ve stupních (°).....	55
11.	Technicko – ekonomické zhodnocení.....	56
12.	Závěr	59
13.	Seznam použité literatury	61
13.1.	Vysokoškolská kvalifikační práce	61
13.2.	Knihy a časopisy	62
13.3.	Internet	63
14.	Seznam tabulek	64
15.	Seznam obrázků.....	64
16.	Přílohy k diplomové práci.....	66

1. Úvod

Celá staletí se člověk snaží využít materiálů kolem sebe, utvářet, přetvářet a různě tvarovat například ke stavbě přístřešku či jiných útvarů k uspokojení svých potřeb a životu samotnému. Historie lidstva se vyvíjí od pravěku, kdy Homo habilis začal používat předměty, které našel při svých cestách, zejména kámen (pěstní klín) využívající k lovu a jako nástroj k dělení surovin. A jak doba plynula, tak se člověk vyvíjel, rozšiřoval své území a zdokonaloval své nástroje, výrobu atd. Jedná se o dobu bronzovou a železnou. Kdy se objevil nový materiál – bronz. Tato éra dala podnět ke kolonizaci vzdálených území.

Další veliký rozvoj technologií dal válečný průmysl, kdy bylo potřeba dosáhnout co nejlepší výzbroje a zbraní. To přispělo k první světové válce (od roku 1914 do roku 1918), kdy byly nasazeny letouny, bomby a chemické zbraně. V druhé světové válce (od roku 1939 až do 1945), kde se objevily atomové bomby. Všechny tyto prostředky k válčení se musely navrhnout, nashromáždit potřebný materiál a také najít vhodný způsob k jeho opracování.

Opracováním myslíme obrábění, jedná se o technologickou operaci, při níž se z polotovaru ubírá materiál v třískách, a díky tomu vytvoříme obrobek, jehož tvary, rozměry, přesnost a drsnost povrchu jsou předem definovány z výkresové dokumentace. Z hlediska výrobní operace rozeznáváme dvě metody obrábění:

- a) Konvenční, kdy se jedná o soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, řezání závitů, hoblování, obrážení, protahování a protlačování. Dále pak broušení, honování, lapování a superfinišování atd.
- b) Nekonvenční metody jako elektroerozivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem, paprskem elektronů a ultrazvukem.

Dále se tato práce bude zaměřovat na nekonvenční metody obrábění se zaměřením na vodní paprsek. Vodní paprsek a jeho první využití proběhlo v roce 1974 u firmy Boeing (USA) při dělení keramických izolačních materiálů potřebných pro tepelnou izolaci kosmického raketoplánu. Tato technologie má skvělé technické i ekonomické využití a v dnešní době, 21. století, je využívána ve všech možných světových odvětvích od potravinářského průmyslu, až po strojírenský průmysl k dělení kompozitních i nekompozitních materiálů, dokonce nově i v medicíně k amputaci či chirurgickým řezům.

2. Vodní paprsek

2.1 Historie

První historická zmínka o řezání vodou je od lesního inženýra zobrazeného na obr. 1, Dr. Normana Franze, narozeného v USA, který se snažil nalézt nové, efektivnější metody dělení dřeva. Zkoumal spouštění těžkých břemen do sloupce vody, které procházely přes velmi úzký otvor. Takto se podařilo panu Normanu získat krátké paprsky vody o vysokém tlaku, které umožňovaly řezat dřevo i ostatní materiály. Bohužel, ani v pozdějších výzkumech a experimentech se mu nepodařilo vytvořit kontinuální vysokotlaký proud vody. [3], [4]



Dr. Norman Charles

Obrázek 1 Dr. Norman Charles Franz

Zdroj: <http://www.engineershandbook.com/MfgMethods/waterjet.htm>

Další prvotní zmínku o vodním paprsku máme z roku 1870, kdy byl využíván k těžbě zlata. Dále jeho historie sahá do 60 - tých let 20. století. V této době se začínají vyvíjet nové nekonvenční technologie pro opracování a dělení nově vzniklých typů materiálů. Jedná se zejména o kompozitní a keramické materiály používané v kosmickém a vojenském průmyslu. Kdy se začalo experimentovat s využitím síly vodního paprsku? Nejprve se jednalo o čistý kapalinový paprsek. Technologie byla vylepšena v 70 - tých letech, kdy se začalo přimíchávat abrazivo do toku vody. Podstatou dělení materiálů je obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku. Tento proces je v podstatě stejný jako vodní eroze, ale značně zrychlený a soustředěný do jednoho místa. První zařízení bylo uvedeno u firmy BOEING. Po této počáteční vývojové etapě dochází k rozšíření technologie VKP (vysokoenergetického kapalinového paprsku) do kosmického a leteckého průmyslu. K masovějšímu nasazení dochází po roce 1978, ve kterém byla technologie uvolněna pro civilní oblast a pro export. Do našich zemí se technologie VKP dostává po zrušení vývozního embarga v roce 1987. Řezání probíhá nejčastěji na CNC řízených stolech, které jsou dodávány standardně v rozměrech několika m². Pracovní tlak vody se pohybuje v rozmezí 2000 - 6480 bar. Tlakovým zdrojem jsou speciální vysokotlaká čerpadla, která se liší příkonem a průtokem vody. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené řezací tryskou. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. Vhodnou abrazivní příměsí je přírodní

olivín nebo přírodní granát, či granátový písek – volba závisí na tvrdosti děleného materiálu. Pohyb řezací hlavy a tedy i dráha řezu je řízena počítačem na základě předem sestaveného programu. Je možné tedy provést i ten tvarově nejnáročnější řez během jedné operace. [24], [21]

2.2 Použití vysokoenergetického kapalinového paprsku (dále už jen VKP)

Mezi dominantní rysy technologie VKP je studený řez, který materiál teplotně neovlivňuje. Při obrábění nedochází ke změně struktury a tím ke znehodnocení materiálu v oblasti řezu jako u všech tepelných dělicích metod ani k extrémnímu silovému zatížení známému z ostatních konvenčních metod dělení nebo obrábění. Proto nevznikají mikrotrhliny ani mikropnutí. Princip metody spočívá v působení velmi vysokého tlaku kapalinového paprsku na dělený materiál, resp. v kombinaci tohoto tlaku s brusným působením abrazivních částic nesených paprskem. Řez vodním paprskem je velmi úzký, což je předností při řezání tvarově komplikovaných výrobků nebo v případě úspory drahých polotovarů.

VKP je řezací technologií (obdobně jako řezání laserem, plasmou nebo plamenem), svou přesností, drsností řezné hrany a možností obrábění i velmi tlustých polotovarů téměř dokonalý přesto se řadí k metodám třískového obrábění. Velmi kvalitně lze dělit některé materiály, jež byly dosud nedělitelné a výrobky z nich musely být zhotovovány např. lisováním, odléváním nebo kování. Tyto postupy jsou většinou neekonomické pro malé série, kusovou výrobu, a pro ověřovací, zkušební a průzkumové série. Hlavní nasazení je zejména ve strojírenství, kde se VKP řezou všechny druhy ocelí včetně nástrojových, nerezových a speciálních, dále pak slitiny hliníku, mědi a titanu. Ve strojírenství se dnes uplatňují i nové druhy materiálů (kompozity, keramika, tepelné a elektrické izolanty), pro které je VKP prakticky jedinou schůdnou dělicí technologií. Ve stavebnictví se využívá VKP k dělení laminátů, skla včetně různých variant vrstveného, tepelně izolačních hmot, podlahových krytin, mramoru, žuly, keramických obkladů, betonu atd. V architektuře se prosazují nevšední interiéry vytvářené s pomocí této moderní technologie. Častými zákazníky jsou i reklamní agentury, kde se VKP vyřezávají firemní nápisy a loga. Dalšími výrobními obory, kde je časté uplatnění VKP jsou automobilový průmysl, papírenský průmysl (řezání kartonů, lepenek, filtračních a speciálních hmot), gumárenský průmysl (desky, těsnění), dřevařský průmysl (překližka, dýha, balza), obory zpracovávající plasty, potravinářský průmysl, atd. [16]

2.3 Princip řezání

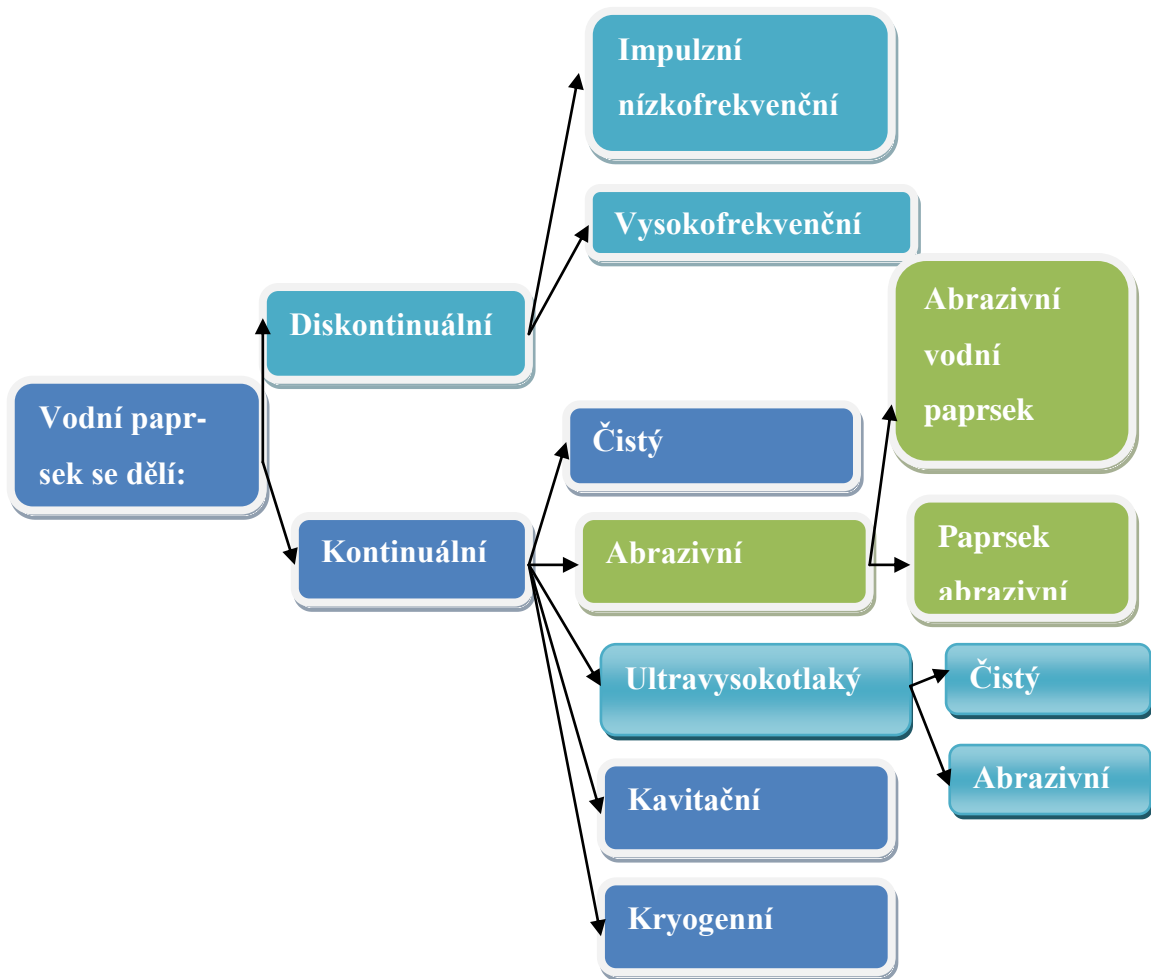
Princip obrábění kapalinovým paprskem spočívá v generování vysokého tlaku kapaliny, kterým je nejčastěji voda (v potravinářském průmyslu se může použít médium: glycerín, mléko nebo rostlinný či živočišný tuk) dále prochází filtrační jednotkou, ve které je zbavena všech mechanických nečistot větších než 0,5 μm (filtry jsou odstupňovány od nejhrubšího po nejjemnější: 10 μm , 5 μm , 1 μm , 0,5 μm), médium pak protéká tryskou malého průřezu a získává velmi vysokou kinetickou energii. Tím vzniká flexibilní nástroj, který je schopen obrábět téměř všechny technické materiály. Dělicí proces v technologii abrazivního vodního proudu (AWJ) je hydroabrazivní dezintegrační proces způsobený silovým, napět'ovým a deformačním účinkem dělicího nástroje typu AWJ na materiál obrobku, přičemž nástrojem je zde vysokorychlostní proud směsi vody a abraziva. Výsledkem procesu je dělicí řez. [11]

Důležitými faktory, které ovlivňují řez, jsou: [10]

- 1) rychlost částic,
- 2) hmotnostní průtočné množství,
- 3) rovinnosti stěn,
- 4) tvrdost materiálu částice,
- 5) velikost a tvar částice,
- 6) fyzikálně-mechanické vlastnosti materiálu obrobku.

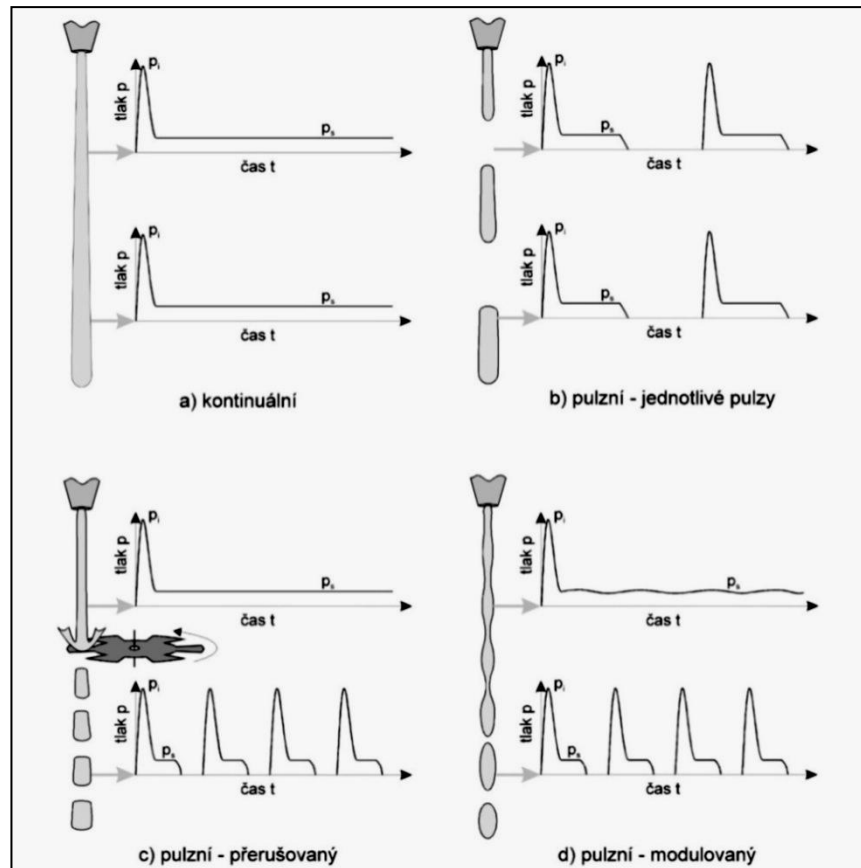
Základem každého řezacího systému je vysokotlaké čerpadlo, které prostřednictvím multiplikátoru generuje tlak vody až přes 400 MPa (4000 bar). Vysokotlakým vedením je voda dopravována k řezací hlavě, kde je systémem trysek vytvořen vlastní "řezací nástroj". Vodní paprsek je o průměru cca 0,15-0,30 mm, je schopný řezat měkké materiály jako plasty, dřevo, pryž, korek, těsnění, potraviny apod. Druhou alternativou využívanou nejčastěji je paprsek o průměru cca 0,8-1,5 mm, jedná se o hydroabrazivní paprsek s příměsí brusného prášku (nejčastěji granátového "písku"). Hydroabrazivní paprsek je díky své vysoké energii schopný řezat kovy, kámen, sklo a jiné materiály v tloušťkách 100 i více mm. [21]

3. Druhy vodního paprsku



3.1 Diskontinuální vodní paprsek

Jedná se o systém pulzujícího paprsku, kdy se opakovaně a po krátkých intervalech vytváří impulsní paprsek vody, vytváří se tak tlakové intervaly, které naráží na řezaný materiál a tak urychlují vznik řezné spáry ukázka těchto pulzujících paprsků je zobrazena na obr. 2. Tento druh paprsku se hodí především k těžbě nerostných surovin, nebo na operace vrtání, řezání, lámání a drobení hornin či jiných nerostů. [6]



Obrázek 2 Ukázka jednotlivých druhů pulzních paprsků na rozpojovaný materiál
Zdroj: Foldyna, Josef. Ultrazvuková modulace vysokorychlostních vodních paprsků.

3.1.1 Zařízení pro generování pulzních paprsků [15], [6]

Výčet zařízení, které vytváří přerušovaný pulzní paprsek z obr. 2:

1. Jednotlivé pulzy nebo pulzy s nízkou frekvencí:
 - 1) nárazová zařízení s volným pístem,
 - 2) zařízení vytlačující pulzy tlakem,
 - 3) hydraulické generátory pulzů,
 - 4) elektrohydraulické generátory pulzních paprsků.

2. Přerušované paprsky:
 - 1) zařízení pro mechanické přerušování kontinuálního paprsku,
 - 2) přerušování kontinuálního paprsku pulzním laserem.

3. Modulované paprsky:
 - 1) vnitřní mechanické modulátory průtoku,
 - 2) rezonátory,
 - 3) ultrazvukové modulátory.

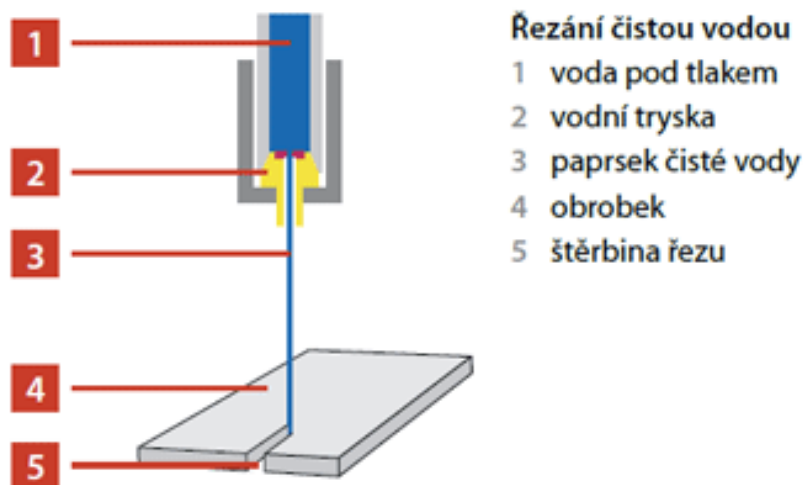
3.2 Kontinuální vodní paprsek

Takto nazvaný vodní paprsek vykazuje stálou energetickou hladinou v průběhu celého obrábění, tlaky jsou v rozmezí od 30 do 700 MPa a průtoky média od 1,1 do 7,5 l.min⁻¹. Dělíme jej do dvou forem, podle vlastností řezaného materiálu:

- A. *čistý vodní paprsek* nazvaný Waterjet nebo ještě pod označením WJM – Water Jet Machining (hydrodynamické obrábění)
- B. *abrazivní vodní paprsek* nazvaný AbrasiveWaterjet nebo ještě pod označením AWJM – AbrasiveWater Jet Machining

3.2.1 Čistý vodní paprsek

Při řezání čistou vodou je dělicím nástrojem voda. Průměr paprsku se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 0,5 mm. K dosažení požadované hustoty energie paprsku je vytvářen tlak paprsku o velikosti až 6000 bar. To odpovídá tlaku, kterým působí vodní sloupec o výšce 6000 m na dno. V závislosti na materiálu lze čistým vodním paprskem řezat materiál do tloušťky až 300 mm. Ale spíše se tato metoda využívá k řezání měkkého materiálu, jako jsou např.: papírové výrobky, těsnicí materiály, plasty, pryže, pěnové hmoty, textilie – plátna, tenké dřevo nebo potraviny. Řezání čistou vodou je tedy mimořádně přesné a umožňuje řezání jemných obrysů, ostrých úhlů a malých poloměrů. Jednoduché schéma je na obr. 3. [18], [26], [27]



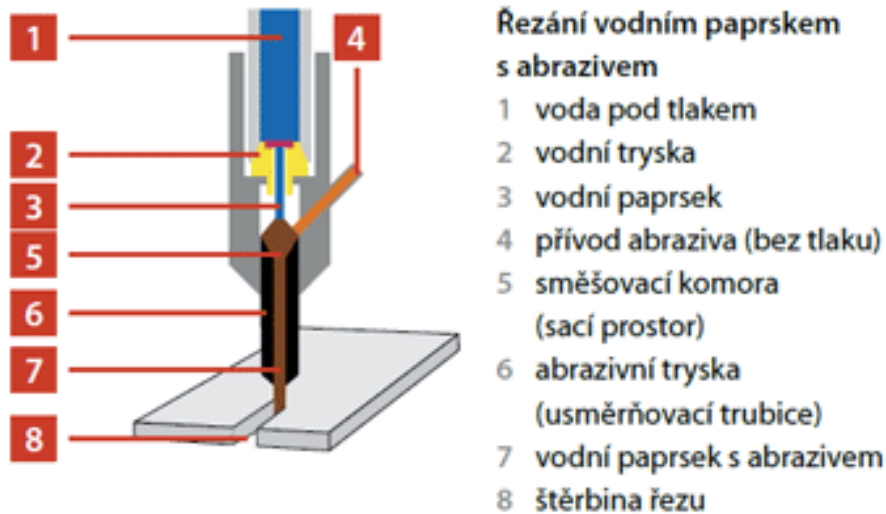
Obrázek 3 Schéma řezání čistou vodou

zdroj: http://www.bystronic.cz/cz-cs/produkty/systemy_rezani_vodnim_paprskem/

3.2.2 Abrazivní vodní paprsek

Hustota energie paprsku čisté vody není dostačující pro obrábění velkého množství technických materiálů. Pro dané aplikace jsou proto do vodního paprsku přimíchávány pevné částice. To umožňuje obrábět také materiály, které nelze řezat čistým vodním paprskem, nebo výrazně zvýšit řezný výkon ve srovnání s použitím čistého vodního paprsku.

K vodnímu paprsku se musí přimíchávat řezací prostředek (abrazivo). Jako takzvaný abrazivní materiál nacházejí většinou uplatnění ostrohranné minerální látky, jako např. granátový písek nebo olivín s velikostí zrna přibližně od 0,1 do 0,3 mm. V závislosti na aplikaci řezání činí požadované množství abrazivního materiálu 100 až 800 g.min⁻¹. Při řezání abrazivním vodním paprskem je používán tlak o velikosti až 6000 bar, jako v případě řezání čistým vodním paprskem. Průměr paprsku se pohybuje od 0,3 do 1,2 mm. Mezní tloušťka materiálu při řezání abrazivním vodním paprskem činí přibližně 300 mm. Abrazivním vodním paprskem řezeme tedy tvrdé materiály, jako například kovy, titan, nástrojová ocel, nerezová ocel, kámen, sklo nebo keramiku či sendvičové materiály apod. Řezání vodním paprskem s abrazivem je srovnatelné s mikroobráběním. Jednoduché schéma je na obr. 4. [18], [26], [27]



Obrázek 4 Schéma řezání vodním paprskem s abrazivem

zdroj: http://www.bystronic.cz/cz-cs/produkty/systemy_rezani_vodnim_paprskem/

3.2.3 Kryogenní vodní paprsek

Jedná se technologie založenou na jiném pracovní kapalině než čistá voda. Do proudu vody se přidávají krystalky ledu ve tvaru kuliček, které nahrazují abrazivo. Nebo se dá také využít tekutého dusíku (LN₂), který pracuje v podobném systému jako klasický čistý vodní paprsek. Ale v tomto případě je nutno použít nádrže předchlazeného dusíku dále dochlazovače a mnoho dalších komponentů. Všechny tyto součástky musí být navrženy pro provoz s velmi nízkou teplotou, až do -190 °C. Při výzkumu se ukázalo, že čím je teplota dusíku nižší, tím paprsek účinněji řeže. U teploty vyšší než -151 °C se dusík začne rychle odpařovat, a tím ztrácí řezný výkon. Výsledkem toho je, že u teploty -190 °C dosahuje paprsek srovnatelného výkonu, jako u řezání s klasickým vodním paprskem.

Největší výhodou této metody řezání je zachování životního prostředí, především proto, že se řezné medium vypařuje a tím se eliminuje odpad při obrábění.

Kryogenní vodní paprsek se použije v případech, kde nelze použít klasický vodní paprsek, jako například pro řezání biomateriálů v potravinářství a medicíně, u chemických reaktivních materiálů, materiálu nesnášejících vodu nebo při použití v kontaminovaných prostředích. [6], [7]

3.2.4 Kavitační vodní paprsek

Další způsob řezání vodním paprskem, je na principu kavitace. Funguje na způsobu lokálního rozrušení materiálu destruktivní silou kavitačních bublin. Vzniká tak vysokorychlostní mikropaprsek, který vysokou koncentrací energie narušuje pevný povrch rozpojovaného materiálu.

Kavitace je z lat. slova *cavitas* = dutina. Kavitace vzniká snížením tlaku na tlak nasycených par, odpovídající teplotě kapaliny. Za těchto podmínek se začne kapalina odpařovat a vytváří se v kapalině malé bublinky. Tyto kavitační bublinky jsou unášeny proudící kapalinou do míst vyššího tlaku, kde pára obsažená v bublinkách kondenzuje a vytváří se kavitační dutiny. Do těchto dutin vniká okolní kapalina velkou rychlostí a rozděljuje dutinu na dvě části a tím dochází k implozi. Paprsek vody, který rozdělil dutinu na dvě části, naráží velikou rychlostí a za vysokých teplot na povrch a tím rozdružuje materiál.

Nehodí pro řezání, kde potřebujeme přesné řezy, je to z důvodu, že kavitační bubliny vznikají nepravidelně. Tento způsob řezání není v praxi příliš rozšířený. [13],[14]

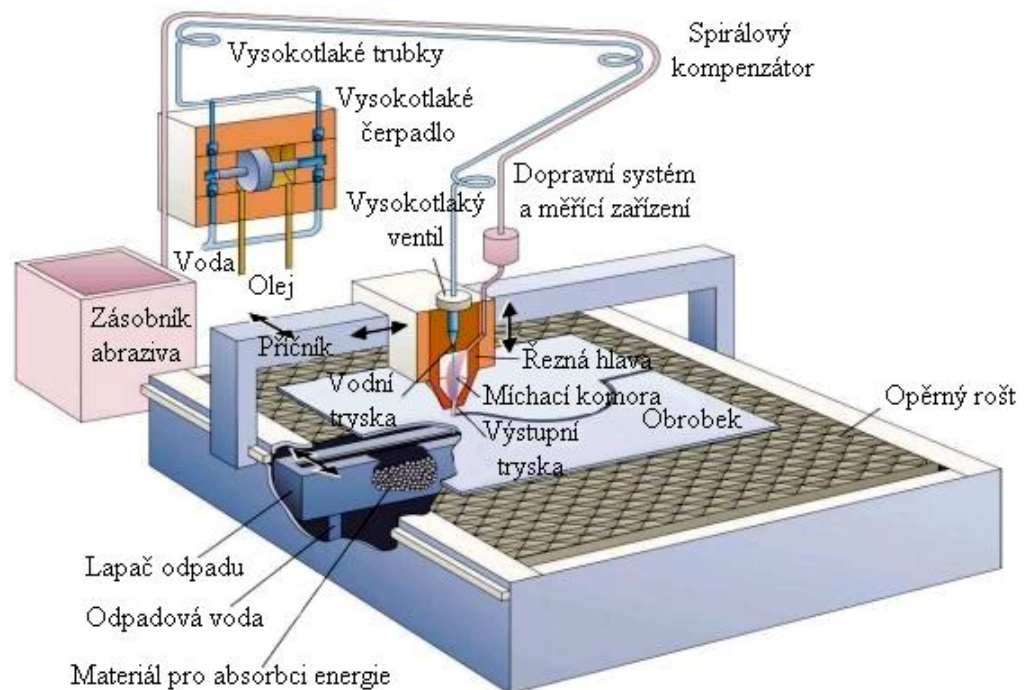
3.2.5 Ultravysokotlaký vodní paprsek

Pro vysoký řezný výkon je důležitý tvar a rychlost vodního paprsku. Fyzikální zákon říká, že čím vyšší tlak je, tím vyšší kinetickou energii získáme, to znamená vyšší energii pro vodní řezný paprsek. S touto novou technologií přichází firma FLOW, která představila roku 2006 stroj, pod názvem "HyperPressure". Hlavním cílem bylo zvýšení kvality řezání, snížení času řezání a nákladů na jeden kus. V Technologii HyperPressure je tlak vody téměř o 50 % vyšší než u stávajících systémů, to znamená, že se zvýší kinetická energie (rychlost) paprsku. Tudíž je možné použít zařízení pracující s tlakem 600 MPa a dokonce omezit množství abraziva dodávaného při řezném procesu. Výsledkem je snížení spotřeby abraziva, a to se finančně vyplatí. Současně s tím je dosaženo snížení spotřeby vody v porovnání s konvenčními systémy, pracujícími s 380 MPa. Vyšší energetický potenciál paprsku zvyšuje řezný výkon a kvalitu řezné hrany. Pro uživatele to znamená následující: díky rychlejšímu vodnímu paprsku je možné řezat přesněji s nižší spotřebou abrazivního písku a nižší spotřebou vody. Řezná rychlost vzroste od 30 do 50 %, zvýší se produktivita a náklady na jeden kus se sníží. Ale při používání extrémně vysokých tlaků se objevuje komplikace, které se projevuje sníženou životností vysokotlakých čerpadel, řezné hlavy a rozvodů systému. Proto je nutné použít lepší rozváděcí systém a jsou i kladené vysoké nároky na kvalitu komponentů, jako jsou těsnění, vysokotlaké čerpadlo nebo vedení media. To zapříčiní výrazně vysokou cenu oproti stávajícím typům vodního paprsku. [6], [7], [18]

4. Schéma, rozbor a popis jednotlivých součástí vodního paprsku

4.1 Schéma a pracoviště vodního paprsku

Nasazení vodního paprsku v mnoha oborech a široké škále aplikací způsobuje, že jednotlivá pracoviště se od sebe mohou značně odlišovat, ukázka pracoviště je na obr. 5. Některé skupiny jsou však obdobné pro všechny typy sestav. Navzájem se liší zejména výkonem, manipulačním prostředkem a typem procesu (bez nebo s abrazivem).



Obrázek 5 Ukázka pracoviště vodního paprsku

zdroj:

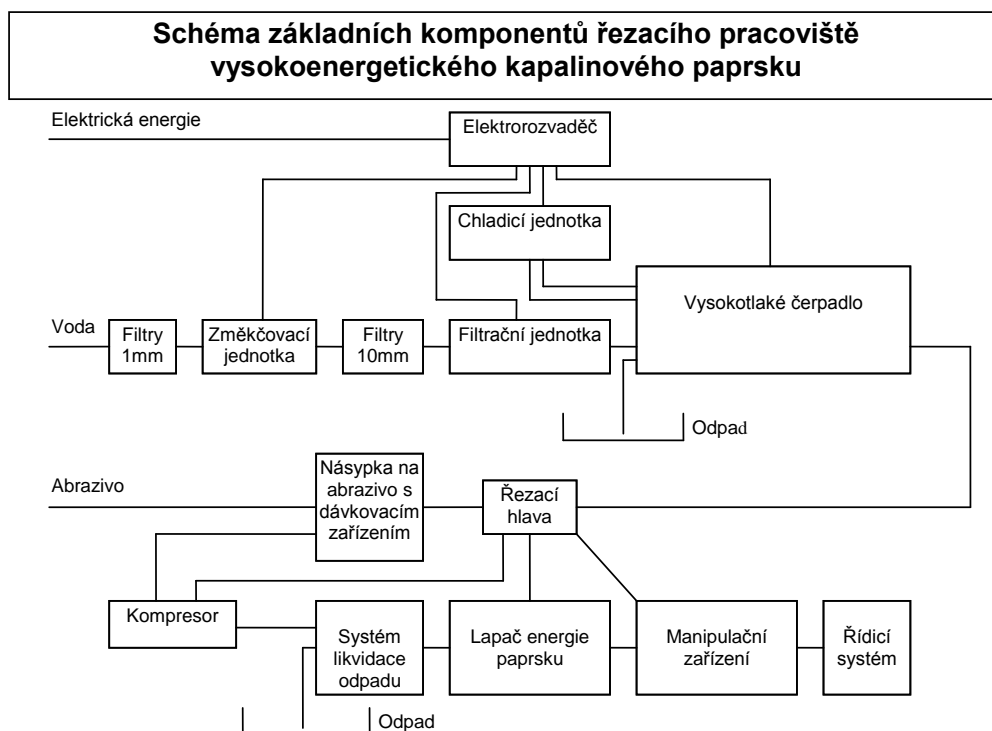
http://wvp3d.cz/drtic/wpcontent/uploads/2014/07/UvP_STROJ_ST05_003_004.jpg

Hlavním rysem technologie vodního paprsku je použití kapaliny, stlačené pod vysokým tlakem k dělení materiálu. Proto srdcem kompletního systému je vysokotlaké čerpadlo stlačující kapalinu (ve většině případů vodu) na potřebný tlak. Celý systém lze rozdělit na tyto skupiny:

- vysokotlaké čerpadlo,
- periférie podporující chod VT čerpadla,
- vysokotlaké rozvody,

- d) manipulační prostředek,
- e) abrazivní hospodářství (pouze v případě VKP s abrazivem),
- f) lapač energie paprsku,
- g) systém likvidace odpadů.

Na následujícím obr. 6 je znázorněna typická sestava pracoviště vysokoenergetického kapalinového paprsku s abrazivem. Obsahuje všechna zařízení, jenž jsou potřebná pro činnost systému a jejich logické propojení. [21]



Obrázek 6 Schéma komponenty vodního paprsku

Zdroj: <http://www.ptv.cz/>

4.2 Čerpadla a druhy

Čerpadlo je hlavním ústrojím vodního paprsku. Čerpadlo zajišťuje stálý přívod vody. Jsou zde také umístěny filtry a hned několik od nejhrubšího po nejjemnější: 10 μm PP010; 5 μm PP005; 1 μm PP001; 0,5 μm PP000,5, které zajišťují dokonalou čistotu vody. U vody kde, je větší četnost minerálních látek, hořčíku a vápníku, se používají změkčovače. Potřebný tlak se vytvoří pomocí multiplikátoru, ve kterém se tento tlak vytváří a dále je přiváděn pomocí trubiček do řezací hlavy. Tato hlava slouží jako nástroj, kde je možné přimíchávat abraziva k řezání větších tloušťek materiálu. Modely čerpadel jsou označovány u firmy PTV jako model JETS, které se dělí dle druhu příkonu motoru a dále pak průtokem vody do těchto modelů: [21]

MODEL JETS 2,2/60 EKO

Maximální pracovní tlak 413 MPa (4 130 bar, 60 000 PSI), příkon motoru 22 kW, průtok vody 2,2 l.min⁻¹

MODEL JETS - 3.8/60 BASIC

Maximální pracovní tlak 415 MPa, příkon motoru 37 kW, průtok vody 3,8 l.min⁻¹

MODEL JETS 7,5/60c (nejvýkonnější model této řady). Maximální pracovní tlak 415 MPa, příkon motoru 75 kW, průtok vody 7,5 l.min⁻¹

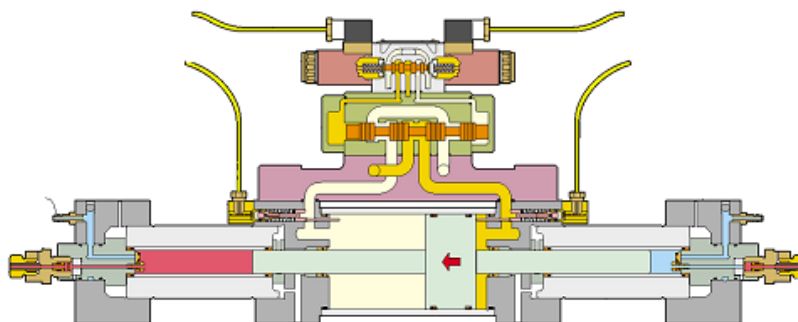


Obrázek 7 Vysokotlaké čerpadlo firmy PTV

Zdroj: <http://www.ptv.cz/vysokotlaka-cerpadla>

4.3 Akumulátor tlaku

Jedná se o vysokotlakou nádobu, která tlumí tlakové rázy vznikem pulzů vodního paprsku vyvolané stlačením vody. Cílem akumulátoru je udržet stejný tlak a rychlost proudícího média (vody). Tlakové rázy vznikají pomocí čerpadla se zesilovačem (multiplikátorové čerpadlo), rázy jsou tvořeny vratným přímočarým pohybem pístu multiplikátoru. Multiplikátor je konstruován s poměrem ploch pístu 20:1, 13:1, 10:1 a na násobku těchto poměrů a přivedeného tlaku oleje z řídicího čerpadla. Tedy akumulátor je válec o daném objemu, který je mnohonásobně větší než vnitřní průměr vysokotlakého potrubí. Vzniklý pulz prochází potrubím od čerpadla a zesilovače až do akumulátoru, kde je ráz utlumen a dochází k udržení stability vodního paprsku a tím i ke zlepšení bezpečnosti a samotné kvality řezu. [11], [12]



Obrázek 8 Schéma multiplikátorového čerpadla

Zdroj: <http://www.ptv.cz/>

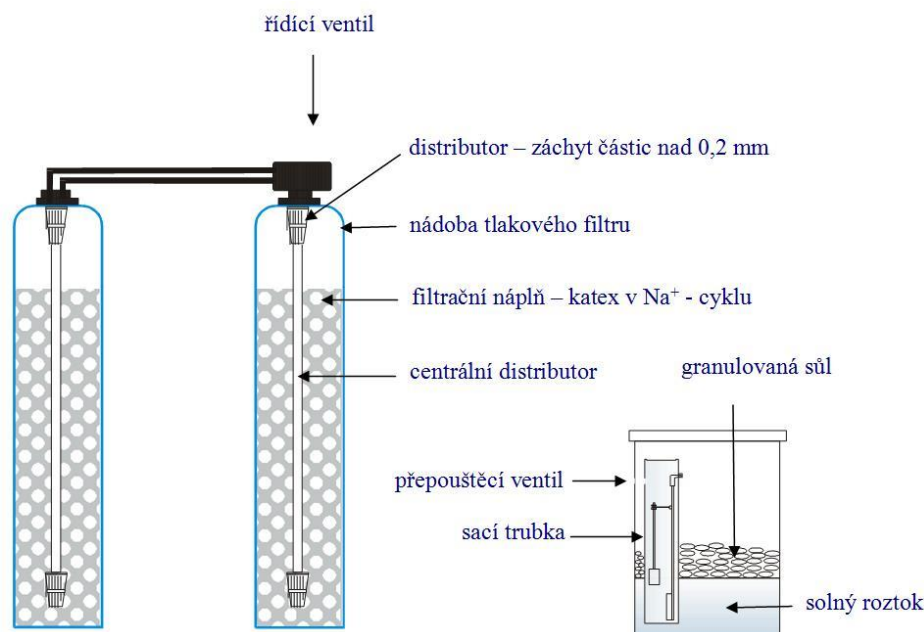
4.4 Princip změkčování vody

Do iontoměniče přivádíme vodu, z níž chceme odstranit určitý ion nebo více iontů. Z iontoměniče vytéká voda (eluát), ve které je koncentrace vyměňovaného iontu podstatně snížena a naopak zvýšena koncentrace iontu, v jehož cyklu ionex pracuje. Po vyčerpání užité kapacity ionexu dojde v eluátu k prudkému zvýšení koncentrace vyměňovaného iontu, v tomto stavu jsou protiony ionexu již prakticky vyměněny, a proto nemůže dále plnit svoji výměnnou funkci. Ještě před dosažením tohoto stavu je potřeba ionex regenerovat, což se provádí jeho promytím regeneračním roztokem, voleným podle toho, v jakém cyklu ionex pracuje. Při regeneraci probíhají stejné děje jako při výměně, ale opačným směrem. Toho se dosáhne zvýšenou koncentrací protiontů obsažených v regeneračním roztoku. [21]

4.5 Zařízení na změkčování vody

Pro změkčování vody se používá silně kyselý katex v Na^+ -cyklu. Zbytková koncentrace $c(\text{Ca}+\text{Mg})$ v eluátu závisí také i na koncentraci alkalických kovů (Na^+ a K^+) v roztoku – čím je tato koncentrace vyšší, tím vyšší je i zbytková koncentrace Ca^{2+} a Mg^{2+} v upravované vodě. Při změkčování probíhá záměna vápenatých solí za sodné soli. Regenerace se provádí roztokem NaCl . [21]

Zdvojený systém je určen pro provoz s nepřetržitým odběrem upravené (změkčené) vody, do základního vybavení patří samostatný zásobník na sůl. Zařízení je vybaveno řídicí hlavou, centrálním řídicím ventilem a adaptérem pro druhou tlakovou nádobu, vše zobrazeno na obr. 9. Zařízení je možné dodat v mnoha velikostech dle stávající potřeby. Zařízení pracuje v plně automatickém režimu na bázi iontové výměny. Program regenerace je řízen automaticky, při regeneraci se přisává roztok chloridu sodného (kuchyňská sůl). Tlakové nádoby jsou vyrobeny z korozivzdorného materiálu nejvyšší jakosti a dodávány včetně náplně - měniče kationtů. [21]



Obrázek 9 Zařízení na změkčování vody

Zdroj: <http://www.ptv.cz/>

4.6 Abrazivo

Abrazivo je směs drobných krystalů, jakési brusivo přiváděné do proudu vody pomocí směšovací komory a dále pak přiváděné do řezací hlavy. Díky tomuto dochází ke zlepšení řezných podmínek. Správnou volbou abraziva zajistíme kvalitní řez dále rychlejší posuv řezu a i větší hloubku řezu materiálu. Při konzultaci ve společnosti PTV bylo zmíněno, že abrazivo se podílí z cca 50 % na celkových řezných nákladech, proto se klade veliký důraz na jeho výběr z ekonomického hlediska. Abrazivem můžeme nazývat drcený (mletý) granát, křemičité prášky, oxid hliníku a olivín. [12], [19]

Z těchto zmiňovaných abraziv je nejrozšířenější granát. Naleziště toho minerálu jsou Čína, Indie, USA a Austrálie. A jako nejvhodnější granát pro dělení vodním paprskem z těchto zemí se považuje Australský, díky své jedinečné tvrdosti a pevnosti zrn zaručuje nejvyšší produktivitu a kvalitu řezu. [12], [19]

Granáty jsou skupina 15-ti kubických nesosilikátů s obecným vzorcem $A_3B_2(SiO_4)_3$. Jako kationty obsahují hlavně Ca, Fe, Mg, Mn a Al. Jejich hlavními společnými vlastnostmi jsou vysoká tvrdost a měrná hmotnost. [28]

Fyzikální vlastnosti: Tvrdost 6,5–7,5 podle Mohse, křehký, hustota 3,4–4,6 g/cm³, štěpnost velmi nedokonalá, lom nerovný, lasturnatý, tříštivý. [25]

Použití: brusivo a filtrační materiál. Většinu světové spotřeby granátu spotřebovává USA, kde je 85 % použito jako brusivo a 15 % převážně nižší jakosti, jako filtrační materiál. Kameny dostatečné velikosti a kvality jsou vyhledávanými klenotníky. [28]



Obrázek 10 MESH80 a fokusační tryska

Zdroj: <http://www.prime-tech.ca/gmaaustraliangarnet.htm>

4.6.1 Druh abraziva

Druhy abraziva posuzujeme podle několika kritérií, které jsou zmíněny níže:

- **Tvrdost**

Vysokou tvrdostí abraziva zvyšujeme účinnost řezu materiálem, ale zároveň s tvrdším abrazivem se rychleji opotřebovává řezná tryska. Tudiž vhodnou tvrdostí docílíme maximálního užitku v řezném procesu. [8], [12]

- **Velikost, tvar zrn a čistota**

Jemné abrazivo dosahuje lepší kvality povrchu, ale tím pádem je potřeba i více času pro samotné řezání. U zrna sledujeme kruhovitost a kulatost, zvýšení těchto vlastností ovlivňuje kladně drsnost povrchu, ale snižuje hloubku řezu. Čistota abraziva má vliv na životnost abrazivní trysky, tvrdé nečistoty ji rychleji opotřebovují. Zato měkké částice prodlužují řezný čas. [8], [12]

- **Zrnitost**

Abrazivo máme v několika různých skupinách, zrnitostech, které se udávají v jednotkách MESH. Zrnitost v tomto pojetí říká, kolik ok síta se vejde do jednoho čtverečního palce, tím se třídí abrazivo od jemnozrnného (350, 200, 120) až po středozrnný (60, 100) až do hrubozrnného (menší než 60). Pokud chceme vyšší řezné rychlosti, použijeme zrnitost 50 či 80 MESH, ale pokud chceme řez s jemným povrchem (nižší hodnotu drsnosti Ra) použijeme zrnitost 100, 120 či 150 MESH. 80 MESH je nejvíce používané abrazivo ve výrobních podnicích. [8], [12], [21],

- **Hmotnostní tok**

Je parametr, u kterého je potřeba hledat optimální bod. Každé abrazivo má rozdílnou hodnotu optimálního hmotnostního toku. Neplatí tedy pravidlo čím vyšší tok tím hlubší řez, po překročení optimálních hodnot se hloubka řezu snižuje. [8], [12]

- **Řezivost**

Je dána krystalickou strukturou mřížky, což zaručuje částicím nižší hodnotu otupění. Při dopad na hranu řezného materiálu dochází k vytvoření nových hran na ploše částic, díky tomu lze abrazivo recyklovat, je však třeba počítat s poklesem řezného výkonu až o 30 % v závislosti na recyklovaném materiálu. [8], [12]

- **Cena**

Z ekonomického hlediska další důležitý faktor jak vybrat vhodné abrazivo. Lze říci, že levnější abraziva mají nižší řeznou schopnost oproti dražším např. granátu. Ale vždy je nutné brát v potaz, o jaký materiál se jedná a také jaké je tloušťky režeme. Dobrým příkladem je řezání hliníkových plechů, kde je výhodnější použít právě levnější abrazivo, tedy křemičitý písek, který je v průměru levnější o 30 % než granát a dále má i menší opotřebení v řezné hlavě. Tudíž v tomto případě je levnější abrazivo výhodnější a ekonomičtější. V dnešní době, je ale stále více v oblibě používání abraziv na bázi granátu. [8], [12]

4.7 Dávkovač abraziva

Používání dávkovače abraziva umožňuje plynule měnit průtok abraziva během řezu bez nutnosti zastavit řezání. Díky regulaci množství při různých režimech provozu, druhu a tloušťky materiálu lze snížit spotřebu abraziva. Regulaci je možno provádět automaticky z řezacího programu nebo manuálně. Regulaci používáme při výměně druhu materiálu či jeho tloušťky, to zvyšuje kvalitu a úsporu řezu a tím i snižuje provozní náklady na výrobu. Je možné dávkovat extrémně malé, ale i velké objemy abraziva. Minimální množství je od $50 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ a maximální až do $2000 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$. Jednoduchá konstrukce umožňuje snadnou rozebíratelnost a čistitelnost dávkovací komory. Dávkovač abraziva snižuje riziko průniku vody do násypky dávkovače, dále pak snižuje riziko ucpání abrazivní trysky při propalování materiálu. [21]



Obrázek 11 Dávkovač abraziva

Zdroj: <http://www.ptv.cz/davkovac-abraziva-atd-iv/>

4.8 Doprava abraziva

Tlakový dopravní systém je řešen zásobníky abraziva viz obr. 12. Kapacitní senzory monitorují mezní stavy. Ovládací klapka umístěna v horní části násypky dávkuje materiál. Zásobník je vybaven odvzdušňovacím membránovým ventilem. Pryžové kuželky po dosednutí do pryžového sedla umožní uzavření zásobníku. pohyb kuželek ovládá tlak vzduchu proudící do zásobníku přes elektromagnetický ventil. Procesorová jednotka řídí a kontroluje pracovní stav. Tlakový vzduch před jeho přivedením do systému je nutné upravit. Finální dočištění vzduchu je zajištěno čističem vzduchu s mikrofiltrem a regulátorem tlaku umístěným na zařízení. Před zapnutím ovládaní je třeba tlakový vzduch otevřít a naopak po vypnutí ovládaní uzavřít. [21]



Obrázek 12 Dopravní tlakový systém

Zdroj: <http://www.ptv.cz/tlakovy-dopravni-system-xy-stolu/>

4.9 Odkalovací systémy

Slouží k odstranění mechanických dílů, především použitého abraziva a malých kousků materiálů z vany. Základní část odkalovacího zařízení tvoří ocelová svařovaná konstrukce, na které jsou umístěny veškeré důležité prvky zařízení. Jedná se o membránové a kalové čerpadlo, řídicí elektroniku a mechanický hydrocyklon. V řezací vaně jsou umístěny nerezové sací hlavy, kterými se odsává voda s abrazivem. Tato směs je tlustostěnnými hadicemi pomocí vzduchového čerpadla dopravována do hydrocyklonu, ve kterém se oddělí voda (odvádí se do pomocné vany) a pevné části (odvádí se do zavěšeného big-bagu). Zbývá voda proteče skrze big-bag do pomocné vany a odtud je kalovým čerpadlem přečerpávána zpět do vany. Po zaplnění je big-bag vyměněn za prázdný. [21]



Obrázek 13 Odkalovací systém

Zdroj: <http://www.ptv.cz/odkalovaci-zarizeni/>

4.10 Recyklační systém

Recyklační systém abraziva není jen systémem pro recyklaci abraziva, ale může plnit funkci systému na odvod abraziva z lapače. Kal je odčerpáván ze dna lapače a dopravován do recyklačního systému. Čerpaný kal je dopraven na vibrační separátor, kde projde přes sadu sít. Zde je promýván a rozdělován na odpadní a dobrý produkt. Dobré abrazivo po vysušení z pece, při cca 150 °C ještě následně prochází přes koncové síto, na kterém jsou veškeré nadměrné částice odstraněny. Abrazivo vychází ze systému jako čisté a suché, transportním vzduchovým zařízením je dopraveno do vhodného zásobníku a může být ihned znovu použito. [21]

Odpadní materiál, tj. jemné abrazivní částice, jsou shromažďovány do big bagu, ze kterých voda proteče do nádrže. Tento materiál je v principu přirozeně vysušen. Obrázky viz přílohy recyklace.

Recyklační systém je řízen pomocí řídicího systému. Všechny hlavní funkce jsou průběžně monitorovány a při jakémkoliv problému je systém automaticky vypnut. Proto systém může pracovat zcela automaticky a nezávisle. [21]

Obrázek 14 Kompaktní zařízení pro recyklaci abraziva RAMS 2

Zdroj: <http://www.ptv.cz/lokalni-recyklace-abraziva-separator-v2/>



4.11 CNC stoly

Přesnost řezání stolu s 3D mechanikou je v režimu 3D práce dána přesností mechaniky stolu, polotovaru, ustavení polotovaru, přesností technologie. Každý stůl, je proměřen laserovým interferometrem, jímž se zjistí případné odchylky, které se zadají do systému, ten je uloží a používá při řezání. Ukázka stolů s technickými parametry je na obr. 15.

Stoly jsou v rozměrech od 1 x 1m až do 6 x 9 m je možné pracovat s jedním nebo dvěma Z-tovými suporty. Stůl je vyroben z ocelové nosné konstrukce s AL portálem, ten má lineární vedení s kuličkovými vozíky, nebo kalené ozubené hřebeny a nerezové pastorky a dále nejpřesnější přesnost polohování pohon portálů je dán planetovými převodovky se servomotory. Maximální pracovní rychlost stroje je 12 000 mm.min⁻¹ a maximální přejezdová rychlost stroje je 20 000 mm.min⁻¹. [21], [23]

technické parametry:

lineární přesnost polohování +/- 0,05 mm

opakovatelná přesnost polohování +/- 0,05 mm

rozsah pracovních rychlostí 1 - 16 000 mm/min

rozsah přejezdových rychlostí 1 - 30 000 mm/min

ruční posuv osy Z nahoru 5 000 mm/min

ruční posuv osy Z dolů 2 000 mm/min

automatický posuv osy Z nahoru a dolů 5 000 mm/min



Obrázek 15 CNC stoly

Zdroj: <http://www.ptv.cz/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/>

4.12 Řídicí systém - ovládací panel CNC stolů



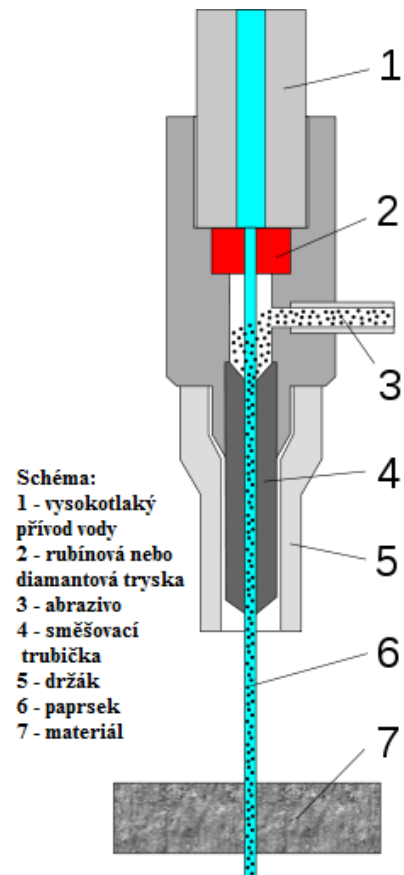
Skládá se ze stojanu, ovládacího panelu a ochranného štítu. Ovládací panel tvoří LCD touch screen display, membránová technologická klávesnice a myš s USB portem. Veškeré vybavení kromě myši má stupeň krytí IP65. předností je mimořádný design s vysoce precizním technickým provedením. Ochranný štít chrání obsluhu a panel před případným rozstříkáním vody ze stolu. [21]

Obrázek 16 Ovládací panel

Zdroj: <http://www.ptv.cz/ridici-system/>

4.13 Řezací hlava

Podstatou dělení materiálů je obroušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené řezací tryskou. Řezací tryska byla dříve rubínová, ale měla problém se zarůstáním otvoru. Nyní se používá diamantová tryska, která má delší životnost a vyšší řezací rychlost, ta je dále zakončena fokusační tryskou, která dotváří a formuje paprsek do konečné podoby. Je to jediný díl, jímž prochází voda se smíchaným abrazivem a jsou proto na tento díl kladeny vysoké nároky na výrobu a to z důvodu otěru materiálu, celkové schéma je na obr.17. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. Pohyb řezací hlavy a tedy i dráha řezu je řízena počítačem na základě předem staveného programu. Aby nedošlo k poškození řezací hlavy, je hlídána výškovým senzorem, který je vybaven digitálním magnetickým snímačem polohy, který plní funkci automatického hlídání optimální distance mezi nerovným řezaným polotovarem a řezací tryskou k udržování správné distance je použit potenciometrický senzor a proto je možné provést i ten tvarově nejnáročnější řez během jedné operace. [21], [24]



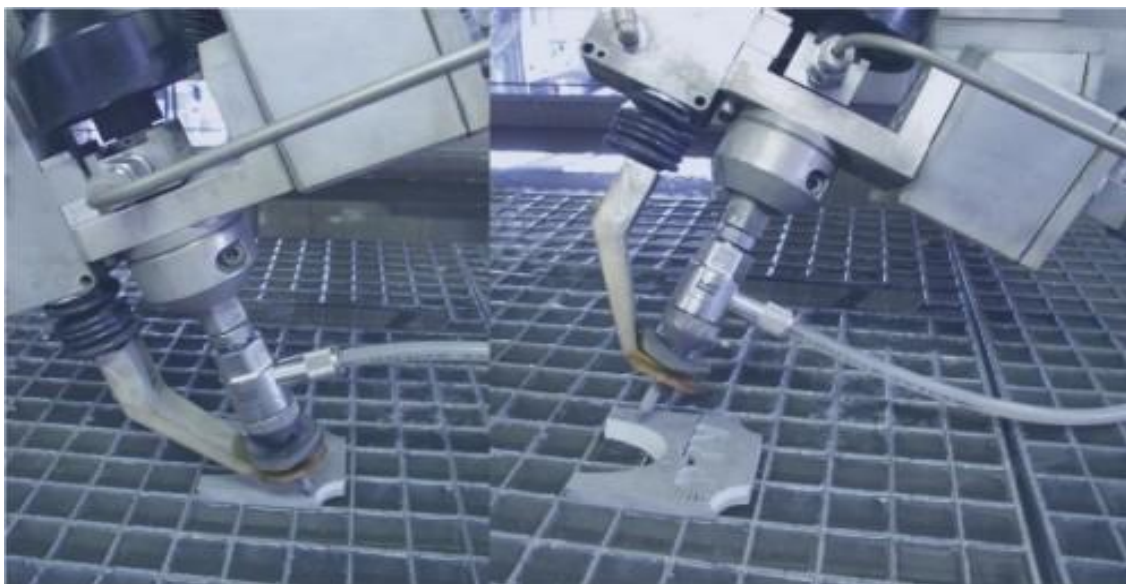
Obrázek 17 Schéma řezací hlavy

Zdroj: [htt-](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem)

[ps://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem)

4.13.1 Systém naklápěcí hlavy

Systém, který eliminuje chyby vzniklé energetickým úbytkem paprsku. Umožňuje realizovat kolmé výřezy, zvyšuje tvarovou přesnost a snižuje i čas řezání díky 5 osám pohybu (X – podélný pojezd, Y – příčný pojezd, Z – svislý pojezd, A – rotační osa, B – rotační naklápěcí osa). První naklápěcí hlava je pod názvem ProgressJet je od firmy PTV a umožňovala naklápění rotačních os v rozsahu $\pm 10^\circ$, novější ProgressJet 5AX měl rotační rozsah os $\pm 45^\circ$, a nejmodernější nazvaný ProgressJet II.60dg má rotační rozsah až $\pm 60^\circ$ (obr. 18). Jiné společnosti tento druh naklápěcí hlavy nabízí také, jen pod jiným označením např. Dinamic od společnosti FLOW. Tento nejmodernější systém naklápěcí hlavy má v sobě zabudovaný laserový výškový senzor. Inteligentní matematický model, který přepočítává odchylku paprsku výstupního podpaprsku ve vztahu ke vstupnímu bodu, dále obsahuje unikátní bezpečnostní systém, který pomocí náklonových čidel monitoruje a vyhodnocuje polohu řezací hlavy a proudu abrazivního paprsku uvnitř pracovního prostoru a eliminuje případné nebezpečí pro obsluhu či riziko poškození stolu. Program, který je dodáváný k tomuto systému má v sobě zabudované druhy materiálu, tloušťku a požadovanou kvalitu řezu Q, tato komplexní mechanika vypočte pohyby, které se přenesou na řezací hlavu. Díky tomuto systému a programu klesá sklon řezné hrany k 0° , i při použití vysokých rychlostí vznikají čisté opracované hrany, kouty a zaoblení. Důkazem téměř dokonalého řezu, jsou uvedené na obr. 19. [21], [23]



Obrázek 18 Systém naklápěcí hlavy

Zdroj: <http://www.ptv.cz/specialni-technologie/>

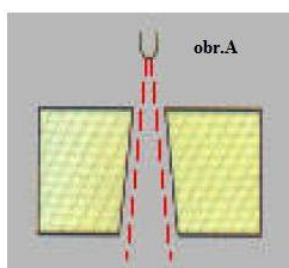


Obrázek 19 Porovnání konvenční a ProgressJet systému

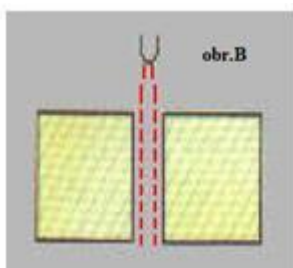
Zdroj: <http://www.ptv.cz/specialni-technologie/>

5. Kvalita řezu

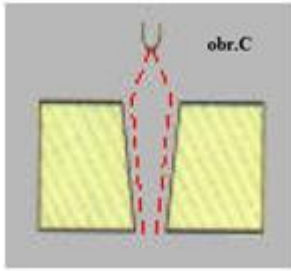
Paprsek vody není tuhý nástroj, čím rychleji řeže, tím více se paprsek ohýbá. Síla vody z výstupní trysky směrem dolů na obrobek klesá a vzniká kónická hrana řezu a v rozích se tvoří zahloubení. Tyto chyby lze rozdělit do tří skupin dle tvoření řezné spáry:



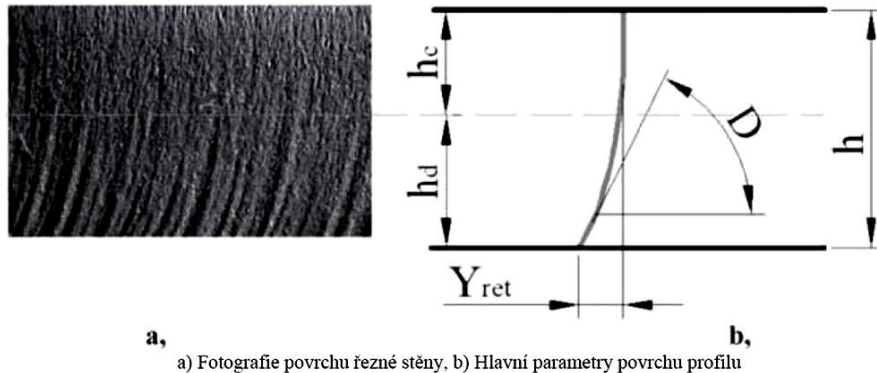
Skupina A (obr. A) – pomalý řez či řez měkkého materiálu: paprsek vody probrousí svojí přirozenou válcovou stopu a vzniká úkos. [1], [21]



Skupina B (obr. B) – je to rovnováha mezi rychlostí řezu, druhem materiálu a jeho tloušťkou: paprsek vody je po celou dobu průchodem materiálu kruhového průřezu, nevznikají žádné úkoso. [1], [21]



Skupina C (obr. C) – zde je to řez buďto velmi odolným materiálem či velmi rychlým řezem: vodní paprsek nedokáže probrousit materiál ani ve vstupním průřezu a řez se směrem dolů uzavírá. [1], [21]

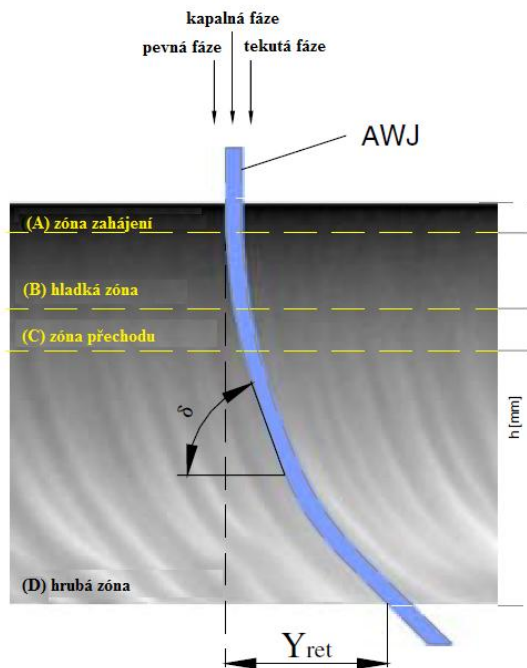


Obrázek 20 Povrch řezné stěny

Zdroj: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009svarovani/2-17.pdf>

5.1 Drsnost povrchu

U této nekonvenční technologie je problém kam zařadit, nebo jakým způsobem měřit kvalitu vytvořených ploch, myslíme drsnost povrchu. Měření povrchu generovaný vodní tryskou a brusnou vodní tryskou je poměrně obtížné, je to způsobeno specifickou povrchovou strukturou, na které je světlo rozptýleno. Mnoho studií tuto záležitost posuzovali a vytvořily predikci, podle rozptylu světla, kdy na měřeném profilu povrchu rozeznáváme čtyři různé topografické zóny, které jsou rozkresleny na obr. 21: [17]



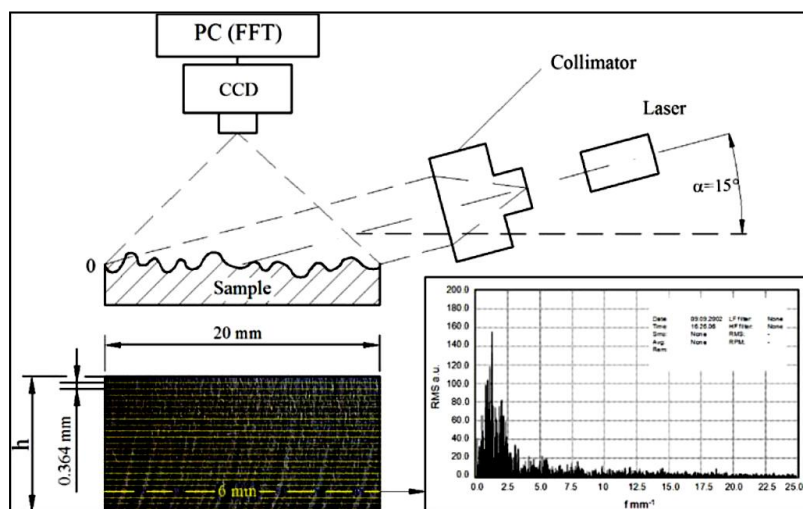
- (A) zahájení,
- (B) hladká,
- (C) přechod,
- (D) hrubé

Obrázek 21 Topografické zóny

Zdroj: VALÍČEK, J., HLOCH, S., KOZAK, D.: Surface geometric parameters proposal for the advanced control of abrasive waterjet technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 41, 2009, č. 3 – 4.

Nerovnoměrnost horní části řezu se považuje za mikroskopický - to je většinou nerovnost na úrovni drsnosti.

Nerovnosti ve spodní části řezu je již makroskopické - s přítomností drážek a drážek s vlnitostí. Kvalita povrchu na každé straně vzorků byla měřena optickým způsobem za použití CCD kamery znázorněné na obr. 22. [17]



Tato predikce je zcela nemožná, protože hodnocení drsnosti povrchu necharakterizuje funkční povrch v celém rozsahu.

Obrázek 22 Použití CCD kamery

Zdroj: VALÍČEK, J., HLOCH, S., KOZAK, D.: Surface geometric parameters proposal for the advanced control of abrasive waterjet technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 41, 2009, č. 3 – 4.

Drsnost povrchu je dána stopami po obráběcím nástroji. Rozlišujeme drsnost příčnou (kolmo na směr obrábění) nebo drsnost podélnou (ve směru obrábění). U povrchů, kde se nerozpozná směr obrábění, se kontroluje drsnost ve dvou kolmých směrech a vyjadřuje se větší hodnotou. Vodním paprskem můžeme řezat v těchto kvalitách řezu od nejlepšího Q5 až po hrubý dělicí řez Q1. Drsnost povrchu se udává číslem 0,001 mm a R_a je střední aritmetická úchylka od střední čáry profilu. [21]

Tabulka 1 Drsnost povrchu [21], [9]

Stupeň	Popis kvality řezu	Drsnost R_a na horní hraně	Drsnost R_a na dolní hraně	Tvarová přesnost na horní hraně	Tvarová přesnost na dolní hraně
Q1	Dělicí řez	6,3	40	+/- 0,20 mm	nespec.
Q2	Hrubý řez	5,0	25	+/- 0,20 mm	nespec.
Q3	Středně kvalitní řez	4,0	12,5	+/- 0,15 mm	nespec.
Q4	Kvalitní řez	3,2	6,3	+/- 0,10 mm	+/- 0,20 mm
Q5	Maximálně kvalitní řez	pod 3,2	3,2	+/- 0,10 mm	+/- 0,10 mm

Tabulka 2 Praktická řada drsností i jednotlivých technologií [20]

Technologie	Drsnost R_a [μm]
lapování	0,012 až 0,025
honování a superfinišování	0,05 až 0,1
jemné broušení	0,2 až 0,4
broušení a vystružování	0,8
jemné soustružení	1,6
jemné frézování	3,2
vrtání	6,3
soustružení a frézování nahrubo	12,5 až 25
hoblování	50
polotovary a výkovky	100

6. Vodní paprsek a jeho aplikace v praxi



Američtí kontrolóři ze společnosti Boeing zdůrazňují, že řezání velmi tlustých materiálů dokumentuje mimořádné vlastnosti této unikátní technologie. Přitom pro dosažení nejvyšší kvality řezu je potřeba znát optimální konfiguraci průměrů používaných vodních i abrazivních trysek a tvrdosti, zrnitosti a množství abrazivního materiálu. Unikátní vlastnost této technologie – začít řez v libovolném místě i u tlustých výrobků, a bez tepelného či mechanického ovlivnění, nejlépe dokumentuje operace vyřezání zkušebních vzorků z výkovku. Použití této technologie pro odstranění přetoků velkorozměrných výkovků a výlisků výrazně snižuje pracnost operací ve srovnání s mechanickým opracováním na CNC frézce. [11]

Jako příklad prosperity a užitekosti stroje je vidět na dílu leteckého podvozku z titanové slitiny, tloušťka průřezů je 20 - 40 mm, a délka řezu 7000 mm. Řezání se provádí tlakem 4130 barů, s množstvím vody $7,6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, jako abrazivo je používán granát GMA MESH 80. Doba řezání byla 75 min a dosahovaná přesnost byla $+1,0 \text{ mm}$. Po odřezání přetoků výkovku nebyla nutná žádná další doplňující operace. Drsnost povrchu řezu dosahovala $Ra 2,3 \mu\text{m}$. Dále byla provedena kontrola geometrických rozměrů výkovku a všechny sledované geometrické rozměry i kvalita povrchu výkovku odpovídaly technickému zadání. Čas potřebný na analogickou operaci na CNC frézce byl 44 hod. Přitom je nutné také zdůraznit, že při

provádění podobných operací jsou přísně zakázány všechny způsoby řezání tepelně ovlivňující materiál. [11]

Proces hydroabrazivního řezání zcela optimálně provádí odstranění přetoků, odřezání tolerančních přesahů, vyřezání otvorů i zkušebních vzorků pro testy velkoobjemových výkovků. Řezací hlava dovoluje velmi těsné přiblížení k obrobku, minimalizuje ztráty, a optimalizuje odpad materiálu a to i pro slitiny leteckých výrobků. Proces řezání je možné začít v libovolném místě bez jakékoliv předběžné přípravy. Ve speciálních případech, zvláště při řezání velmi tlustých materiálů (více než 100 mm), se provádí předvrtání otvoru. Technologie hydroabrazivního řezání zcela eliminuje tepelný i mechanický vliv na řezaný materiál. Řezná spára je 1 - 2,5 mm. [11]

6.1 Využití vodního paprsku při mletí materiálů

Myšlenka použít vodní paprsek k mletí částic je stará již několik desetiletí. Struktura uhlí je charakterizována přítomností mnoha trhlin, což umocňuje mlecí účinek při interakci s proudem vody pohybujícím se vysokou rychlostí. Zkušenosti s mletím uhlí pak v USA vyústily v konstrukci uhelného mlýnu nové generace chráněného US patentem. Mlecí tlak vody dosahoval téměř 600 MPa a produktivita tohoto zařízení se v závislosti na mletém materiálu blížila 1000 kg.hod^{-1} výsledného produktu.

Z experimentů mletí vrstevních silikátů ve vodním mlýnku vyplývá, že zatímco jiné technologie mechanického mletí způsobují defekty ve strukturách mletých materiálů, technologie abrazivního vysokorychlostního vodního paprsku zachovává původní strukturu materiálu a jeho štěpnost. Při vyšším tlaku vody je dosahováno jemnějšího výstupního produktu, ale pouze do určitého limitu, který je pro každý mletý materiál a mlecí tlak jedinečný. Opakované mletí již pomletého produktu umožňuje získat jemnější produkt, ovšem zase jen po konkrétní limit. [11]

6.2 Přehled využití vodního paprsku v praxi

Vodní paprsek má široké využití v mnoha oborech i odvětvích od metalurgického až po potravinářský průmysl, ve kterých snižuje provozní náklady a zvyšuje užítkovost a také bezpečnost práce.

- Chemický průmysl – výbušné látky (dynamit, tuhá paliva), plastické hmoty.

Efekty - úplně odpadlo nebezpečí výbuchu při dělení, hygienické pracovní prostředí.

- Potravinářský průmysl – ovoce a zelenina v syrovém, zmraženém i sušeném stavu. Tabák v syrovém a sušeném stavu. Maso a ryby v syrovém i zmraženém stavu. Pečivo, dorty i sýry
Efekty - úspora nástrojů, malý prořez (0,1 - 0,15 mm), vysoká hygiena práce, možnost řezat z výšky cca 50 mm
 - Stavební průmysl – izolační materiály (polyuretan, polystyren, sklovláknité materiály, čedičová vata), střešní azbestocementové krytiny a tvarovky, plastbetony, keramika.
Efekty - tvarové řezy betonů a keramiky, malé dynamické účinky na konstrikce staveb.
 - Metalurgický průmysl – řezání žhavých materiálů, otryskávání odlitků
Efekty - odstranění těžké i nehygienické a nebezpečné práce, pružné výrobní systémy
 - Plastikářský a gumárenský průmysl – pryž, plasty všeho druhu i s kovem či kevlarom, automobilové pneumatiky
Efekty - vysoké řezné rychlosti, čisté a nenatavený studený řez
 - Papírenský průmysl – papír, folie, buničina
Efekty - vysoká řezná rychlost (až $2000 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), přesná ostrá řezná hrana, úspora nástrojů, bezpečné pracoviště bez elektrostatických výbojů
 - Obuvnický a galanterní průmysl – pravé i umělé kůže, plasty všeho druhu
Efekty - vysoké řezné rychlosti (až $350 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), nedeformované řezné hrany, bez dalších výrobních systémů
 - Sklářský průmysl – sklo všeho druhu do tloušťek cca 200 mm
Efekty - různé tvarové řezy do všech druhů skel, vrtání všech druhů skel
 - University a výzkumná pracoviště – studium hydrodynamiky a aerodynamiky s využitím rychlosti paprsku cca $1000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro konstrukce ponorek, torpéd, trupu raket a projektilů.
- [10]

6.3 Nejvíce ceněné poznatky, vlastnosti a argumenty pro výběr této unikátní technologie

Vodní paprsek má energetickou účinnost kolem 80 % (je 8x vyšší než u laseru). Při řezání má studený dělicí řez, neprojevuje se žádné tepelné ovlivnění ani mechanická deformace či zbytkové napětí (tzn. možnost řezat jakékoliv druhy materiálu citlivé na teploty (např.: plasty a kombinace, vrstvené materiály, výbušné hmoty atd.). Jsou známy některé druhy materiálu, jako je např. bezpečnostní sklo, které nelze řezat vodním paprskem, ale jinak tento stroj dis-

ponuje maximální univerzálnost. Dále se při řezu nevyskytují žádné mikrotrhliny. Možné je řezat i pod vodou. U tištěných spojů je řez elektricky nevodivý. Řezání je možné provádět ve všech polohách, směrech, úkosech dále obrysy a tvary. Vše se děje bez prachu, není zde potřeba žádné odsávací techniky, nevylučují se žádné karcinogenní ani jedovaté látky, jako např. při řezání azbestu. Je zde malá vzdálenost trysky od materiálu, tudíž je možné řezat i vlnité materiály v jedné rovině $x - y$. U řezu jsou malé řezné spáry, proto není tolik odpadu, vodní paprsek činní spáru 0,1 – 0,25 mm a abrazivní paprsek činní spáru 0,8 – 2,0 mm. Jedno čerpadlo dokáže současně obsluhovat několik desítek vodních trysek najednou a současně, při abrazivním paprsku 1 -5 trysek. Čerpadlo může být vzdáleno i několik metrů od pracoviště, tedy může být mimo pracovní prostory. Tlakové rozvody vody jsou mimořádně jednoduché, nevyžadují žádnou údržbu v průběhu celé životnosti. Spuštění a zastavení paprsku je v čase 150 milisekund. Materiál je možné kdekoliv prostřelit či provrtat a také řez kdekoliv ukončit. Nastavením tlaku je možné materiál řezat, otryskávat či jen oplachovat. Pro jiné průmysly je možné použití i jiných pracovních medií než je voda (olej, máslo, kakao, tuky apod. hlavně v potravinářském průmyslu). je zde možnost i přepravy na jiná stanoviště díky mobilní verzi, která se vejde na nákladní vůz. [10], [11], [23], [20]

6.4 Ekonomická efektivnost vodního paprsku v praxi

V některých případech díky nasazení této technologie je v zahraničních tiskovinách uváděno, že došlo ke zvýšení produktivity práce až o 90 %. Toto tvrzení plyne z velké úspory nástrojů a nástrojařské kapacity. Je zde úspora práce oproti třískovému obrábění z hlediska času a tepelně ovlivněné oblasti a dále úspora z hlediska manipulačních časů (na jednom stroji lze řezat nejrůznější materiály). Nastává i investiční a dokonce i energetická úspora omezením vzduchotechnických systémů, celková úspora energie a kovů, zkvalitnění pracovního prostředí a hygieny práce s dopadem na životní prostředí. [10]

Technologie vodního a abrazivního paprsku potřebuje při max. výkonu pro celou typovou řadu čerpadel: 0,1 – 8 litry čisté chemicky neupravené vody za minutu

0,1 – 0,5 kg abrazivního materiálu za minutu

19 – 75 kW pro pohon elektromotoru [10], [21], [23],

Tedy je možné konstatovat, že efekty které tato technologie nabízí, nejsou srovnatelné s žádnou nynější konvenční metodou dělení materiálu, hlavně co do čistoty, hygieny, pracovního procesu tak i ochraně životního prostředí. [10],

6.5 Vodní paprsek - nevýhody

V minulých kapitolách byli zmíněni samé kladné aspekty o technologii vodního paprsku, ale i ta má své úskalí, které mohou ovlivnit výběr této technologie. Jednou z nevýhod je nevyhnutelný kontakt s vodou, kovové materiály (podléhající korozi) je potřeba po dokončení řezu ošetřit. Dále nastává problém u nasákavých materiálů, je zde potřeba delší doba na sušení, případně očištění atd. U barvených materiálů je zde možnost změny barvy vlivem vody. Pro obsluhu je proces řezání, zejména začátek řezu (průstřel materiálu) hlučný. Při řezání úhlu 90° nastává chyba úkosu, ale tato chyba už je eliminována naklápací hlavou. Při řezu tlustých materiálu nastává zhoršená jakost řezu a to ve spodní části obrobku, při výstupu vodního paprsku. Dále pak u tvrdých a tlustých materiálu klesá řezná rychlost, zvyšuje se ekonomická náročnost. Je zde snižená možnost řezu malých dílu pod 5 mm. [29], [30]

7. Cíl práce

Tato práce se zabývá nekonvenční metodou obrábění, řezání vodním paprskem. Je to poměrně mladá metoda obrábění, která velmi proniká do výrobních podniků, kde se zabývají výrobou z kovových i nekovových materiálů, ale především výrobou z konstrukční oceli.

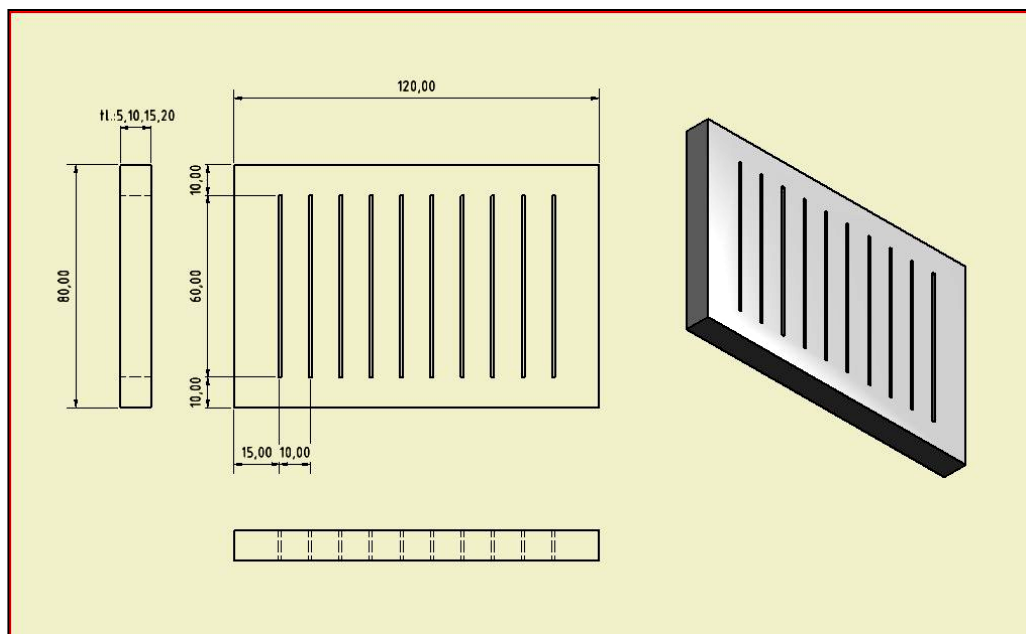
Experiment je zaměřen na řezání konstrukční oceli 11 523. Hlavním záměrem experimentu je posouzení řezné spáry a celkové hodnoty řezu na dvou rozdílných strojích od jiných společností. Protože paprsek vody při dopadu na materiál pomalu ztrácí kinetickou energii. Tento úbytek energie ovlivňuje celkovou hodnotu řezu (tvar řezné spáry, její rozměry, atd.). Jakost vodního parsku je ovlivněna několika faktory. Tyto faktory jsou fyzikálně-mechanické vlastnosti materiálu, množství a druh abraziva, rychlost řezu řeznou hlavou a tlak použitý při řezání v jednotkách bar (1 bar = 0,1 MPa). Všechny tyto aspekty budou zohledněny a zkoumány na vzorcích o tloušťkách materiálu 5, 10, 15 a 20 mm ze stejného materiálu.

Technické vlastnosti zkoumaného materiálu, konstrukční ocel 11523, dále může být pod označením ČSN 41 1523, DIN St52 - 3, EN 10027 – 1 S35530, EN 10027-2 1.0553, EN 10025:90 Fe510C1, GOST 17GS. Jedná se o nelegovanou konstrukční jemnozrnnou ocel vhodnou ke svařování. Její použití je pro mostní konstrukce, tvarové profily, svařované konstrukce a svařované součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součásti tepelných energetických zařízení a součásti tlakových nádob vyrobených z tyčí. [31]

Experiment je rozdělen do dvou částí, kde v první části budou zkoumány šířky řezných spár a to na vstupu a výstupu řezného paprsku, při objemu abraziva $215 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ a $223 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ o různých rychlostech řezání značené od V_1 až V_{10} , viz tab. 4. A ve druhé části experimentu bude porovnáván tvar řezných spár a jejich odchylky ve stupních, při stejných podmínkách řezání, jedná se o tytéž vzorky z první části experimentu.

8. Metodika práce

Vzorky byly nařezány z jednoho kusu materiálu o rozměrech 80 x 120 x 3000 mm, na dané tloušťky 5, 10, 15, 20 mm s přídavkem na obrábění + 3 až 4 mm pro následné frézování, do požadované tloušťky materiálu. Řezání probíhalo na elektrické rámové pile s označením FA-320, kde cca 1 řez trval 27 min s nastavením požadované tloušťky obrobku a puštěním rámové pily. Všechny vzorky byly opracovány na vertikální (svislé) konzolové frézce s označením FA2V, na které se ofrézovaly plochy do rovinnosti a dále se ofrézovaly na požadované tloušťky, určené k tomuto experimentu pro vytvoření řezných spár od vodního abrazivního paprsku v různých rychlostech.



Obrázek 23 Rozměry zkušební vzorku

Zdroj: vlastní, rozměry převzaty z předchozích prací

8.1 Technologické parametry, které byly zvoleny pro experiment

Tabulka 3 Technologické parametry

	➤ Stroj od firmy PTV	➤ Stroj od firmy AWAC
Tlak vody:	413 MPa	380 MPa
Průměr diamantové trysky:	0,1 mm	0,3 mm
Průměr abrazivní trysky:	0,889 mm	0,900 mm
Umístění paprsku:	kolmo (90 °) na řezaný materiál	kolmo (90 °) na řezaný materiál
Výška abrazivní trysky nad obráběným materiálem:	3 mm	3 mm
Hmotnostní tok abraziva:	211,5 g.min ⁻¹	223 g.min ⁻¹
Velikost abraziva:	80 MESH	80 MESH
Materiál abraziva:	granát	granát
Použité rychlosti posuvu:	viz tab. 4	viz tab. 4

Tabulka 4 Tabulka řezných rychlostí pro různé tloušťky materiálu

Tl. plechu (mm)	V ₁ (mm.min ⁻¹)	V ₂ (mm.min ⁻¹)	V ₃ (mm.min ⁻¹)	V ₄ (mm.min ⁻¹)	V ₅ (mm.min ⁻¹)	V ₆ (mm.min ⁻¹)	V ₇ (mm.min ⁻¹)	V ₈ (mm.min ⁻¹)	V ₉ (mm.min ⁻¹)	V ₁₀ (mm.min ⁻¹)
5	50	100	150	200	250	300	350	375	400	425
10	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
15	20	40	60	80	90	100	110	120	130	140
20	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
č. řezu	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

8.2 Přístroj pro měření spáry a software

Za pomoci stereoskopického mikroskopu s označením SZP 11-T ZOOM byla měřena šíře řezné spáry. Tento druh mikroskopu je vhodný pro pozorování trojrozměrných neprůhledných předmětů. Rozsah zvětšení činí 7 – 45 krát, změna zvětšení je plynulá pomocí zoomu. Mikroskop je vybaven digitální kamerou CMOS, která je propojena s PC nebo notebookem, na kterém vidíme vady či nedostatky promítaného vzorku, tudíž šetří zrak.



Počítač má v sobě nainstalovaný program Quick Photo Industrial 2.3. Tento software je určen pro zobrazení 3D digitálních snímků z kamery. Mikroskop s kamerou je s počítačem propojen pomocí kabelu USB, díky kterému se na monitoru PC zobrazuje přímý přenos z kamery. Mikroskop správně zaostříme, dle našeho úsudku, dále je možné provést kontrast pro co nejlepší zobrazení vhodné pro měření. Po zachycení snímku si v PC vybereme zvětšení 3,5 krát a můžeme přidat měřítko pro lepší představu o velikosti. Ilustrovaná ukázka, je na obr. 24. Dále se na pořízeném snímku může provádět měření ploch, úhlů, délek, obvodů, tvrdosti a mikrotvrdosti. Před měřením je nutné provést kalibraci mikroskopu s kamerou za pomoci etalonu, pro dosažení správného měřítka na snímku.

*Obrázek 24 Stereoskopický mikroskop - SZP 11-T ZOOM
Zdroj: vlastní, laboratoře ČZU*

8.3 Velikost řezné spáry vlivem rychlosti posuvu řezné hlavy

Zabýváme se zde první částí experimentu, kde bude zkoumáno 10 řezných spár na vstupu vrchní a na výstupu spodní strany destičky, pro čtyři tloušťky ocelových destiček 5, 10, 15 a 20 mm ze stejného materiálu. Na nich bude proveden 10 krát řez vodním abrazivním paprskem o různých rychlostech V_1 až V_{10} z tab. 4, tato rozdílná rychlost řezu vytvoří rozdílné šířky spár, které budou zkoumány a vyhodnocovány. Celkově v experimentu bude zkoumáno 8 ks destiček, pro dva různé typy strojů o různém působícím tlaku média při abrazivním vodním řezání. První stroj má parametry: hmotnostním toku abraziva $211,5 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ a tlaku 413 MPa. Druhý stroj má parametry: hmotnostní tok $223 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ s tlakem 380 MPa.

Na obr. 25 je ilustrovaná fotografie zkušebního měřeného vzorku tloušťky 20 mm, jeho lícová a rubová strana při požití stroje s nižším tlakem, 3800 bar.

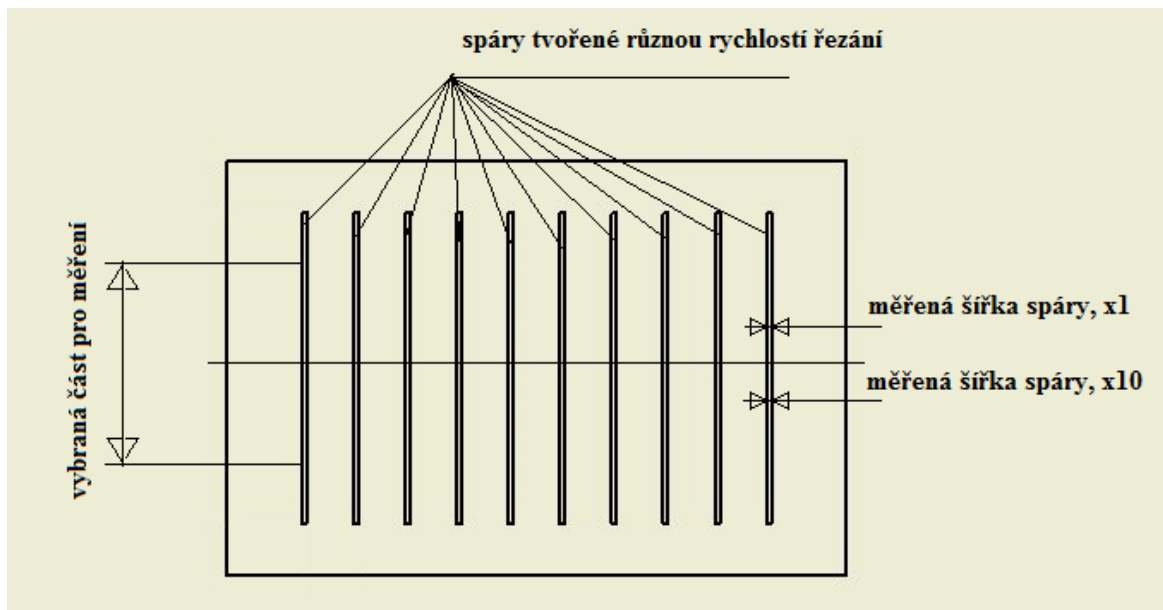


Obrázek 25 Ukázka řezných spár lícové a rubové strany zkoumaného vzorku a vliv řezné rychlosti

Zdroj: vlastní

8.4 Pracovní postup měření

Na každém ze zkoumaných vzorků se měřila šířka řezné spáry za pomoci stereoskopického mikroskopu a počítačového softwaru Quick Photo Industrial 2.3, kdy se na každé spáře provedly dva snímky, nasnímané od středu obrobku na každou stranu 10 mm nahoru a dolů. Na jednotlivém snímku bylo provedeno 5 měření spáry. Celkově jedna spára obsahovala deset měření, tudíž pouze na jedné straně zkoumaného vzorku bylo provedeno 100 měření pro deset pár, toto měření se opakovalo na rubové (výstupní) straně obrobku. Po naměření deseti hodnot na jedné spáře se provedl výpočet v programu Excel, ve kterém byl vypočten medián z celkových deseti měření jedné spáry a směrodatná odchylka. Tento výpočet byl pak aplikován i na ostatní šířky spár a na zbylé tloušťky materiálu.



Obrázek 26 Pracovní postup pro měření řezné spáry

zdroj: vlastní

Takto se provedlo měření na všech vzorcích, stejným způsobem. Získané hodnoty byly zaneseny do tabulky a za pomoci programu Excel byly vytvořeny grafy, které graficky znázorní vliv řezné rychlosti na průběh řezání při daném hmotnostním toku abraziva.

V grafu jsou zobrazeny rovnice regrese a hodnoty spolehlivosti R^2 , kdy hodnoty spolehlivosti jsou stanoveny v rozmezí: [33]

$|r| < 0,1$ zanedbatelný vztah

$|r| < 0,3$ slabý vztah

$|r| < 0,5$ středně silný vztah

$|r| \geq 0,5$ silný vztah

9. Vyhodnocování kvality řezu - vliv rychlosti na šířku řezné spáry (mm)

V první části experimentu se budeme zaměřovat na jednotlivé šířky spár pro dané čtyři tloušťky materiálu z oceli 11 523 od dvou rozdílných strojů, na kterých byly použity stejné rychlosti posuvu z tab. 3 dle tloušťky materiálu. Dále bude provedeno jejich grafické zhodnocení a slovní posouzení z hlediska vlivu řezných rychlostí, hmotnostního toku abraziva $211,5 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ a $223 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ a působícího řezného tlaku 413 MPa a 380 MPa .

Dá se očekávat, že při vysoké řezné rychlosti, se kinetická energie paprsku bude snižovat, tudíž se bude zmenšovat šířka řezné spáry a to i naopak, při nižší řezné rychlosti se velikost řezné spáry bude zvětšovat. Na lícové straně materiálu se to bude projevovat méně, ale na rubové straně materiálu je to více patrné. Z dostupných rozměrů abrazivní trysky, která má $\varnothing 0,889$ mm (zaokrouhleně $\varnothing 0,9$ mm) se dá předpokládat stejná šíře řezné spáry.

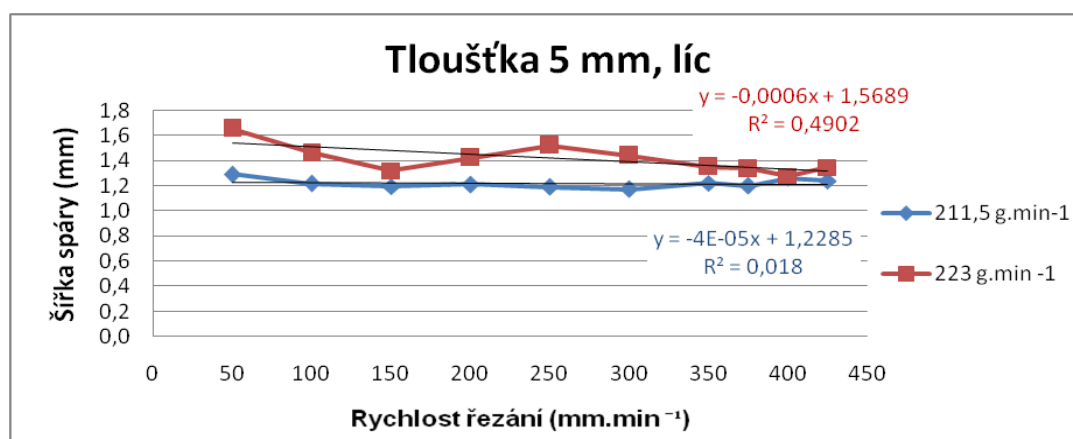
Použité stroje:

- PTV spol. s r.o.: hmotnostním tok abraziva $211,5 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ a tlak média 413 MPa (modrá křivka v grafu)
- AWAC spol. s r.o.: hmotnostním tok abraziva $223 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ a tlak média 380 MPa (červená křivka v grafu)

9.1 Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 5 mm

Křivka u stroje PTV vykazuje poměrně stálou šířku spáry při všech rychlostních stupních, kdy její rozměr je cca 1,2 mm s odchylky - 0,03 a + 0,09 mm. Prokazuje se závislost, že se snižující se rychlostí narůstá šířka řezné spáry. V řezu při nejnižší rychlosti $50 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ je spára nejširší o rozměru 1,29 mm, viz obr. 27.

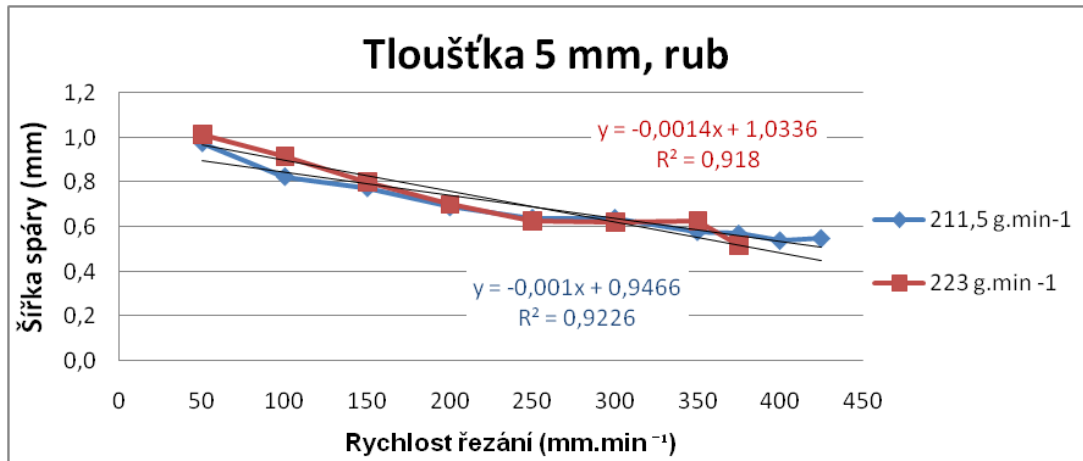
Křivka u stroje AWAC vykazuje stejnou predikci, dokonce s vyššími hodnotami měřené šířky spáry. Kdy v počátečním řezu při řezné rychlosti $425 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ byla naměřena šířka 1,35 mm a v posledním řezu při řezné rychlosti $50 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ byla naměřena šířka spáry 1,66 mm, viz obr. 27.



Obrázek 27. Lícová strana materiálu, pro tloušťku 5 mm

9.2 Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 5 mm

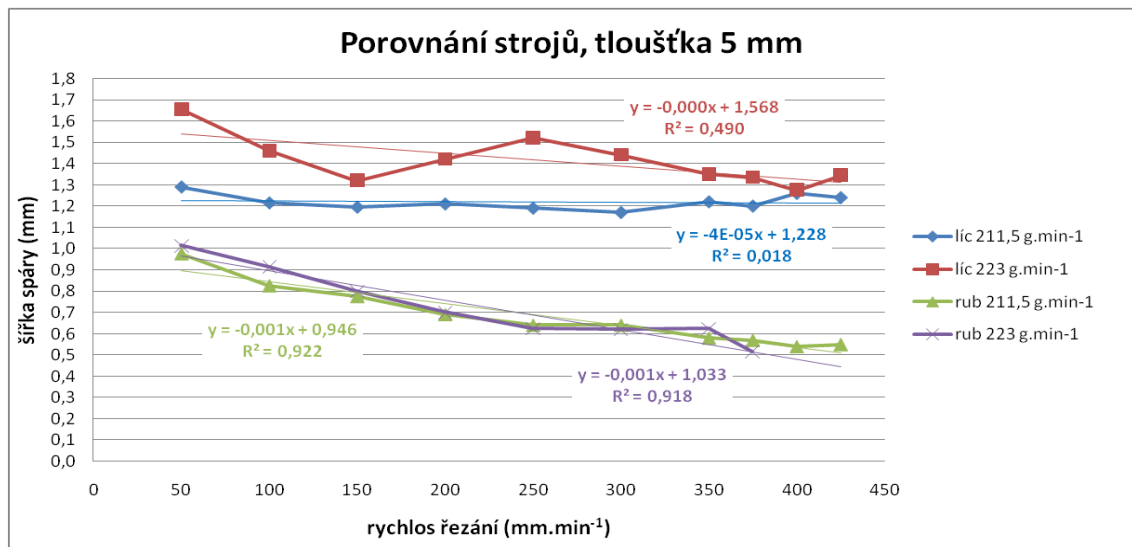
I na výstupní (rubové) straně materiálu se potvrzuje predikce vyslovená na začátku, že se snižující se řeznou rychlostí roste šířka řezné spáry. Z obr. 28 jsou patrné shodně naměřené hodnoty šířek spár. Ale u stroje s nižším tlakem 380 MPa nedošlo k proříznutí materiálu při dvou nejvyšších rychlostech řezání 425 a 400 mm.min⁻¹



Obrázek 28. Rubová strana materiálu, pro tloušťku 5 mm

9.3 Celkové srovnání obou strojů tloušťky 5 mm

Na obr. 29 je více viditelná predikce. Dále i účinnost strojů, kde se pozitivněji projevuje vyšší tlak média 413 MPa s menším množstvím abraziva 211,5 g.min⁻¹. Kdy tento stroj je účinnější, oproti stroji s více abrazivem 223 g.min⁻¹ a nižším tlakem média 380 MPa. Je to patrné z grafu, z rubové strany materiálu, při dvou nejvyšších řezných rychlostech, kdy nedošlo k plnému proříznutí materiálu po celé délce řezu.

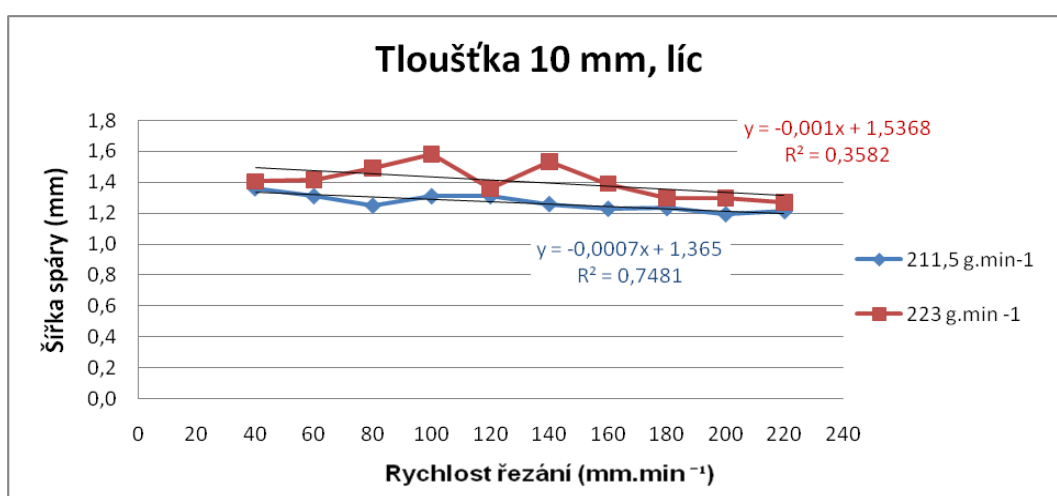


Obrázek 29 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 5 mm

9.4 Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 10 mm

Z obr. 30 je patrná větší spolehlivost (R^2) modré křivky, kdy se jedná o stroj s vyšším tlakem média. Vykazuje postupné narůstání šířky řezné spáry při snižující se rychlosti posuvu řezné hlavy od rychlosti $220 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ kdy je naměřena spára $1,22 \text{ mm}$ až po rychlost posuvu $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, kdy je šířka řezné spáry $1,36 \text{ mm}$.

Stroj s nižším tlakem se projevuje velmi růstovou křivkou, která prudce klesne v řezu s rychlostí $120 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a poté opět stoupne a dále pozvolna klesá do nejpomalejšího řezu. Počáteční a konečné hodnoty jsou podobné k prvnímu stroji, jen jsou nepatrně vyšší. Tyto hodnoty byly naměřeny při rychlosti $220 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ s šířkou spáry $1,27 \text{ mm}$ a v nejpomalejším řezu s rychlostí $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ byla naměřena spára šířky $1,41 \text{ mm}$.

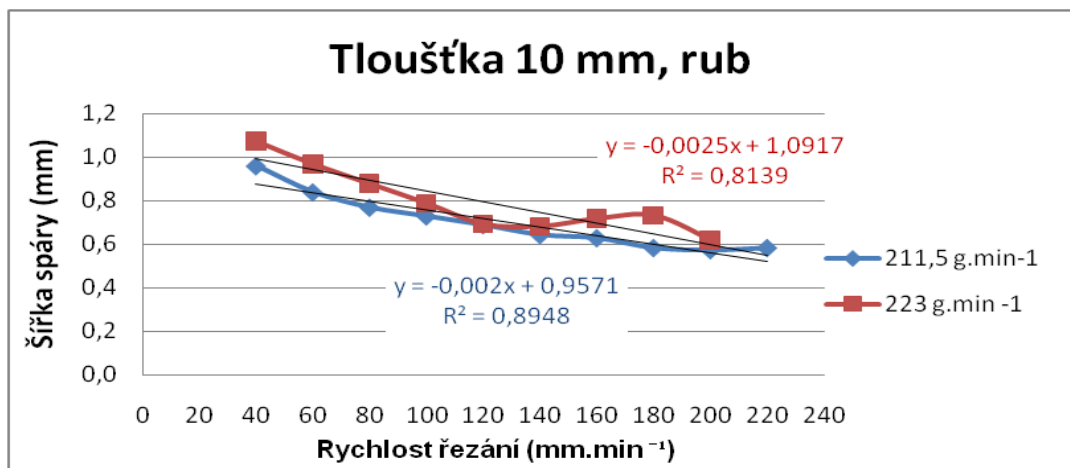


Obrázek 30 Lícová strana materiálu, pro tloušťku 10 mm

9.5 Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 10 mm

V obr. 31 se opět projevuje predikce, že s nižší řeznou rychlostí se zvětšuje šířka řezné spáry. Tato závislost je viditelnější u modré křivky, kde působil větší tlak média 413 MPa . Kdy při počátečním řezu s rychlostí $220 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ máme šířku spáry $0,59 \text{ mm}$ a v konečném řezu s rychlostí $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ byla naměřena šířka spáry $0,96 \text{ mm}$.

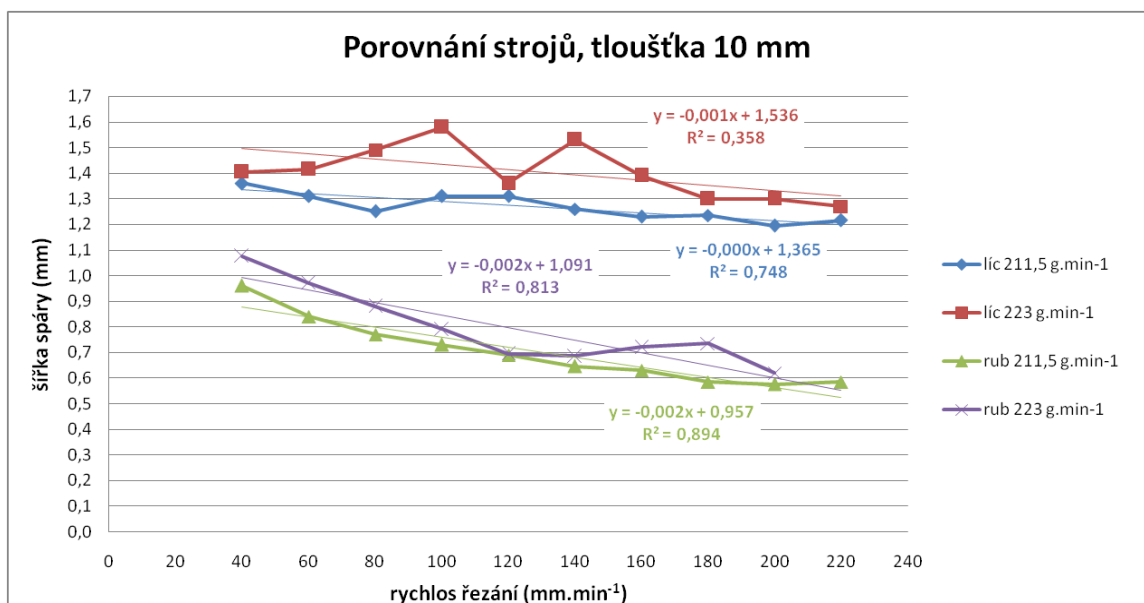
Červená křivka vykazuje stejnou závislost, ale s vyššími hodnotami od modré křivky a to cca o $0,1 \text{ mm}$ více na každou šířku spáry u všech řezných rychlostí. V počátečním řezu s rychlostí řezu $220 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ nedošlo k proříznutí materiálu a v konečném řezu při rychlosti $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ je šířka spáry $1,08 \text{ mm}$.



Obrázek 31 Rubová strana materiálu, pro tloušťku 10 mm

9.6 Celkové srovnání obou strojů tloušťky 10 mm

Z celkového porovnání obou strojů na obr. 32, vychází lépe stroj s vyšším tlakem média, kdy dochází ke stabilnějšímu průběhu řezu pro všechny řezné rychlosti. Také vyšší tlak média dokázal materiál vždy proříznout po celé jeho délce.



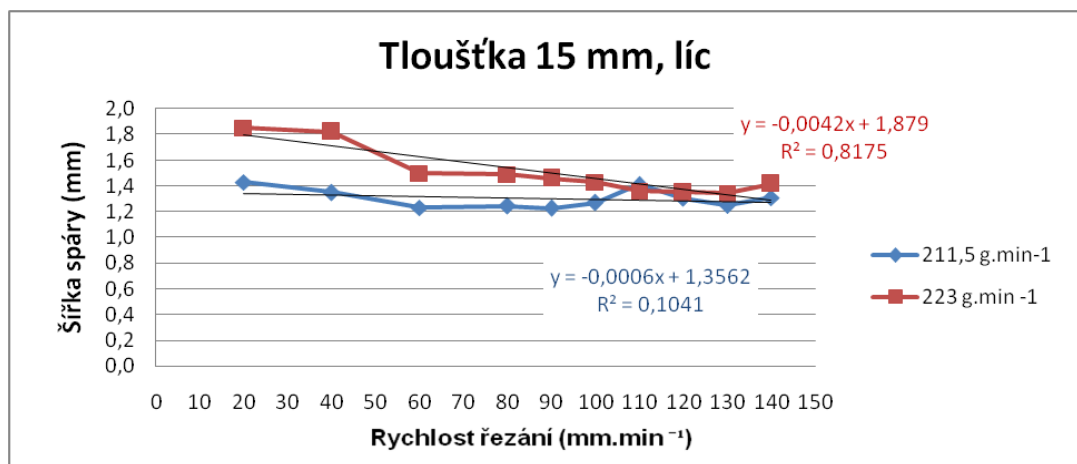
Obrázek 32 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 10 mm

9.7 Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 15 mm

Z obr. 33 má modrá a červená křivka podobný počáteční průběh od řezu s rychlostí $140 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ až po řez s rychlostí $110 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, kdy se hodnoty mírně od sebe liší. Následný průběh křivek se velmi liší.

Modrá křivka má pozvolné stoupání šířky spáry, kdy se projevuje závislost, že s nižší rychlostí je širší velikost spáry. Při řezu rychlostí $20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ je velikost řezné spáry $1,43 \text{ mm}$.

Červená křivka má výraznější průběh od řezu s rychlostí $110 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, kdy se predikce potvrzuje. V řezu s při rychlosti $20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ je velikost řezné spáry o cca $0,4 \text{ mm}$ větší než modré křivky a její šířka je $1,85 \text{ mm}$.

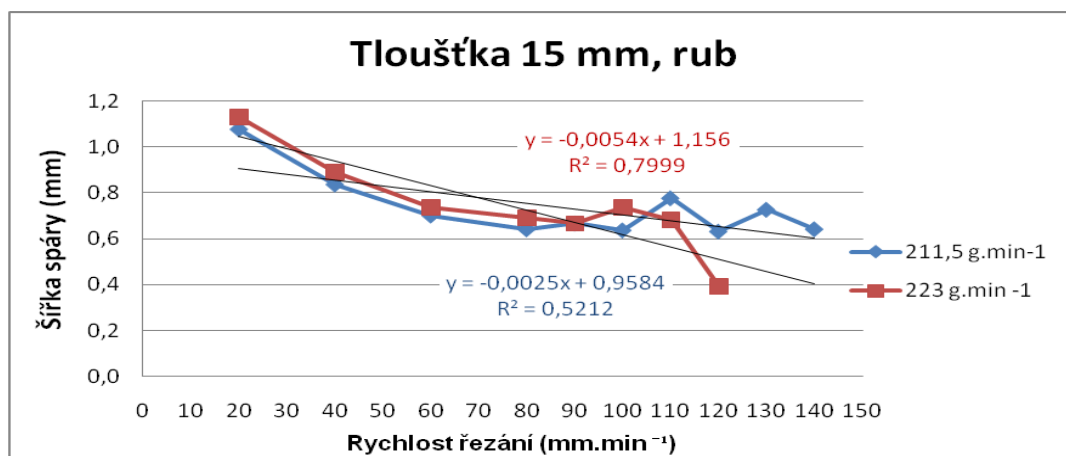


Obrázek 33. Lícová strana materiálu, pro tloušťku 15 mm

9.8 Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 15 mm

U obr. 34 se predikce u obou křivek potvrdila. U modré křivky je prokázáno, že tlak média je znatelnější než množství abraziva, kdy materiál je proříznut již od počátečního řezu s rychlostí $140 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ po celé délce, kdy velikost řezné spáry je změřena na $0,6 \text{ mm}$. V posledním řezu při rychlosti $20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ je změřena šířka $1,08 \text{ mm}$.

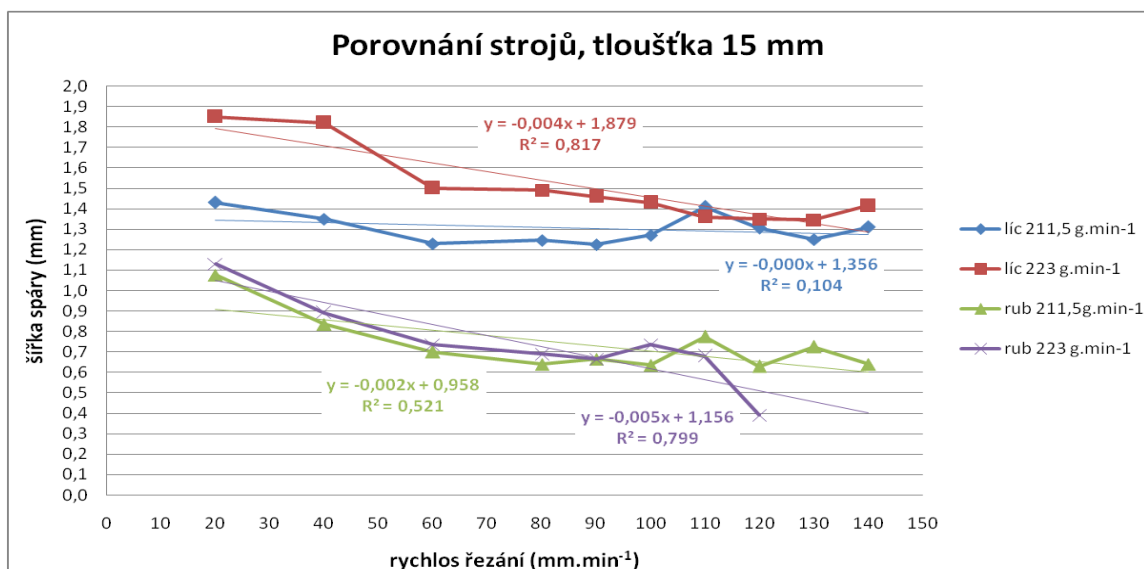
U červené křivky jsou počáteční řezné rychlosti 140 a $130 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ neproříznuté, větší množství abraziva s menším tlakem nestačilo. Dále se křivka vyvíjí s podobnými hodnotami jako modrá, kde se od sebe nepatrně liší širšími šířkami řezných spár o cca $0,05 \text{ mm}$. V nejpomalejším řezu s rychlostí $20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ je šířka řezné spáry $1,13 \text{ mm}$.



Obrázek 34. Rubová strana materiálu, pro tloušťku 15 mm

U obr. 35 je vidět celkové porovnání obou strojů, jejich minima a maxima šířek řezných spár. Kdy je viditelný vliv rychlosti na šířku řezné spáry, jak na vstupní straně materiálu, tak i výstupní kde je viditelnější, tudíž je prokázána predikce. Dále je z grafu vidět vliv tlaku média, kdy při vyšším tlaku dochází k proříznutí materiálu i při vysokých řezných rychlostech. A pak také, že s vyšším tlakem se méně mění velikost řezné spáry na lícové straně materiálu.

9.9 Celkové srovnání obou strojů tloušťky 15 mm



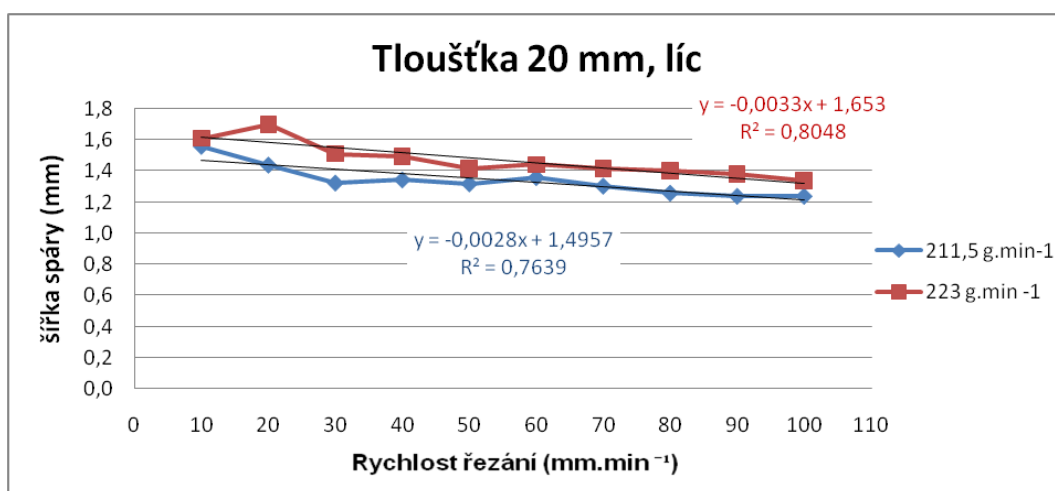
Obrázek 35 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 15 mm

9.10 Šířka řezné spáry lícové strany pro tloušťku 20 mm

V obr. 36, u této tloušťky materiálu 20 mm se projevuje predikce vyslovená v úvodu, která platí pro obě křivky.

Modrá křivka má sice nižší hodnotu spolehlivosti, ale vykazuje užší šířku spáry oproti červené křivce. Šířka řezné spáry v prvním řezu je 1,24 mm při řezné rychlosti 100 mm.min⁻¹ a s postupným ubýváním rychlosti, až do rychlosti 10 mm.min⁻¹ se šířka spáry rozšiřuje na šířku 1,56 mm.

Červená křivka vykazuje vyšší hodnoty oproti modré křivce cca o 0,1 mm více pro každý řez. Ale i její průběh je, že se sníženou rychlostí roste šířka spáry. Šířka řezné spáry je 1,34 mm pro řeznou rychlost 100 mm.min⁻¹ a dále v každém řezu roste, kdy v řezu při rychlosti 10 mm.min⁻¹ je šířka spáry 1,61 mm.

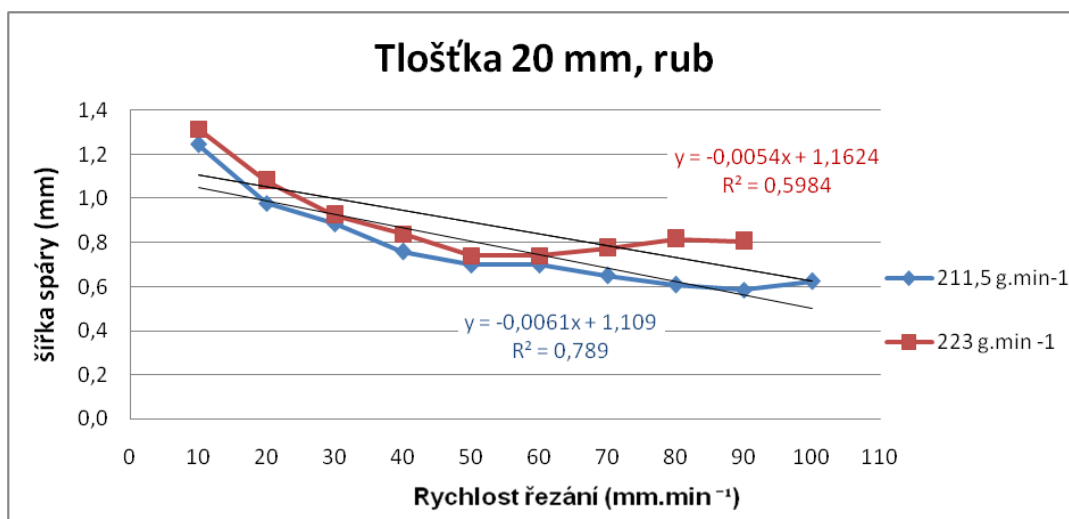


Obrázek 36 Lícová strana materiálu, pro tloušťku 20 mm

9.11 Šířka řezné spáry rubové strany pro tloušťku 20 mm

U tohoto obr. 37 je viditelnější závislost na rychlosti řezu a šířce spáry. Modrá křivka má velmi stoupavý průběh se zpomalující rychlostí řezání, kdy šířka spáry od nejrychlejší rychlosti po nejpomalejší vzrostla dvojnásob. Šířka spáry u rychlosti 100 mm.min⁻¹, byla naměřena 0,63 mm a u řezu s rychlostí posuvu 10 mm.min⁻¹, byla změřena šířka spáry 1,25 mm.

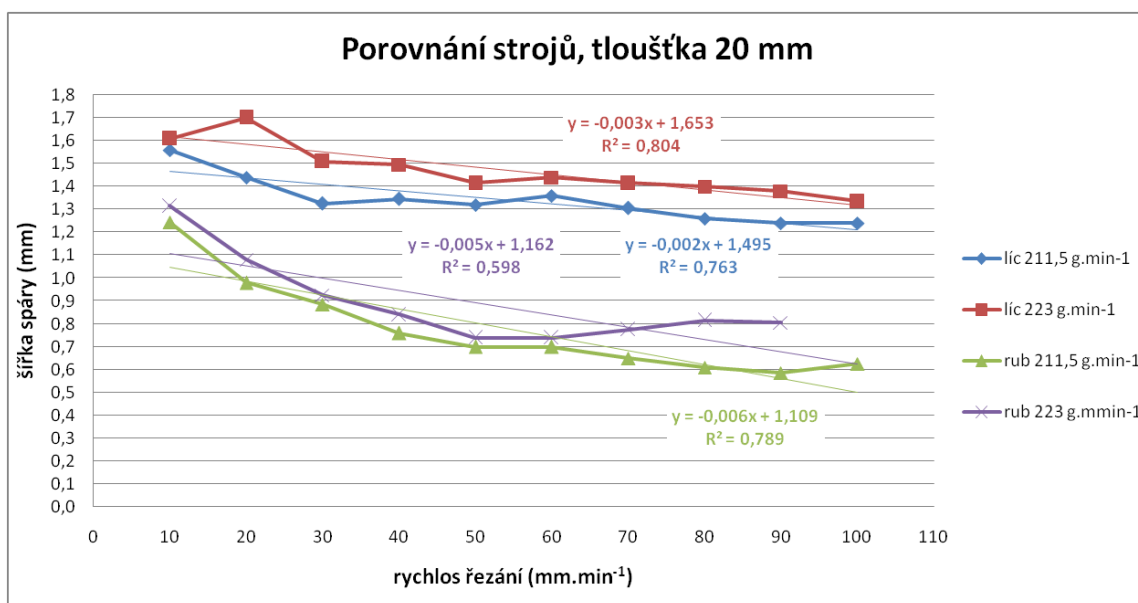
U červené křivky je možné pozorovat, že při řezu s nejrychlejším posuvem řezné hlavy 100 mm.min⁻¹ nedošlo k proříznutí materiálu. Dále je možné pozorovat, že při řezu s rychlostí 60 mm.min⁻¹ se hodnoty křivek kopírují a jsou cca o 0,1 mm větší. Šířka spáry je 0,81 mm, kdy byla použita řezná rychlost 90 mm.min⁻¹ a při řezu s rychlostí posuvu 10 mm.min⁻¹ je naměřena šířka 1,32 mm.



Obrázek 37. Rubová strana materiálu pro tloušťku 20 mm

9.12 Celkové srovnání obou strojů tloušťky 20 mm

V Obr. 38 je porovnání obou strojů, kdy se ukazuje, že tlak média je účinnější, než množství abraziva. V grafu označená křivka 211,5 g.min⁻¹, kdy se jedná o stroj s tlakem média 413 MPa je viditelná plynulá závislost, že se sníženou rychlostí posuvu je kinetická energie paprsku schopná řezat lépe. Tudiž má i větší potenciál k proříznutí materiálu a tím i k tvorbě větší šířky řezné spáry.



Obrázek 38 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 20 mm

9.13 Důležitý závěr na kvalitu řezu – vliv rychlosti na šířku řezné spáry (mm)

Z porovnání všech tloušťek materiálu od 5 mm až po 20 mm, vyplývá závislost, že při snižující se rychlosti posuvu řezné hlavy se šířka spáry jak na lícové (vstupní) straně, tak i na rubové (výstupní) straně rozšiřuje. Neproříznuté řezy u stroje s nižším tlakem média 380 MPa na všech zkoumaných vzorcích zejména v počátečních dvou řezech jsou způsobeny vysokou řeznou rychlostí. Šířka spáry dle \varnothing abrazivní trysky 0,9 mm je na vstupní straně vždy vyšší a na výstupní straně materiálu se k této hodnotě 0,9 mm dostáváme až v posledních dvou řezech.

10. Vyhodnocování kvality řezu – tvar řezných spár ve stupních (°)

Druhá část experimentu, ve které se budeme zaměřovat na měření velikosti řezné spáry a to přesněji měření úhlu (úkosu) řezné spáry po řezu abrazivním vodním paprskem při použití dvou různých strojů s rozdílnými parametry především tlaku řezného média a množství abraziva.

Při střetu vodního paprsku s obráběným povrchem dochází k poklesu kinetické energie, ale i tak dochází k jeho postupnému prořezávání až k samotnému rozdělení materiálu. Při samotném dělení materiálu má vliv tloušťka řezného materiálu, jeho fyzikálně mechanické vlastnosti, dále pak použité tlak, množství abraziva a rychlost řezání. Všechny tyto aspekty budou mít vliv na tvar a šířku řezné spáry, ve většině případů má řezná spára tvar písmene V.

10.1 Pracovní postup měření úhlů

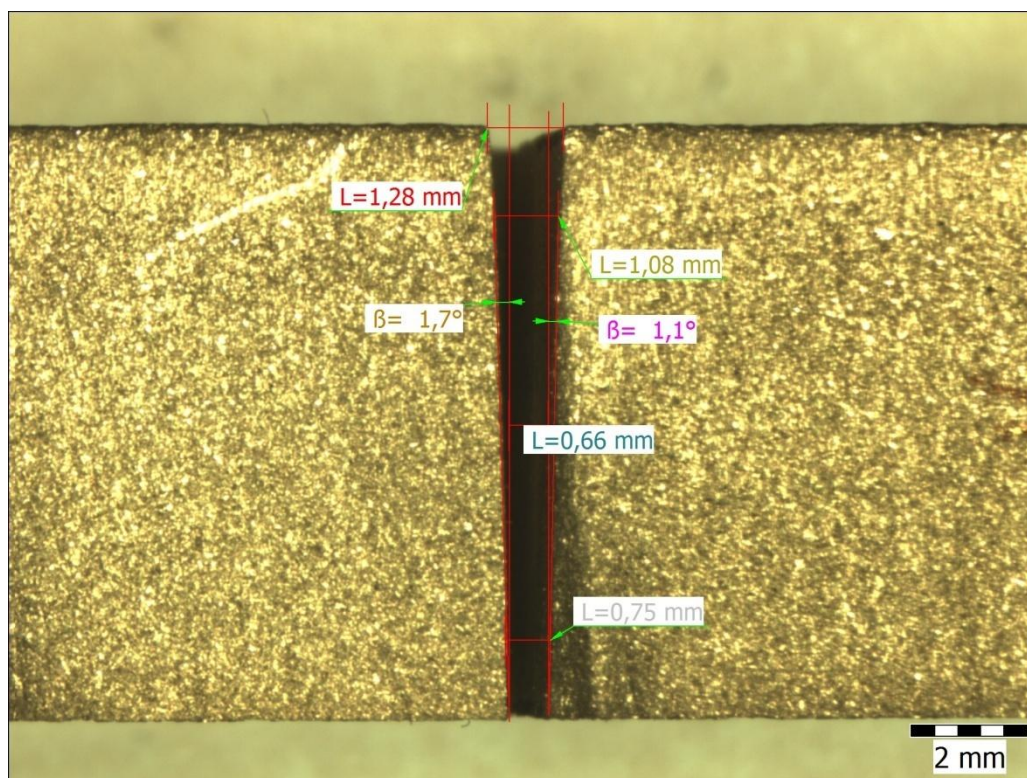
Každý z osmi vzorků byl rozříznut přibližně v 1/3 materiálu kolmo na předešlé řezy (měřené šířky spár), aby se odhalily požadované úkosy, na kterých budeme měřit úhel z každé strany. Jednotlivé kousky vzorku zkoumáme pod stereoskopickým mikroskopem, který je propojen s počítačem na kterém je software Quick Photo Industrial 2.3, který umožňuje po zaostření a nasnímaní snímku měření úhlu spáry jednotlivých řezů, zobrazené na obr 39. Jednotlivé úhly byly zapsány do tabulky, zpracovány a výsledně vyhodnoceny.



Měření velikosti úhlu probíhalo ve zmíněném software, za pomoci programové funkce měření úhlů, dále se měřila šířka mezi úhly, vstupní šířka spáry a výstupní šířka spáry po vodním abrazivním paprsku. Ukázka měření úhlu z programu je zobrazena na obr. 40.

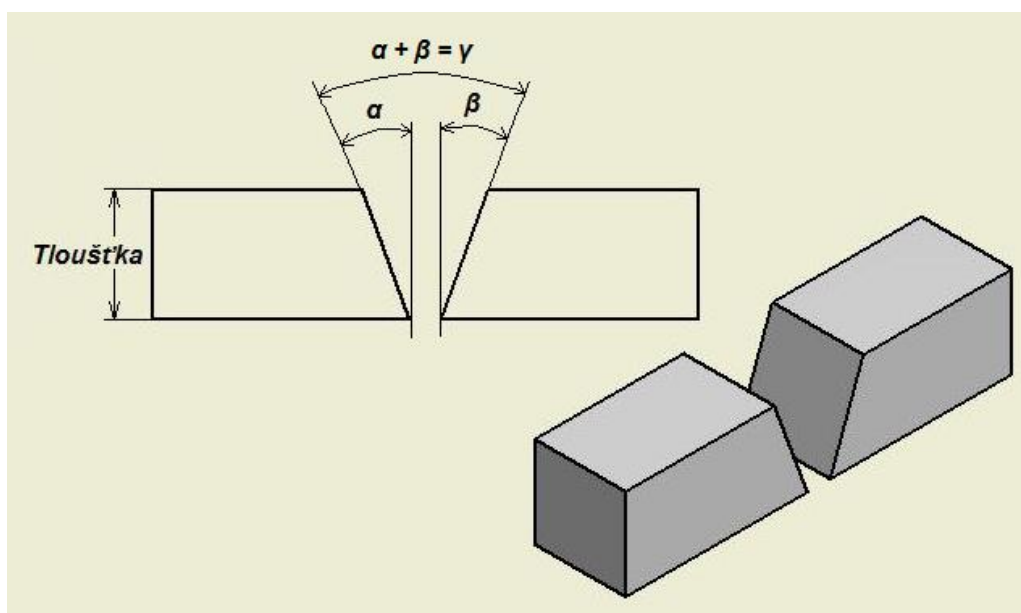
Obrázek 39 Stereoskopický mikroskop s ukázkou vzorku a PC programem pro měření úhlů

Zdroj: vlastní, laboratoře ČZU



Obrázek 40 Měření velikosti úhlu v softwaru Quick Photo Industrial 2.3, vzorek tloušťky 10 mm

Zdroj: vlastní



Obrázek 41 Ukázka měření úhlu, pro vyhodnocení naměřených údajů

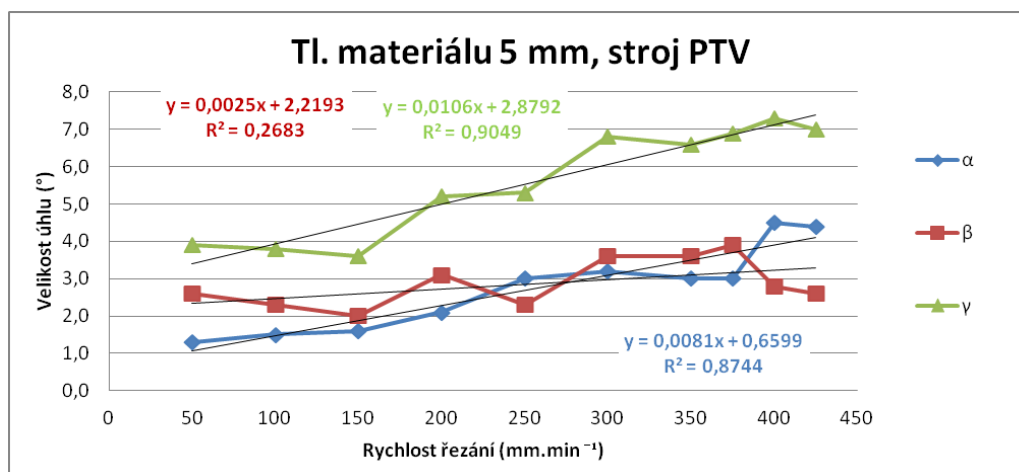
Zdroj: vlastní

10.1.1 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 5 mm

Největší měřený úhel $\alpha = 4,5^\circ$ se nachází při řezné rychlosti $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejmenší úhel $\alpha = 1,3^\circ$, je naměřen při řezné rychlosti $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Největší měřený úhel $\beta = 3,9^\circ$ se vyskytuje při řezné rychlosti $375 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejmenší úhel $\beta = 2,0^\circ$ je naměřen při řezné rychlosti $150 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Z obr. 42 je viditelná přímá závislost mezi řeznou rychlostí a velikostí celkového úhlu γ , kdy tímto úhlem je myšlen součet úhlu $\alpha + \beta$ a jeho hodnota je uváděna ve stupních ($^\circ$). Největší naměřený úhel $\gamma = 7,3^\circ$ byl při řezné rychlosti $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. A nejmenší úhel $\gamma = 3,6^\circ$ je při řezné rychlosti $150 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.



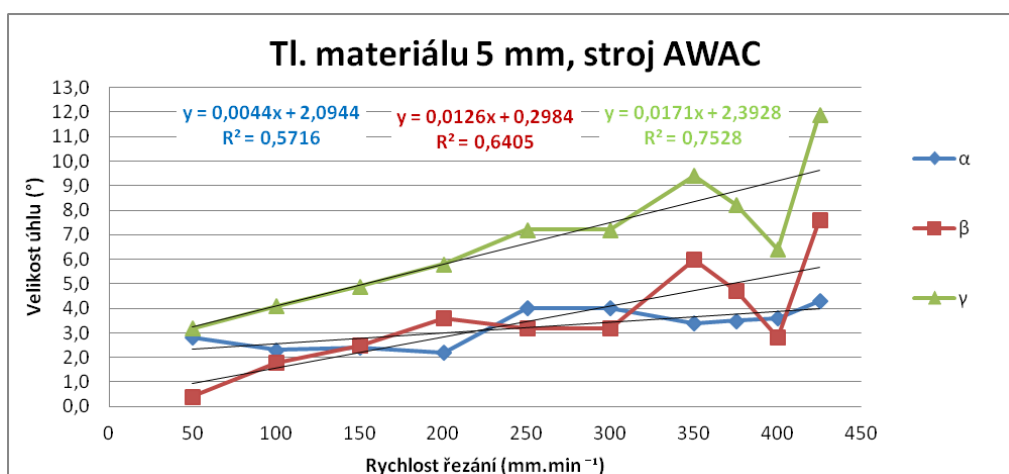
Obrázek 42 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 5 mm

10.1.2 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 5 mm

Největší měřený úhel α se nachází při řezné rychlosti 425 mm.min⁻¹, kdy $\alpha = 4,3^\circ$. Nejmenší naměřený úhel $\alpha = 2,2^\circ$ nastal při řezné rychlosti 200 mm.min⁻¹.

Největší měřený úhel $\beta = 4,3^\circ$ se dosáhne při řezné rychlosti 425 mm.min⁻¹. Nejmenší získaný úhel $\beta = 0,4^\circ$ naměřen při řezné rychlosti 50 mm.min⁻¹.

Na obr. 43 je vidět největší úhel $\gamma = 11,9^\circ$, který nastal při řezné rychlosti 425 mm.min⁻¹. Tento úhel největší ze všech naměřených hodnot, je způsoben vysokou řeznou rychlostí, která materiál tloušťky 5 mm nedokázala proříznout na rubové straně. Vedlejším efektem je odrážení abraziva od neproříznuté hrany což způsobovalo opětovné broušení stěn v řezné spáře. A nejmenší úhel $\gamma = 3,2^\circ$ byl naměřen v posledním řezu při řezné rychlosti 50 mm.min⁻¹.



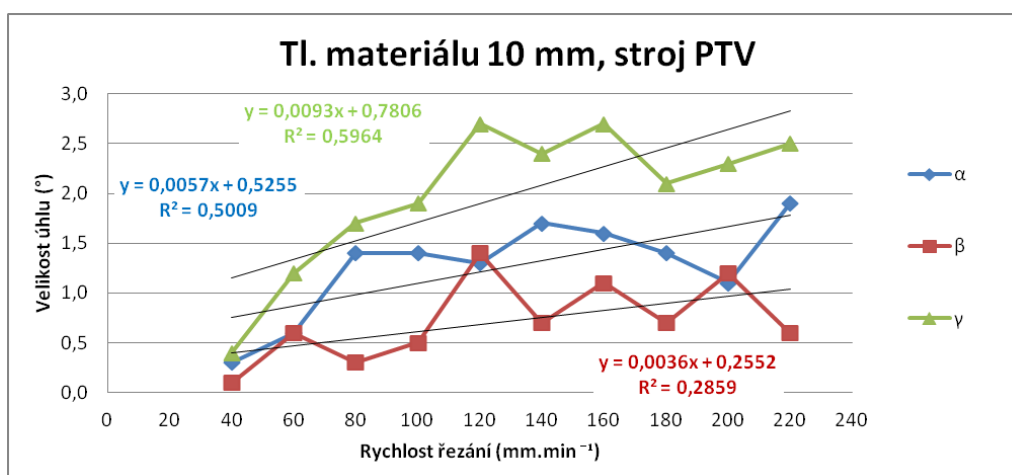
Obrázek 43 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 5 mm

10.1.3 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 10 mm

Největší měřený úhel α se nachází při řezné rychlosti $220 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, kdy $\alpha = 1,9^\circ$. Nejmenší naměřený úhel $\alpha = 0,3^\circ$, je naměřen v posledním řezu, při řezné rychlosti $40 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Největší úhel β je při řezné rychlosti $120 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, kdy $\beta = 1,4^\circ$. Nejmenší úhel $\beta = 0,1^\circ$, získán v posledním řezu, při řezné rychlosti $40 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Na obr. 44 se z naměřených hodnot závislost na menším úhlu γ při snižující se řezné rychlosti prokázala pouze u stroje firmy PTV. Největší naměřené úhly $\gamma = 2,7^\circ$ jsou při řezné rychlosti $160 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ a dále při rychlosti $120 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Nejmenší úhel $\gamma = 0,4^\circ$ je naměřen v posledním řezu při řezné rychlosti $40 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.



Obrázek 44 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 10 mm

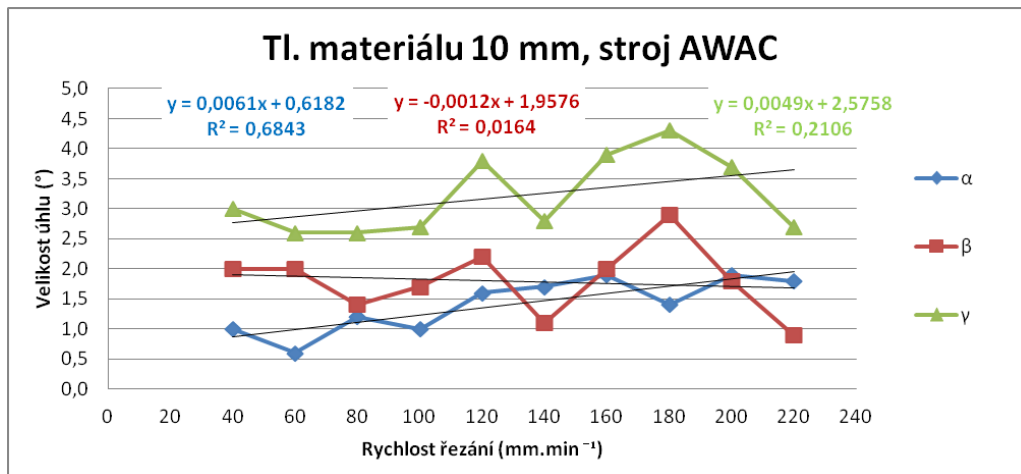
10.1.4 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 10 mm

Největší měřený úhel α je dosahován při dvou řezných rychlostech 200 a $160 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, kdy $\alpha = 1,9^\circ$. Nejmenší naměřený úhel $\alpha = 0,6^\circ$ je v posledním řezu, při řezné rychlosti $60 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Největší naměřený úhel β se nachází při řezné rychlosti $180 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, kdy $\beta = 2,9^\circ$. Nejmenší naměřený úhel $\beta = 2,0^\circ$ je při řezné rychlosti $60 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

V tomto případě se na obr. 45 závislost na menším úhlu γ při snižující se řezné rychlosti neprokázala. Při nižším tlaku dosahovaly úhly γ na počátku řezů jedna až tři velmi odliš-

ných hodnot. Je to zřejmě způsobeno neproříznutím materiálu na výstupní straně z důvodu vysoké řezné rychlosti od 220 až po 180 mm.min⁻¹, kdy úhel γ při řezu s rychlostí 180 mm.min⁻¹ dosahuje nejvyšší hodnoty 4,3 °. Nejmenší úhel γ o velikosti 2,6 ° je naměřen při řezné rychlosti 80 mm.min⁻¹ a dále při rychlosti 60 mm.min⁻¹.

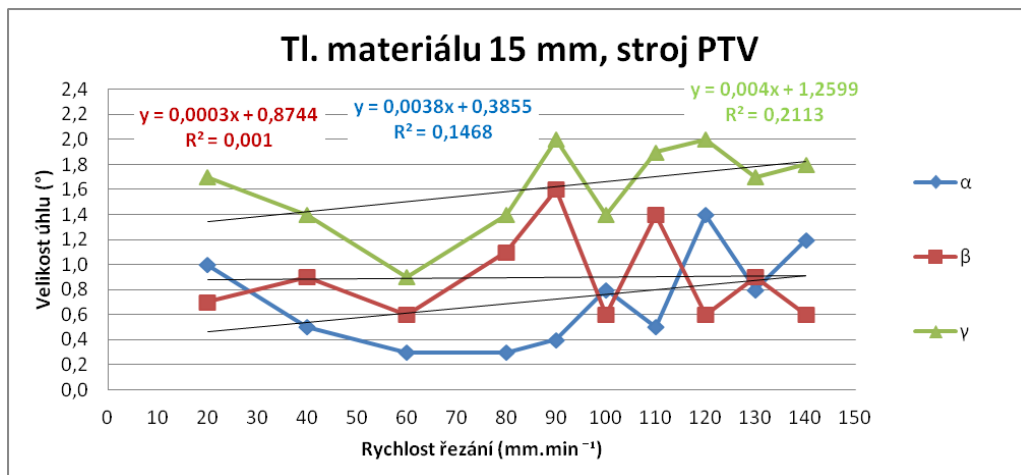


Obrázek 45 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 10 mm

10.1.5 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 15 mm

Největší měřený úhel α se nachází při řezné rychlosti 120 mm.min⁻¹, kdy $\alpha = 1,4$ °. Nejmenší úhel $\alpha = 0,3$ °, je naměřen při řezné rychlosti 60 mm.min⁻¹.

Největší úhel β je dosažen při řezné rychlosti 90 mm.min⁻¹, kdy $\beta = 1,6$ °. Nejmenší naměřený úhel $\beta = 0,6$ °, je při rychlosti řezné hlavy 60 mm.min⁻¹.

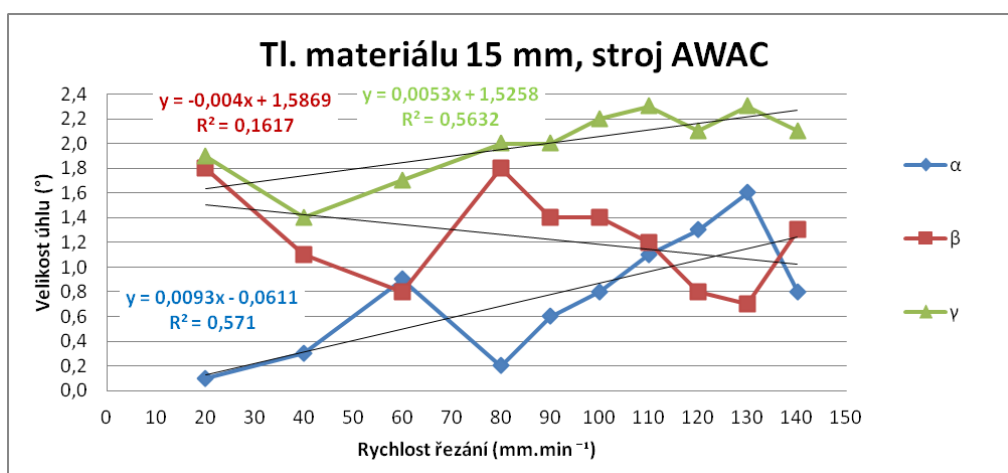


Obrázek 46 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 15 mm

10.1.6 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 15 mm

Největší měřený úhel α se nachází při řezné rychlosti 130 mm.min⁻¹, kdy $\alpha = 1,6^\circ$. Nejmenší úhel $\alpha = 0,1^\circ$, byl při řezné rychlosti 20 mm.min⁻¹.

Největší úhel β je získáván při řezné rychlosti 80 a 20 mm.min⁻¹, kdy $\beta = 1,8^\circ$. Nejmenší naměřený úhel $\beta = 0,7^\circ$ je při řezné rychlosti 130 mm.min⁻¹.



Obrázek 47 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 15 mm

Na obr. 47 a 46 už není prokázána žádná závislost velikosti úhlů γ na měnící se rychlosti řezání. Z výsledné tabulky obou strojů nejsou patrné velké odchylky, co se velikosti úhlu γ týče, až na některé výjimky. Hodnoty u stroje PTV se pohybují od nejrychlejšího až po nejpomalejší řez v rozmezí 1,4 až 2 $^\circ$ v neuspořádaném pořadí. U stroje AWAC to vypadá obdobně, jen jsou zde vyšší hodnoty úhlu od 1,4 až po 2,3 $^\circ$. Je zde zajímavý fakt, že hodnota úhlu nejrychlejšího a nejpomalejšího řezu je takřka totožná a toto tvrzení platí pro oba stroje. Dále je ale z naměřené tabulky patrné, že nižší hodnoty úhlu γ se projevuje u pomalejších rychlostí řezání, viz obr.

PTV dosahuje největšího úhlu $\gamma = 2,0^\circ$, při řezné rychlosti 120 mm.min⁻¹ a 90 mm.min⁻¹. Nejmenší úhel $\gamma = 0,9^\circ$ se projevuje při řezné rychlosti 60 mm.min⁻¹, kdy jsou naměřeny i nejmenší hodnoty úhlu α a β .

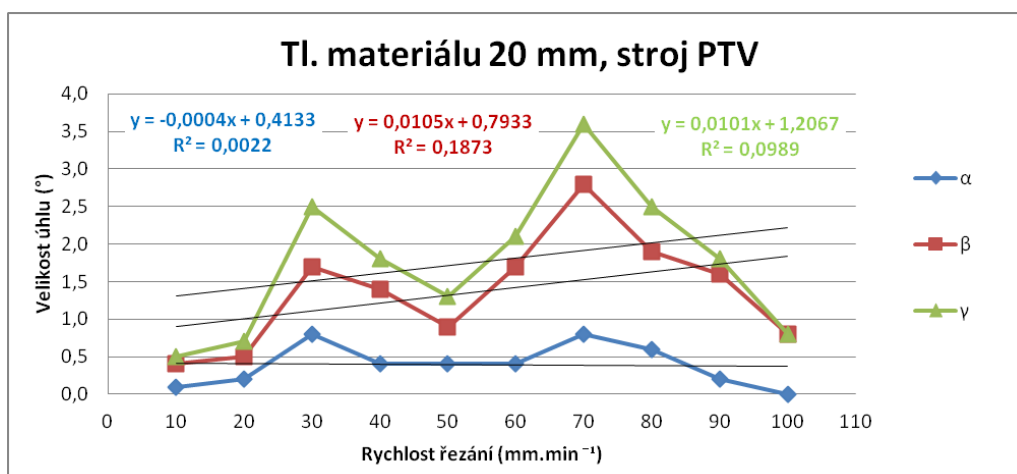
AWAC dosahuje největšího úhlu γ při řezných rychlostech 130 mm.min⁻¹ a 110 mm.min⁻¹, kdy je naměřena velikost 2,3 $^\circ$. Nejmenší úhel $\gamma = 1,4^\circ$ je naměřen při řezné rychlosti 40 mm.min⁻¹.

10.1.7 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 20 mm

Největší měřený úhel α se nachází při řezné rychlosti 70 mm.min⁻¹ a dále pak v řezu s řeznou rychlostí 30 mm.min⁻¹ kdy $\alpha = 0,8^\circ$. Nejmenší úhel α je naměřen při řezné rychlosti 100 mm.min⁻¹ s hodnotou $\alpha = 0,0^\circ$ a pak při řezné rychlosti 10 mm.min⁻¹ s hodnotou $\alpha = 0,1^\circ$.

Největší úhel β je dosažen při řezné rychlosti 70 mm.min⁻¹, kdy $\beta = 2,8^\circ$. Nejmenší naměřený úhel $\beta = 0,4^\circ$ je při řezné rychlosti 10 mm.min⁻¹.

Opět se u obr. 48 začíná projevovat vliv rychlosti řezu na velikost úkosu (úhlu) řezné spáry. Projevuje se přímá závislost měnící se řezné rychlosti na velikosti úhlu γ . U stroje PTV je naměřen největší úhel $\gamma = 3,6^\circ$ při řezné rychlosti 70 mm.min⁻¹. Od tohoto řezu hodnoty úhlu γ postupně klesají až na nejmenší úhel γ s hodnotou $0,5^\circ$, který je naměřen v desátém řezu při řezné rychlosti 10 mm.min⁻¹, kde jsou naměřeny i nejmenší hodnoty úhlů α a β .



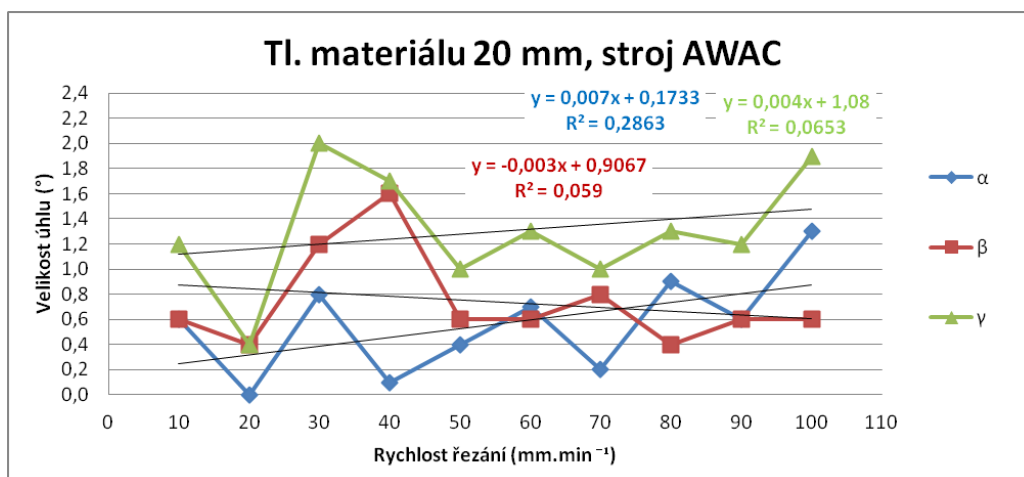
Obrázek 48 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 20 mm

10.1.8 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 20 mm

Největší měřený úhel α se nachází při řezné rychlosti 100 mm.min⁻¹, kdy $\alpha = 1,3^\circ$. Nejmenší úhel $\alpha = 0,0^\circ$ je naměřen při řezné rychlosti 20 mm.min⁻¹.

Největší úhel β je dosahován při řezné rychlosti 40 mm.min⁻¹, kdy $\beta = 1,6^\circ$. Nejmenší naměřený $\beta = 0,4^\circ$ je při řezné rychlosti 20 mm.min⁻¹.

Na tomto obr. 49 se také projevuje přímá závislost úhlu γ na řezné rychlosti jako v předešlých případech. Stroj AWAC dosahuje největšího úhlu $\gamma = 1,9^\circ$ při řezné rychlosti $100 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Postupně s klesající řeznou rychlostí se zmenšuje úhel γ , kde nejmenší hodnoty nabývají $0,4^\circ$, při řezné rychlosti $20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Zde jsou naměřeny i nejmenší hodnoty úhlů α a β .



Obrázek 49 Hodnoty úhlů pro ocel tloušťky 20 mm

10.1.9 Dílčí závěr na kvalitu řezu – tvar řezných spár ve stupních (°)

Tvar řezu tvoří písmeno V ve většině případů, v některých se projevují rovnoběžky, jedná se o tloušťky 10 až 20 mm, kdy se tento úkaz projevuje při posledních dvou řezech, kdy jsou nejmenší řezné rychlosti. Z toho tedy vyplývá, že s postupnou ubývající rychlostí se zmenšoval úhel α a dále pak celkový úhel γ , úhel β vykazoval opačnou závislost, při snižované rychlosti rostl, nebo byl roven hodnotě úhlu nejrychlejšího řezu. Celkově se dá říci, že se snižující se řeznou rychlostí, se celkový úhel γ zmenšoval. Toto zmenšení úhlu γ se více projevuje u stroje s vyšším tlakem média 413 MPa, kde byly naměřeny nejmenší hodnoty.

11. Technicko – ekonomické zhodnocení

Další část této diplomové práce, kdy se budeme zajímat o celkovou ekonomickou náročnost z hlediska pořizovacích nákladů, nákladů na spotřební materiál a dalších nezbytných provozních činností, které s tímto strojem souvisí. Pro zjištění některých finančních položek byla potřeba konzultace ve společnostech PTV a AWAC. Po zjištění všech potřebných finančních prostředků, je aplikujeme na použité experimentální vzorky. Kdy si spočítáme, kolik nás stál jednotlivý vzorek, dále jednotlivý řez a v součtu jejich celková výroba v Kč. Všechny tyto finanční prostředky si musíme přepočítat na hodinovou sazbu stroje a nezapomenout také zahrnout i hodinovou mzdu obsluhy a programátora.

Pro výpočet celkových nákladů značené TC (z angl. Total Costs) existuje vzorec, ve kterém jsou náklady rozdělené na variabilní a fixní a jejich součtem získáme celkové ($TC = VC + FC$). Do variabilních nákladů značené VC (z angl. Variable Costs) řadíme většinou nákup materiálu a další věci, které bezprostředně souvisejí s výrobou, dále i mzdové náklady na zaměstnance. Dalšími náklady jsou náklady fixní značené FC (z angl. Fixed Costs), kdy se jedná například o náklady na pořízení a provoz budov, strojů, informačních technologií apod.

V našem případě do variabilních nákladů budeme řadit části stroje, které se nejčastěji opotřebovávají a vyměňují. Jejich příklad je: vodní filtr (10 μm , 1 μm a 0,5 μm), jednosměrný ventil, vysokotlaké těsnění, nízkotlaké těsnění, hydraulický olej, vysokotlaký a nízkotlaký válec, vodní tryska a abrazivní tryska. Všechny tyto položky se provozem stroje opotřebovávají, mají předem stanovou životnost, proto jejich opotřebení budeme počítat v Kč.hod^{-1} v našem případě se tato položka pohybuje v rozmezí mezi **85 až 90 Kč.hod^{-1}** . Další částí těchto nákladů jsou mzdy zaměstnanců, čistá mzda pro obsluhu stroje činí **350 Kč.hod^{-1}** . Dále se tu objevují náklady na elektřinu, které činí v lokalitě Praha roku 2017 v měsíci únor cenu 4,83 Kč za 1 kWh a náklady na vodu, kdy 1 m^3 neboli 1000 l stojí 85,42 Kč.m^{-3} . V případě prvního stroje společnosti PTV, který má spotřebu elektrické energie 37 kW vyplývá cena **179 Kč.hod^{-1}** a dále má spotřebu vody 3,8 l.min^{-1} , kdy cena je **20 Kč.hod^{-1}** . U druhého stroje společnosti AWAC je elektrická spotřeba 22 kW, z této spotřeby vyplývá cena **107 Kč.hod^{-1}** a spotřebu vody má 2,5 l.min^{-1} , k tomu odpovídá cena **13 Kč.hod^{-1}** . Dalším variabilním nákladem je spotřeba abraziva, kdy jeden kg stojí v rozmezí od 8 do 15 Kč bez DPH, dle hrubosti. Pro naše výpočty jsme stanovili cenu s DPH 12 Kč.kg^{-1} . Cena abraziva pro hmotnostní tok 211,5 g.min^{-1} je stanovena na částku 152 Kč.hod^{-1} a pro hmotnostní tok 223 g.min^{-1} je stanovena částkou 161 Kč.hod^{-1} . V našem případě si vytvoříme tabulky, ve kterých přímo

zjistíme cenu pro jednotlivé řezy o různých tloušťkách a použitých rychlostí řezu, které známe z tab. 4 a následně zjistíme celkovou cenu abraziva pro jednotlivé abrazivní hmotnostní toky.

Ve fixních nákladech je pouze cena stroje, která je stanovena na 5 000 000 Kč, ve které je zahrnuta doprava a montáž na konkrétní místo jedná se o stroj PTV. Jedná se o stroj modelové řady UNI JET vybaven naklápěcí hlavou Progress Jet, výškovým senzorem a mnoha dalšími technickými prvky. Druhý stroj AWAC je levnější, stojí „pouze“ 2 500 000 Kč a opět tato částka souvisí s výbavou a rozměry. Stroje bude odepisován po dobu 12 let, kde tato doba je stanovena ze *Zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů*, kdy stroj vodní paprsek spadá do IV Účetní odpisové skupiny s platností znění: Od 1. 1. 2016, více uvedeno v příloze (*Účetní skupina a doba odpisování stroje*). Odpisové položky jsou převedeny na Kč.hod^{-1} . Pro představu 1 rok má 365 dní a to znamená, že má 8 760 hod. U ceny stroje v pořizovací ceně 5 000 000 Kč sou stanoveny fixní náklady dle vzorce pořizovací cena děleno doba odpisování, na částku **47,56 Kč.hod⁻¹**. Fixní náklad u druhého, levnějšího stroje v hodnotě 2 500 000 Kč je stanoven na částku **23,75 Kč.hod⁻¹**.

Tabulka 5 Cena abraziva pro hmotnostní tok 211,5 g.min⁻¹

tl. materiálu (mm)	cena abraziva v Kč pro jednotlivé rychlosti a toku abraziva 211,5 g.min ⁻¹										suma v Kč	
5	3,05	1,52	1,02	0,76	0,61	0,51	0,44	0,41	0,38	0,36	9,04	
10	3,81	2,54	1,90	1,52	1,27	1,09	0,95	0,85	0,76	0,69	15,38	
15	7,61	3,81	2,54	1,90	1,69	1,52	1,38	1,27	1,17	1,09	23,99	
20	15,23	7,61	5,08	3,81	3,05	2,54	2,18	1,90	1,69	1,52	44,60	
											celková částka v Kč	93,01

Tabulka 6 Cena abraziva pro hmotnostní tok 223 g.min⁻¹

tl. materiálu (mm)	cena abraziva v Kč pro jednotlivé rychlosti a toku abraziva 223 g.min ⁻¹										suma v Kč	
5	3,21	1,61	1,07	0,80	0,64	0,54	0,46	0,43	0,40	0,38	9,53	
10	4,01	2,68	2,01	1,61	1,34	1,15	1,00	0,89	0,80	0,73	16,22	
15	8,03	4,01	2,68	2,01	1,78	1,61	1,46	1,34	1,24	1,15	25,29	
20	16,06	8,03	5,35	4,01	3,21	2,68	2,29	2,01	1,78	1,61	47,03	
											celková částka v Kč	98,07

Tabulka 7 Celkové náklady

		PTV	AWAC
VARIABILNÍ NÁKLADY:	opotřebování dílů (Kč.hod ⁻¹)	90	85
	celkové mzdy (Kč.hod ⁻¹)	350	350
	elektrická energie (Kč.hod ⁻¹)	179	107
	spotřeba vody (Kč.hod ⁻¹)	20	13
	celková spotřeba abraziva (Kč)	93,01	98,07
FIXNÍ NÁKLADY:	odpisy (Kč.hod ⁻¹)	47,56	23,75
CELKOVÉ NÁKLADY:	(Kč.hod ⁻¹)	779,57	676,82

11.1 Dílčí závěr k technicko – ekonomickému zhodnocení

Z celkových nákladů vychází lépe stroj AWAC o částku 102,75 Kč.hod⁻¹. Ale je nutno brát v potaz komponenty a pořizovací cenu stroje PTV, která je oproti stroji AWAC dvojnásobně vyšší. A také to, že stroj PTV má vyšší tlak, tudíž může řezat vyšší rychlostí. Tento fakt by měl přispět k rychlejší výrobě, že tento stroj stihne za jednu hodinu své činnosti více práce z hlediska řezu.

12. Závěr

Diplomová práce je zaměřena na téma řezání vodním paprskem, kdy se jedná o nekonvenční metodu obrábění, jako je např. laser, plasma, atd. V úvodu je stručně popsána historie a první zmínky o vývoji této technologie, kdy byla prvně nasazena pro dělení keramických destiček ve vojenském a kosmickém průmyslu, až do současnosti, kdy se do čisté vody začal přimíchávat granátový písek a vzniklo tak abrazivní řezání. Dále je popsán princip řezání a vysvětlen způsob jakým vzniká vysoký tlak v rozmezí od 2000 - 6480 bar. Tyto vysoké tlaky se rozdělují na paprsky vody typu kontinuální, kdy je po celou dobu řezání stálá hladina tlaku. Do této kategorie dále spadá ultravysokotlaký paprsek, kavitační a kryogenní. A dalším druhem paprsku je diskontinuální neboli pulzující, kdy se opakovaně a po krátkých intervalech vytváří impulsní paprsek vody. Následně jsou popsány části stroje a různých komponentů, které společně vytváří vysokotlaký paprsek vody. A závěrem literární rešerše je výčet využití vodního paprsku v praxi a nakonec jeho výhody a nevýhody v obrábění.

Experimentální část práce je zaměřena na posouzení vlivu řezné rychlosti k tloušťce materiálu a množství abraziva na dvou rozdílných strojích o různém působícím tlaku média 413 a 380 MPa, kdy je zkoumána šířka řezné spáry (mm) a také úhel (°) po řezu abrazivním vodním paprskem. Parametry a vzorky oceli pro experiment byly dodány vedoucím diplomové práce.

Z měření šířky spár bylo zjištěno několik závislostí, které zde jsou uvedeny v bodech:

- U stroje s vyšším tlakem média, je umožněno řezání i při vyšších rychlostech, kdy je materiál proříznut plně na výstupní straně po celé délce řezu, při všech tloušťkách materiálu (5, 10, 15 a 20 mm).
- Druhé zjištění, které prokázal experiment je, že existuje závislost šířky řezné spáry na rychlosti posuvu řezné hlavy. Kdy se snižující se rychlostí posuvu řezné hlavy roste šířka řezné spáry. Ze zkušebních vzorků u obou strojů, bylo prokázáno, že u tloušťky 5 mm, z rozdílu hodnot lícové a rubové stany materiálu, byly dvojnásobně rozdílné šířky spár. Stroj s tlakem média 413 MPa a hmotnostním tokem abraziva $211,5 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ při rychlosti posuvu $50 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ šířku spáry 0,32 mm a druhý stroj s tlakem média 380 MPa a hmotnostním tokem abraziva $223 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ má šířku spáry 0,64 mm. Tento úkaz se projevil i u tloušťky materiálu 15 mm, kde rozdílné hodnoty lícové a rubové strany při řezné rychlosti $20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ dosahovaly hodnot pro tlak 413 MPa šířku 0,36 mm a pro tlak 380 MPa šířku 0,72 mm. Pro tloušťku materiálu 10 mm už není takový výkyv hodnot z rozdílu lícové a rubové strany, ale stroj s vyšším tlakem má šířku spáry 0,40 mm a druhý stroj 0,33

mm hodnoty jsou při řezné rychlosti $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. U tloušťky materiálu 20 mm jsou rozdílné hodnoty lícové a rubové strany téměř totožné od rychlosti řezu $90 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ až po řez s rychlostí $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, kdy v počátečním řezu s rychlostí $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ u stroje s tlakem 380 MPa nebyla změřena, z důvodu neproniknutí paprsku rubovou (výstupní) stranou.

- Z \emptyset abrazivní vodní trysky 0,9 mm, byl stanoven předpoklad, že takové hodnoty bude nabývat i šířka řezné spáry. Tento předpoklad se nepotvrdil, šířka spáry na vstupní straně materiálu je znatelně vyšší a na výstupní straně materiálu znatelně menší, až na posledních pár řezů, kdy řezné rychlosti zpomalují.

Souhrnně k těmto zjištěním se dá říci, že množství abraziva má vliv na šířku řezné spáry. Provozní tlak stroje na rychlost posuvu řezné hlavy, ale je třeba brát v úvahu, že s používáním vyššího tlaku roste také opotřebení celkového stavu stroje, tedy snižuje se celková životnost.

V další části experimentu byla zkoumána hloubka řezu, vliv abrazivního paprsku na boky stěn řezné spáry, měřených ve stupních ($^{\circ}$). Ve většině případů se hloubka řezné spáry projevuje písmenem V. Je prokázána predikce, tentokrát vliv rychlosti řezné hlavy na velikost úhlu řezné spáry. Kdy se z měření zjistilo, že celkový úhel γ (součet úhlu α a β) se snižující se rychlostí posuvu řezné hlavy zmenšuje. Nejmenší úhel γ , byl u vzorku tloušťky 10 mm, kdy úhel činí $0,4^{\circ}$, jedná se o řez s rychlostí $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ u stroje PTV s tlakem média 413 MPa a pak u tloušťky 20 mm kdy hodnota úhlu je $0,5^{\circ}$ při řezné rychlosti $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. U zbylých dvou tloušťek téhož stroje se nejmenší hodnoty γ pohybovaly v předposledních řezech, kdy rychlost zpomalovala s velikostmi $0,9^{\circ}$ pro tloušťku 15 mm a $3,6^{\circ}$ tloušťky 5 mm. Druhý stroj s tlakem 380 MPa měl celkový úhel γ nejmenší v devátém řezu pro vzorky tloušťky 10, 15 a 20 mm s hodnoty 2,6; 1,4 a $0,4^{\circ}$ a v tloušťce 5 mm byl nejmenší úhel v desátém řezu s hodnotou $3,2^{\circ}$. Dalším faktem u celkového úhlu γ je, že s rostoucí tloušťkou materiálu se i celkový úhel γ zmenšoval, toto tvrzení platí pro oba stroje. Celkově se dá ještě říci, že úhel α vykazuje menší hodnoty, než úhel β .

K technicko – ekonomickému hodnocení lze říci, že zájemce který by chtěl vyřezat součást na vodním parsku, bude zajímat, kolik zaplatí za finální součástku. Z celkových nákladů v našem experimentu vyplývá lépe stroj AWAC s částkou 676,82 Kč.hod⁻¹. A však berme v potaz, že druhý stroj je sice dvojnásobně dražší, ale je vybaven lepší technikou, tudíž vyráběné součástky by měly jít rychleji a také může řezat i vyššími řeznými rychlostmi, díky vyššímu tlaku média 413 MPa.

13. Seznam použité literatury

13.1. Vysokoškolská kvalifikační práce

1. Autor neznámí. *Název neznámí*. Ostrava, rok vyhotovení neznámí. Vysoká škola báňská Technická univerzita [cit. 11. 12. 2016]
Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-17.pdf>
2. POKORÁK, Milan. *Optimalizace laserového tavného dělení povlakovaných hliníkových plechů*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
Dostupné z: <http://docplayer.cz/19096947-Vysoke-uceni-technicke-v-brne-optimalizace-laseroveho-tavneho-deleni-povlakovanych-hlinikovych-plechu.html>
3. OPOČENSKÁ, Hana. *Produkce součástí z tabulí plechů nekonvenční metodou vodního paprsku*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Milan KALIVODA.
Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52806
4. Manufacturing Processes - WaterJet Machining [online]. Engineershandbook. [cit. 12. 12. 2016]Dostupné z: <http://www.engineershandbook.com/MfgMethods/waterjet.htm>
5. WJTA [online]. Hydrodemolition On Swiss Railroad Near Gotthard. © 2007. [cit. 12. 12. 2016]. Dostupné z: http://www.wjta.org/images/wjta/JetNews/JetNews_Dec07.pdf
6. VESELÝ, Radek. *Řezání materiálu vodním paprskem*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vladimír HABÁN, Ph.D.
Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6660
7. JÁCHYM, Jan. *Řezání materiálu vodním paprskem*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vladimír HABÁN, Ph.D.
Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13032/Rezani_vodnim_paprskem_E.pdf?sequence=1

8. KOLVA, Alex. *Dělení kovových materiálů vodním paprskem*. Praha, 2015. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Technická fakulta. Vedoucí práce prof. Ing. Milan Brožek, CSc. Dostupné z: http://is.czu.cz/auth/zp/index.pl?podrobnosti_zp=42825;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek_zp=kolva;dohledat=Dohledat;kde=nazev;kde=autor;kde=klic_slova;stav_filtr=bez;typ=1;typ=2;typ=3;typ=101;typ=8;typ=7;fakulta=30;obhajoba=2016;obhajoba=2015;obhajoba=2014;jazyk=1;jazyk=-1
9. KAŠE, Pavel. *Moderní metody dělení materiálu*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Vedoucí práce prof. Ing. Milan Brožek, CSc. Dostupné z: http://is.czu.cz/auth/zp/portal_zp.pl?podrobnosti_zp=2630;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek_zp=Ka%B9e;dohledat=Dohledat;kde=nazev;kde=autor;kde=klic_slova;stav_filtr=bez;typ=1;typ=2;typ=3;typ=101;typ=8;typ=7;fakulta=30;obhajoba=2016;obhajoba=2015;obhajoba=2014;jazyk=1;jazyk=-1

13.2. Knihy a časopisy

10. *Vysokoenergetický kapalinový paprsek - využití v československém průmyslu*. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1989. *Zpracoval: Kolektiv autorů*
Kap. Použití vysokotlakého kapalinového prasku v praxi, str. 5-11
11. *Vodní paprsek 2011- výzkum, vývoj, aplikace: sborník přednášek konference o technologii vodního prasku = Water Jet .. - Research, Development, Applications : proceedings of the conference on water jetting technology*. Ostrava: Ústav geoniky AV ČR, 2011.
12. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie: Advanced methods of material removal*. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4.
13. NOSKIEVIČ, Jaromír. *Kavitace*. 1. vyd. Praha: Academia Praha, 1969. 280s. ISBN 509-21-875
14. JUREČKA, Martin. *Erozivní účinky kavitace*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27956
15. Foldyna, Josef. *Ultrazvuková modulace vysokorychlostních vodních paprsků*. Ostrava-Poruba: Ústav geoniky AV ČR, 1997. 1996. 67+28 str.

16. VALÍČEK, J. et al.: Experimental analysis of irregularities of metallic surfaces generated by abrasive waterjet. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 2007.
17. VALÍČEK, J., HLOCH, S., KOZAK, D.: Surface geometric parameters proposal for the advanced control of abrasive waterjet technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 41, 2009, č. 3 – 4.
18. VOMOČIL, L.: Vodní paprsek nyní dokáže řezat se stálým pracovním tlakem 6000 barů. In: *Technik*, 16, 2008, č. 9.
19. Nekonvenční metody obrábění: Řezání plazmou. *MM Průmyslové Spektrum*. 2008, č. 10.
20. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.

13.3. Internet

21. PTV. [online]. PTV, spol. s.r.o 2014 [cit. 18. 12. 2016]. Dostupné z: www.ptv.cz
22. Strojárstvo / Strojírenství. [online]. [cit.: 18. 12. 2016]. Dostupné z: <http://www.strojarnstvo.sk/docwww/SK/255/255.pdf>
23. AWAC. [online]. AWAC, spol. s.r.o 1990 [cit. 18. 12. 2016]. Dostupné z: <http://www.awac.cz/cz>
24. Design. In *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Strana naposledy edit. 28. 5. 2016. [cit.:11. 12. 2016]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem
25. Granát (minerál) [online], poslední aktualizace 10. 11. 2016 v 10:25. [cit. 18. 12. 2016], Wikipedia. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Gran%C3%A1t_\(miner%C3%A1l\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Gran%C3%A1t_(miner%C3%A1l))
26. Řezání vodním paprskem. [online]. 2016 [cit.: 4. 12. 2016]. Dostupné z: <http://cz.bft-pumps.com/Rezani-vodnim-paprskem/obecny>
27. Bystronic. [online]. Bystronic Czech Republic s.r.o. [cit.: 4. 12. 2016]. Dostupné z: http://www.bystronic.cz/cs/produkty/systemy_rezani_vodnim_paprskem/
28. *Granáty* [online] [cit.: 18. 12. 2016]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_nerud.html#GRANÁTY
29. Řežeme vodou.cz. [online]. TALPA - RPF, s.r.o. [cit.: 6. 2. 2017] Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>

30. WaterJets.org ... the most complete waterjet resource on the web [online]. Dostupné z:
<http://waterjets.org/>
31. T – PROM s.r.o. [online] [cit.: 8. 2. 2017]. Dostupné z:
<http://www.tprom.cz/wiki/ocel/11523>
32. Účetní portál. [online] [cit.: 2. 3. 2017]. Dostupné z: <https://ucetniportal.cz/>
33. Statistické metody v psychologii. [online] [cit.: 12. 3. 2017]. Dostupné z:
http://www.dostal.vyzkum-psychologie.cz/skripta_statistika.pdf

14. Seznam tabulek

Tabulka 1 Drsnost povrchu	27
Tabulka 2 Praktická řada drsností i jednotlivých technologií	27
Tabulka 3 Technologické parametry.....	35
Tabulka 4 Tabulka řezných rychlostí pro různé tloušťky materiálu	35
Tabulka 5 Cena abraziva pro hmotnostní tok $211,5 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$	57
Tabulka 6 Cena abraziva pro hmotnostní tok $223 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$	57
Tabulka 7 Celkové náklady.....	58

15. Seznam obrázků

Obrázek 1 Dr. Norman Charles Franz	2
Obrázek 2 Ukázka jednotlivých druhů pulzních paprsků na rozpojovaný materiál	6
Obrázek 3 Schéma řezání čistou vodou	7
Obrázek 4 Schéma řezání vodním paprskem s abrazivem.....	8
Obrázek 5 Ukázka pracoviště vodního paprsku.....	11
Obrázek 6 Schéma komponenty vodního paprsku.....	12
Obrázek 7 Vysokotlaké čerpadlo firmy PTV.....	13
Obrázek 8 Schéma multiplikátorového čerpadla	13
Obrázek 9 Zařízení na změkčování vody.....	15
Obrázek 10 MESH80 a fokusační tryska	16
Obrázek 11 Dávkovač abraziva	18
Obrázek 12 Dopravní tlakový systém.....	18
Obrázek 13 Odkalovací systém.....	19
Obrázek 14 Kompaktní zařízení pro recyklaci abraziva RAMS 2.....	20
Obrázek 15 CNC stoly	21
Obrázek 16 Ovládací panel	21

Obrázek 17 Schéma řezací hlavy	22
Obrázek 18 Systém naklápěcí hlavy	23
Obrázek 19 Porovnání konvenční a ProgressJet systému	24
Obrázek 20 Povrch řezné stěny	25
Obrázek 21 Topografické zóny	26
Obrázek 22 Použití CCD kamery	26
Obrázek 23 Rozměry zkušební vzorku	34
Obrázek 24 Stereoskopický mikroskop - SZP 11-T ZOOM	36
Obrázek 25 Ukázka řezných spár lícové a rubové strany zkoumaného vzorku a vliv řezné rychlosti	37
Obrázek 26 Pracovní postup pro měření řezné spáry	38
Obrázek 27. Lícová strana materiálu, pro tloušťku 5 mm	39
Obrázek 28. Rubová strana materiálu, pro tloušťku 5 mm	40
Obrázek 29 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 5 mm	40
Obrázek 30 Lícová strana materiálu, pro tloušťku 10 mm	41
Obrázek 31 Rubová strana materiálu, pro tloušťku 10 mm	42
Obrázek 32 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 10 mm	42
Obrázek 33. Lícová strana materiálu, pro tloušťku 15 mm	43
Obrázek 34. Rubová strana materiálu, pro tloušťku 15 mm	44
Obrázek 35 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 15 mm	44
Obrázek 36 Lícová strana materiálu, pro tloušťku 20 mm	45
Obrázek 37. Rubová strana materiálu pro tloušťku 20 mm	46
Obrázek 38 Celkového srovnání obou strojů, pro tloušťku 20 mm	46
Obrázek 39 Stereoskopický mikroskop s ukázkou vzorku a PC programem pro měření úhlu	48
Obrázek 40 Měření velikosti úhlu v softwaru Quick Photo Industrial 2.3, vzorek tloušťky 10 mm	48
Obrázek 41 Ukázka měření úhlu, pro vyhodnocení naměřených údajů	49
Obrázek 42 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 5 mm	50
Obrázek 43 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 5 mm	50
Obrázek 44 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 10 mm	51
Obrázek 45 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 10 mm	52
Obrázek 46 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 15 mm	52
Obrázek 47 Hodnoty úhlů stroje AWAC pro ocel tloušťky 15 mm	53
Obrázek 48 Hodnoty úhlů stroje PTV pro ocel tloušťky 20 mm	54
Obrázek 49 Hodnoty úhlů pro ocel tloušťky 20 m	55

16. Přílohy k diplomové práci

Účetní skupina a doba odpisování stroje

www.ucetniportal.cz

Příloha č. 4

Přílohy

© Platnost znění: Od 1.1.2015

Příloha č. 4: Účetní odpisové skupiny a příslušná stanovená zbývající doba používání a stanovená doba pro provedení dopočtu opravek k 31. prosinci 2011

Účetní odpisová skupina	Stanovená zbývající doba používání v letech	Stanovená doba pro provedení dopočtu opravek k 31. prosinci 2011
I	3	2
II	5	3
III	7	5
IV	12	8
V	18	12
VI	30	20
VII	48	32

Část D - Účetní odpisová skupina IV

Přílohy

© Platnost znění: Od 1.1.2016

Příloha č. 1: Kategorizace dlouhodobého majetku a zařazení do účetních odpisových skupin vycházejících z Klasifikace produkce "CZ-CPA" a Klasifikace stavebních děl "CZ-CC"

Část D - Účetní odpisová skupina IV

Část D Účetní odpisová skupina IV		
Účetní odpisová skupina	CZ-CPA	
IV	16	Dřevo a dřevěné a korkové výrobky, kromě nábytku; proutěné a slaměné výrobky, vč. souvisejících služeb a prací
IV	16.23.19	Dřevěné výrobky stavebního truhlářství a tesařství j. n.
IV	28.30.85	Stroje a přístroje pro drůbežářství
IV	28.41.11	Obráběcí stroje na zpracování kovů úběrem materiálu pomocí laserů, ultrazvuku, vodního paprsku apod.
IV	28.41.12	Obráběcí centra, jednoplohové a víceplošové stavebnicové obráběcí stroje na obrábění kovů

Tabulky pro výpočet potřebného času stroje pro řez materiálem

tl. materiálu	rychlost řezné hlavy m/m/min										
	50	100	150	200	250	300	350	375	400	425	
5	50	100	150	200	250	300	350	375	400	425	
10	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	
15	20	40	60	80	90	100	110	120	130	140	
20	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
tl. materiálu	čas potřebný k řezu dle rychlosti (min)										suma
5	1,20	0,60	0,40	0,30	0,24	0,20	0,17	0,16	0,15	0,14	3,56
10	1,50	1,00	0,75	0,60	0,50	0,43	0,38	0,33	0,30	0,27	6,06
15	3,00	1,50	1,00	0,75	0,67	0,60	0,55	0,50	0,46	0,43	9,45
20	6,00	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,86	0,75	0,67	0,60	17,57
celkově potřebný čas (min)										36,65	

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 5 mm, tlak média 413 MPa

PTV - lic, tl. materiálu 5 mm

řez č.1						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,24	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,25	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,24	mm	Střední hodnota	1,24 mm
Úsečka	Délka	4	1,21	mm	Sm. odchylka	0,03 mm
Úsečka	Délka	5	1,20	mm		
Úsečka	Délka	6	1,26	mm		
Úsečka	Délka	7	1,26	mm		
Úsečka	Délka	8	1,19	mm		
Úsečka	Délka	9	1,26	mm		
Úsečka	Délka	10	1,23	mm		

řez č.2						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,26	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,28	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,25	mm	Střední hodnota	1,26 mm
Úsečka	Délka	4	1,28	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,28	mm		
Úsečka	Délka	6	1,24	mm		
Úsečka	Délka	7	1,22	mm		
Úsečka	Délka	8	1,26	mm		
Úsečka	Délka	9	1,26	mm		
Úsečka	Délka	10	1,23	mm		

řez č.3						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,15	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,17	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,20	mm	Střední hodnota	1,20 mm
Úsečka	Délka	4	1,20	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,20	mm		
Úsečka	Délka	6	1,20	mm		
Úsečka	Délka	7	1,21	mm		
Úsečka	Délka	8	1,17	mm		
Úsečka	Délka	9	1,17	mm		
Úsečka	Délka	10	1,20	mm		

řez č.4						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,24	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,23	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,23	mm	Střední hodnota	1,22 mm
Úsečka	Délka	4	1,22	mm	Sm. odchylka	0,03 mm
Úsečka	Délka	5	1,25	mm		
Úsečka	Délka	6	1,19	mm		
Úsečka	Délka	7	1,20	mm		
Úsečka	Délka	8	1,17	mm		
Úsečka	Délka	9	1,22	mm		
Úsečka	Délka	10	1,15	mm		

řez č.5						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,17	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,20	mm	Počet měření	10,00
Úsečka	Délka	3	1,21	mm	Střední hodnota	1,17 mm
Úsečka	Délka	4	1,19	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,20	mm		
Úsečka	Délka	6	1,17	mm		
Úsečka	Délka	7	1,15	mm		
Úsečka	Délka	8	1,15	mm		
Úsečka	Délka	9	1,17	mm		
Úsečka	Délka	10	1,15	mm		

řez č.6						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,19	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,20	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,19	mm	Střední hodnota	1,19 mm
Úsečka	Délka	4	1,19	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,19	mm		
Úsečka	Délka	6	1,15	mm		
Úsečka	Délka	7	1,17	mm		
Úsečka	Délka	8	1,21	mm		
Úsečka	Délka	9	1,17	mm		
Úsečka	Délka	10	1,20	mm		

řez č.7						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,19	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,22	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,20	mm	Střední hodnota	1,21 mm
Úsečka	Délka	4	1,21	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	1,23	mm		
Úsečka	Délka	6	1,21	mm		
Úsečka	Délka	7	1,21	mm		
Úsečka	Délka	8	1,19	mm		
Úsečka	Délka	9	1,21	mm		
Úsečka	Délka	10	1,22	mm		

řez č.8						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,20	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,19	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,21	mm	Střední hodnota	1,20 mm
Úsečka	Délka	4	1,20	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	1,22	mm		
Úsečka	Délka	6	1,18	mm		
Úsečka	Délka	7	1,20	mm		
Úsečka	Délka	8	1,19	mm		
Úsečka	Délka	9	1,17	mm		
Úsečka	Délka	10	1,19	mm		

řez č.9						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,24	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,22	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,20	mm	Střední hodnota	1,22 mm
Úsečka	Délka	4	1,20	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,22	mm		
Úsečka	Délka	6	1,19	mm		
Úsečka	Délka	7	1,22	mm		
Úsečka	Délka	8	1,18	mm		
Úsečka	Délka	9	1,21	mm		
Úsečka	Délka	10	1,22	mm		

řez č.10						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,31	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,32	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,28	mm	Střední hodnota	1,29 mm
Úsečka	Délka	4	1,31	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,31	mm		
Úsečka	Délka	6	1,28	mm		
Úsečka	Délka	7	1,28	mm		
Úsečka	Délka	8	1,30	mm		
Úsečka	Délka	9	1,28	mm		
Úsečka	Délka	10	1,28	mm		

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 5 mm, tlak média 413 MPa

PTV - rub, tl. materiálu 5 mm															
řez č.1								řez č.6							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,53	mm	Veličina	Délka		Úsečka	Délka	1	0,63	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,56	mm	Počet měření	10		Úsečka	Délka	2	0,64	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,56	mm	Střední hodnota	0,55	mm	Úsečka	Délka	3	0,66	mm	Střední hodnota	0,64	mm
Úsečka	Délka	4	0,57	mm	Sm. odchylka	0,03	mm	Úsečka	Délka	4	0,61	mm	Sm. odchylka	0,01	mm
Úsečka	Délka	5	0,56	mm				Úsečka	Délka	5	0,65	mm			
Úsečka	Délka	6	0,52	mm				Úsečka	Délka	6	0,62	mm			
Úsečka	Délka	7	0,54	mm				Úsečka	Délka	7	0,65	mm			
Úsečka	Délka	8	0,50	mm				Úsečka	Délka	8	0,64	mm			
Úsečka	Délka	9	0,50	mm				Úsečka	Délka	9	0,64	mm			
Úsečka	Délka	10	0,56	mm				Úsečka	Délka	10	0,64	mm			
řez č.2								řez č.7							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,54	mm	Veličina	Délka		Úsečka	Délka	1	0,67	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,52	mm	Počet měření	10		Úsečka	Délka	2	0,69	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,53	mm	Střední hodnota	0,54	mm	Úsečka	Délka	3	0,69	mm	Střední hodnota	0,69	mm
Úsečka	Délka	4	0,53	mm	Sm. odchylka	0,03	mm	Úsečka	Délka	4	0,69	mm	Sm. odchylka	0,02	mm
Úsečka	Délka	5	0,54	mm				Úsečka	Délka	5	0,69	mm			
Úsečka	Délka	6	0,59	mm				Úsečka	Délka	6	0,64	mm			
Úsečka	Délka	7	0,58	mm				Úsečka	Délka	7	0,69	mm			
Úsečka	Délka	8	0,54	mm				Úsečka	Délka	8	0,67	mm			
Úsečka	Délka	9	0,59	mm				Úsečka	Délka	9	0,69	mm			
Úsečka	Délka	10	0,53	mm				Úsečka	Délka	10	0,68	mm			
řez č.3								řez č.8							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,56	mm	Veličina	Délka		Úsečka	Délka	1	0,77	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,53	mm	Počet měření	10		Úsečka	Délka	2	0,78	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,54	mm	Střední hodnota	0,57	mm	Úsečka	Délka	3	0,79	mm	Střední hodnota	0,78	mm
Úsečka	Délka	4	0,54	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	4	0,78	mm	Sm. odchylka	0,02	mm
Úsečka	Délka	5	0,58	mm				Úsečka	Délka	5	0,75	mm			
Úsečka	Délka	6	0,58	mm				Úsečka	Délka	6	0,79	mm			
Úsečka	Délka	7	0,56	mm				Úsečka	Délka	7	0,75	mm			
Úsečka	Délka	8	0,59	mm				Úsečka	Délka	8	0,79	mm			
Úsečka	Délka	9	0,58	mm				Úsečka	Délka	9	0,75	mm			
Úsečka	Délka	10	0,59	mm				Úsečka	Délka	10	0,77	mm			
řez č.4								řez č.9							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,59	mm	Veličina	Délka		Úsečka	Délka	1	0,82	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,58	mm	Počet měření	10		Úsečka	Délka	2	0,86	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,59	mm	Střední hodnota	0,58	mm	Úsečka	Délka	3	0,80	mm	Střední hodnota	0,83	mm
Úsečka	Délka	4	0,58	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	4	0,85	mm	Sm. odchylka	0,02	mm
Úsečka	Délka	5	0,56	mm				Úsečka	Délka	5	0,80	mm			
Úsečka	Délka	6	0,58	mm				Úsečka	Délka	6	0,81	mm			
Úsečka	Délka	7	0,54	mm				Úsečka	Délka	7	0,85	mm			
Úsečka	Délka	8	0,57	mm				Úsečka	Délka	8	0,84	mm			
Úsečka	Délka	9	0,57	mm				Úsečka	Délka	9	0,83	mm			
Úsečka	Délka	10	0,58	mm				Úsečka	Délka	10	0,81	mm			
řez č.5								řez č.10							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,64	mm	Veličina	Délka		Úsečka	Délka	1	0,95	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,64	mm	Počet měření	10		Úsečka	Délka	2	1,01	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,64	mm	Střední hodnota	0,64	mm	Úsečka	Délka	3	1,01	mm	Střední hodnota	0,98	mm
Úsečka	Délka	4	0,64	mm	Sm. odchylka	0,01	mm	Úsečka	Délka	4	1,00	mm	Sm. odchylka	0,03	mm
Úsečka	Délka	5	0,61	mm				Úsečka	Délka	5	0,97	mm			
Úsečka	Délka	6	0,63	mm				Úsečka	Délka	6	0,92	mm			
Úsečka	Délka	7	0,64	mm				Úsečka	Délka	7	0,98	mm			
Úsečka	Délka	8	0,64	mm				Úsečka	Délka	8	0,98	mm			
Úsečka	Délka	9	0,61	mm				Úsečka	Délka	9	0,97	mm			
Úsečka	Délka	10	0,63	mm				Úsečka	Délka	10	0,97	mm			

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 10 mm, tlak média 413 MPa

PTV - lic, tl. materiálu 10 mm									
řez č. 1					řez č. 6				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	1,21	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	1,22	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	1,22	mm	Střední hodnota	1,22	mm		
Úsečka	Délka	4	1,24	mm	Sm. odchylka	0,04	mm		
Úsečka	Délka	5	1,22	mm					
Úsečka	Délka	6	1,21	mm					
Úsečka	Délka	7	1,24	mm					
Úsečka	Délka	8	1,17	mm					
Úsečka	Délka	9	1,17	mm					
Úsečka	Délka	10	1,13	mm					
řez č. 2					řez č. 7				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	1,21	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	1,23	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	1,20	mm	Střední hodnota	1,20	mm		
Úsečka	Délka	4	1,22	mm	Sm. odchylka	0,03	mm		
Úsečka	Délka	5	1,23	mm					
Úsečka	Délka	6	1,18	mm					
Úsečka	Délka	7	1,19	mm					
Úsečka	Délka	8	1,18	mm					
Úsečka	Délka	9	1,15	mm					
Úsečka	Délka	10	1,17	mm					
řez č. 3					řez č. 8				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	1,23	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	1,19	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	1,24	mm	Střední hodnota	1,24	mm		
Úsečka	Délka	4	1,23	mm	Sm. odchylka	0,03	mm		
Úsečka	Délka	5	1,23	mm					
Úsečka	Délka	6	1,28	mm					
Úsečka	Délka	7	1,24	mm					
Úsečka	Délka	8	1,28	mm					
Úsečka	Délka	9	1,24	mm					
Úsečka	Délka	10	1,23	mm					
řez č. 4					řez č. 9				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	1,23	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	1,19	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	1,21	mm	Střední hodnota	1,23	mm		
Úsečka	Délka	4	1,26	mm	Sm. odchylka	0,03	mm		
Úsečka	Délka	5	1,27	mm					
Úsečka	Délka	6	1,19	mm					
Úsečka	Délka	7	1,24	mm					
Úsečka	Délka	8	1,25	mm					
Úsečka	Délka	9	1,22	mm					
Úsečka	Délka	10	1,23	mm					
řez č. 5					řez č. 10				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	1,26	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	1,28	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	1,28	mm	Střední hodnota	1,26	mm		
Úsečka	Délka	4	1,25	mm	Sm. odchylka	0,02	mm		
Úsečka	Délka	5	1,31	mm					
Úsečka	Délka	6	1,25	mm					
Úsečka	Délka	7	1,25	mm					
Úsečka	Délka	8	1,25	mm					
Úsečka	Délka	9	1,26	mm					
Úsečka	Délka	10	1,26	mm					

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 10 mm, tlak média 413 MP

PTV - rub, tl. materiálu 10 mm									
řez č. 1					řez č. 6				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,64	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,63	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,58	mm	Střední hodnota	0,59	mm		
Úsečka	Délka	4	0,53	mm	Sm. odchylka	0,04	mm		
Úsečka	Délka	5	0,52	mm					
Úsečka	Délka	6	0,62	mm					
Úsečka	Délka	7	0,63	mm					
Úsečka	Délka	8	0,58	mm					
Úsečka	Délka	9	0,59	mm					
Úsečka	Délka	10	0,54	mm					
řez č. 2					řez č. 7				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,59	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,53	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,58	mm	Střední hodnota	0,58	mm		
Úsečka	Délka	4	0,58	mm	Sm. odchylka	0,02	mm		
Úsečka	Délka	5	0,57	mm					
Úsečka	Délka	6	0,56	mm					
Úsečka	Délka	7	0,53	mm					
Úsečka	Délka	8	0,56	mm					
Úsečka	Délka	9	0,58	mm					
Úsečka	Délka	10	0,58	mm					
řez č. 3					řez č. 8				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,60	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,58	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,57	mm	Střední hodnota	0,59	mm		
Úsečka	Délka	4	0,58	mm	Sm. odchylka	0,02	mm		
Úsečka	Délka	5	0,61	mm					
Úsečka	Délka	6	0,54	mm					
Úsečka	Délka	7	0,56	mm					
Úsečka	Délka	8	0,59	mm					
Úsečka	Délka	9	0,59	mm					
Úsečka	Délka	10	0,59	mm					
řez č. 4					řez č. 9				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,58	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,61	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,61	mm	Střední hodnota	0,63	mm		
Úsečka	Délka	4	0,63	mm	Sm. odchylka	0,03	mm		
Úsečka	Délka	5	0,65	mm					
Úsečka	Délka	6	0,67	mm					
Úsečka	Délka	7	0,63	mm					
Úsečka	Délka	8	0,64	mm					
Úsečka	Délka	9	0,62	mm					
Úsečka	Délka	10	0,66	mm					
řez č. 5					řez č. 10				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,63	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,64	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,63	mm	Střední hodnota	0,65	mm		
Úsečka	Délka	4	0,65	mm	Sm. odchylka	0,01	mm		
Úsečka	Délka	5	0,66	mm					
Úsečka	Délka	6	0,63	mm					
Úsečka	Délka	7	0,64	mm					
Úsečka	Délka	8	0,66	mm					
Úsečka	Délka	9	0,65	mm					
Úsečka	Délka	10	0,67	mm					
řez č. 6					řez č. 11				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,69	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,70	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,69	mm	Střední hodnota	0,69	mm		
Úsečka	Délka	4	0,72	mm	Sm. odchylka	0,02	mm		
Úsečka	Délka	5	0,71	mm					
Úsečka	Délka	6	0,65	mm					
Úsečka	Délka	7	0,69	mm					
Úsečka	Délka	8	0,69	mm					
Úsečka	Délka	9	0,70	mm					
Úsečka	Délka	10	0,68	mm					

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 15 mm, tlak média 413 MPa

PTV - lic, tl. materiálu 15 mm																				
řez č.1							řez č.6													
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky								
Úsečka	Délka	1	1,28	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,19	mm	Veličina	Délka							
Úsečka	Délka	2	1,31	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,19	mm	Počet měření	10							
Úsečka	Délka	3	1,27	mm	Střední hodnota	1,31 mm	Úsečka	Délka	3	1,23	mm	Střední hodnota	1,23 mm							
Úsečka	Délka	4	1,31	mm	Sm. odchylka	0,02 mm	Úsečka	Délka	4	1,13	mm	Sm. odchylka	0,04 mm							
Úsečka	Délka	5	1,33	mm			Úsečka	Délka	5	1,24	mm									
Úsečka	Délka	6	1,30	mm			Úsečka	Délka	6	1,23	mm									
Úsečka	Délka	7	1,32	mm			Úsečka	Délka	7	1,22	mm									
Úsečka	Délka	8	1,31	mm			Úsečka	Délka	8	1,25	mm									
Úsečka	Délka	9	1,33	mm			Úsečka	Délka	9	1,24	mm									
Úsečka	Délka	10	1,35	mm			Úsečka	Délka	10	1,20	mm									
řez č.2							řez č.7													
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky								
Úsečka	Délka	1	1,28	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,26	mm	Veličina	Délka							
Úsečka	Délka	2	1,28	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,25	mm	Počet měření	10							
Úsečka	Délka	3	1,25	mm	Střední hodnota	1,25 mm	Úsečka	Délka	3	1,24	mm	Střední hodnota	1,25 mm							
Úsečka	Délka	4	1,24	mm	Sm. odchylka	0,02 mm	Úsečka	Délka	4	1,21	mm	Sm. odchylka	0,02 mm							
Úsečka	Délka	5	1,23	mm			Úsečka	Délka	5	1,21	mm									
Úsečka	Délka	6	1,25	mm			Úsečka	Délka	6	1,23	mm									
Úsečka	Délka	7	1,25	mm			Úsečka	Délka	7	1,27	mm									
Úsečka	Délka	8	1,24	mm			Úsečka	Délka	8	1,26	mm									
Úsečka	Délka	9	1,25	mm			Úsečka	Délka	9	1,25	mm									
Úsečka	Délka	10	1,26	mm			Úsečka	Délka	10	1,21	mm									
řez č.3							řez č.8													
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky								
Úsečka	Délka	1	1,28	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,26	mm	Veličina	Délka							
Úsečka	Délka	2	1,33	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,25	mm	Počet měření	10							
Úsečka	Délka	3	1,33	mm	Střední hodnota	1,31 mm	Úsečka	Délka	3	1,23	mm	Střední hodnota	1,23 mm							
Úsečka	Délka	4	1,28	mm	Sm. odchylka	0,02 mm	Úsečka	Délka	4	1,22	mm	Sm. odchylka	0,02 mm							
Úsečka	Délka	5	1,32	mm			Úsečka	Délka	5	1,26	mm									
Úsečka	Délka	6	1,30	mm			Úsečka	Délka	6	1,23	mm									
Úsečka	Délka	7	1,31	mm			Úsečka	Délka	7	1,22	mm									
Úsečka	Délka	8	1,31	mm			Úsečka	Délka	8	1,22	mm									
Úsečka	Délka	9	1,30	mm			Úsečka	Délka	9	1,22	mm									
Úsečka	Délka	10	1,30	mm			Úsečka	Délka	10	1,26	mm									
řez č.4							řez č.9													
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky								
Úsečka	Délka	1	1,41	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,35	mm	Veličina	Délka							
Úsečka	Délka	2	1,39	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,35	mm	Počet měření	10							
Úsečka	Délka	3	1,41	mm	Střední hodnota	1,41 mm	Úsečka	Délka	3	1,35	mm	Střední hodnota	1,35 mm							
Úsečka	Délka	4	1,43	mm	Sm. odchylka	0,01 mm	Úsečka	Délka	4	1,35	mm	Sm. odchylka	0,01 mm							
Úsečka	Délka	5	1,42	mm			Úsečka	Délka	5	1,36	mm									
Úsečka	Délka	6	1,41	mm			Úsečka	Délka	6	1,33	mm									
Úsečka	Délka	7	1,42	mm			Úsečka	Délka	7	1,35	mm									
Úsečka	Délka	8	1,39	mm			Úsečka	Délka	8	1,36	mm									
Úsečka	Délka	9	1,41	mm			Úsečka	Délka	9	1,36	mm									
Úsečka	Délka	10	1,41	mm			Úsečka	Délka	10	1,36	mm									
řez č.5							řez č.10													
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky								
Úsečka	Délka	1	1,31	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,44	mm	Veličina	Délka							
Úsečka	Délka	2	1,33	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,45	mm	Počet měření	10							
Úsečka	Délka	3	1,27	mm	Střední hodnota	1,27 mm	Úsečka	Délka	3	1,42	mm	Střední hodnota	1,43 mm							
Úsečka	Délka	4	1,28	mm	Sm. odchylka	0,02 mm	Úsečka	Délka	4	1,47	mm	Sm. odchylka	0,02 mm							
Úsečka	Délka	5	1,28	mm			Úsečka	Délka	5	1,44	mm									
Úsečka	Délka	6	1,25	mm			Úsečka	Délka	6	1,42	mm									
Úsečka	Délka	7	1,26	mm			Úsečka	Délka	7	1,41	mm									
Úsečka	Délka	8	1,27	mm			Úsečka	Délka	8	1,41	mm									
Úsečka	Délka	9	1,26	mm			Úsečka	Délka	9	1,44	mm									
Úsečka	Délka	10	1,26	mm			Úsečka	Délka	10	1,42	mm									

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 15 mm, tlak média 413 MPa

PTV - rub, tl. materiálu 15 mm						
řez č.1						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,62	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,43	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,68	mm	Střední hodnota	0,64
Úsečka	Délka	4	0,71	mm	Sm. odchylka	0,10
Úsečka	Délka	5	0,66	mm		
Úsečka	Délka	6	0,47	mm		
Úsečka	Délka	7	0,56	mm		
Úsečka	Délka	8	0,56	mm		
Úsečka	Délka	9	0,69	mm		
Úsečka	Délka	10	0,69	mm		
řez č.6						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,67	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,66	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,69	mm	Střední hodnota	0,67
Úsečka	Délka	4	0,61	mm	Sm. odchylka	0,04
Úsečka	Délka	5	0,65	mm		
Úsečka	Délka	6	0,68	mm		
Úsečka	Délka	7	0,61	mm		
Úsečka	Délka	8	0,70	mm		
Úsečka	Délka	9	0,69	mm		
Úsečka	Délka	10	0,61	mm		
řez č.2						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,79	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,71	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,70	mm	Střední hodnota	0,73
Úsečka	Délka	4	0,62	mm	Sm. odchylka	0,08
Úsečka	Délka	5	0,76	mm		
Úsečka	Délka	6	0,71	mm		
Úsečka	Délka	7	0,77	mm		
Úsečka	Délka	8	0,53	mm		
Úsečka	Délka	9	0,74	mm		
Úsečka	Délka	10	0,81	mm		
řez č.7						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,63	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,63	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,60	mm	Střední hodnota	0,64
Úsečka	Délka	4	0,61	mm	Sm. odchylka	0,02
Úsečka	Délka	5	0,64	mm		
Úsečka	Délka	6	0,64	mm		
Úsečka	Délka	7	0,64	mm		
Úsečka	Délka	8	0,65	mm		
Úsečka	Délka	9	0,66	mm		
Úsečka	Délka	10	0,64	mm		
řez č.3						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,70	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,53	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,66	mm	Střední hodnota	0,63
Úsečka	Délka	4	0,67	mm	Sm. odchylka	0,07
Úsečka	Délka	5	0,63	mm		
Úsečka	Délka	6	0,65	mm		
Úsečka	Délka	7	0,54	mm		
Úsečka	Délka	8	0,63	mm		
Úsečka	Délka	9	0,53	mm		
Úsečka	Délka	10	0,49	mm		
řez č.8						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,71	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,75	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,72	mm	Střední hodnota	0,70
Úsečka	Délka	4	0,71	mm	Sm. odchylka	0,03
Úsečka	Délka	5	0,72	mm		
Úsečka	Délka	6	0,65	mm		
Úsečka	Délka	7	0,69	mm		
Úsečka	Délka	8	0,69	mm		
Úsečka	Délka	9	0,64	mm		
Úsečka	Délka	10	0,67	mm		
řez č.4						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,82	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,82	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,78	mm	Střední hodnota	0,78
Úsečka	Délka	4	0,77	mm	Sm. odchylka	0,17
Úsečka	Délka	5	0,78	mm		
Úsečka	Délka	6	1,10	mm		
Úsečka	Délka	7	0,51	mm		
Úsečka	Délka	8	0,64	mm		
Úsečka	Délka	9	0,56	mm		
Úsečka	Délka	10	0,67	mm		
řez č.5						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,59	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,75	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,76	mm	Střední hodnota	0,64
Úsečka	Délka	4	0,64	mm	Sm. odchylka	0,07
Úsečka	Délka	5	0,66	mm		
Úsečka	Délka	6	0,63	mm		
Úsečka	Délka	7	0,64	mm		
Úsečka	Délka	8	0,63	mm		
Úsečka	Délka	9	0,58	mm		
Úsečka	Délka	10	0,56	mm		
řez č.9						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,85	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,81	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,81	mm	Střední hodnota	0,84
Úsečka	Délka	4	0,83	mm	Sm. odchylka	0,02
Úsečka	Délka	5	0,84	mm		
Úsečka	Délka	6	0,82	mm		
Úsečka	Délka	7	0,85	mm		
Úsečka	Délka	8	0,85	mm		
Úsečka	Délka	9	0,85	mm		
Úsečka	Délka	10	0,83	mm		
řez č.10						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,07	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,09	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,08	mm	Střední hodnota	1,08
Úsečka	Délka	4	1,07	mm	Sm. odchylka	0,01
Úsečka	Délka	5	1,08	mm		
Úsečka	Délka	6	1,08	mm		
Úsečka	Délka	7	1,08	mm		
Úsečka	Délka	8	1,07	mm		
Úsečka	Délka	9	1,07	mm		
Úsečka	Délka	10	1,06	mm		

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 20 mm, tlak média 413 MPa

PTV - lic, tl. materiálu 20 mm

řez č.1

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,24	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,24	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,25	mm	Střední hodnot	1,24 mm
Úsečka	Délka	4	1,21	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	1,25	mm		
Úsečka	Délka	6	1,24	mm		
Úsečka	Délka	7	1,25	mm		
Úsečka	Délka	8	1,24	mm		
Úsečka	Délka	9	1,25	mm		
Úsečka	Délka	10	1,23	mm		

řez č.6

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,32	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,33	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,33	mm	Střední hodnot	1,32 mm
Úsečka	Délka	4	1,29	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,31	mm		
Úsečka	Délka	6	1,33	mm		
Úsečka	Délka	7	1,33	mm		
Úsečka	Délka	8	1,30	mm		
Úsečka	Délka	9	1,32	mm		
Úsečka	Délka	10	1,30	mm		

řez č.2

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,23	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,25	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,26	mm	Střední hodnot	1,24 mm
Úsečka	Délka	4	1,22	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	1,25	mm		
Úsečka	Délka	6	1,24	mm		
Úsečka	Délka	7	1,23	mm		
Úsečka	Délka	8	1,24	mm		
Úsečka	Délka	9	1,24	mm		
Úsečka	Délka	10	1,26	mm		

řez č.7

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,33	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,33	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,35	mm	Střední hodnot	1,35 mm
Úsečka	Délka	4	1,31	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,34	mm		
Úsečka	Délka	6	1,36	mm		
Úsečka	Délka	7	1,36	mm		
Úsečka	Délka	8	1,35	mm		
Úsečka	Délka	9	1,33	mm		
Úsečka	Délka	10	1,36	mm		

řez č.3

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,25	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,25	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,23	mm	Střední hodnot	1,26 mm
Úsečka	Délka	4	1,26	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,28	mm		
Úsečka	Délka	6	1,26	mm		
Úsečka	Délka	7	1,25	mm		
Úsečka	Délka	8	1,27	mm		
Úsečka	Délka	9	1,27	mm		
Úsečka	Délka	10	1,28	mm		

řez č.8

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,32	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,31	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,30	mm	Střední hodnot	1,33 mm
Úsečka	Délka	4	1,34	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,33	mm		
Úsečka	Délka	6	1,33	mm		
Úsečka	Délka	7	1,34	mm		
Úsečka	Délka	8	1,31	mm		
Úsečka	Délka	9	1,30	mm		
Úsečka	Délka	10	1,33	mm		

řez č.4

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,30	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,30	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,33	mm	Střední hodnot	1,31 mm
Úsečka	Délka	4	1,33	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,31	mm		
Úsečka	Délka	6	1,28	mm		
Úsečka	Délka	7	1,33	mm		
Úsečka	Délka	8	1,30	mm		
Úsečka	Délka	9	1,30	mm		
Úsečka	Délka	10	1,33	mm		

řez č.9

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,43	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,45	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,43	mm	Střední hodnot	1,44 mm
Úsečka	Délka	4	1,43	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,44	mm		
Úsečka	Délka	6	1,46	mm		
Úsečka	Délka	7	1,44	mm		
Úsečka	Délka	8	1,46	mm		
Úsečka	Délka	9	1,41	mm		
Úsečka	Délka	10	1,46	mm		

řez č.5

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,36	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,39	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,38	mm	Střední hodnot	1,36 mm
Úsečka	Délka	4	1,37	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	1,37	mm		
Úsečka	Délka	6	1,36	mm		
Úsečka	Délka	7	1,36	mm		
Úsečka	Délka	8	1,36	mm		
Úsečka	Délka	9	1,35	mm		
Úsečka	Délka	10	1,36	mm		

řez č.10

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,54	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,57	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,58	mm	Střední hodnot	1,56 mm
Úsečka	Délka	4	1,55	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,55	mm		
Úsečka	Délka	6	1,57	mm		
Úsečka	Délka	7	1,55	mm		
Úsečka	Délka	8	1,58	mm		
Úsečka	Délka	9	1,55	mm		
Úsečka	Délka	10	1,58	mm		

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 20 mm, tlak média 413 MPa

PTV - rub, tl. materiálu 20 mm									
řez č. 1					řez č. 6				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,56	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,72	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,61	mm	Střední hodnota	0,63	mm		
Úsečka	Délka	4	0,77	mm	Sm. odchylka	0,09	mm		
Úsečka	Délka	5	0,80	mm					
Úsečka	Délka	6	0,64	mm					
Úsečka	Délka	7	0,67	mm					
Úsečka	Délka	8	0,58	mm					
Úsečka	Délka	9	0,54	mm					
Úsečka	Délka	10	0,58	mm					
řez č. 2					řez č. 7				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,67	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,72	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,63	mm	Střední hodnota	0,59	mm		
Úsečka	Délka	4	0,56	mm	Sm. odchylka	0,11	mm		
Úsečka	Délka	5	0,61	mm					
Úsečka	Délka	6	0,47	mm					
Úsečka	Délka	7	0,38	mm					
Úsečka	Délka	8	0,63	mm					
Úsečka	Délka	9	0,51	mm					
Úsečka	Délka	10	0,42	mm					
řez č. 3					řez č. 8				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,58	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,61	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,59	mm	Střední hodnota	0,61	mm		
Úsečka	Délka	4	0,61	mm	Sm. odchylka	0,04	mm		
Úsečka	Délka	5	0,65	mm					
Úsečka	Délka	6	0,64	mm					
Úsečka	Délka	7	0,61	mm					
Úsečka	Délka	8	0,65	mm					
Úsečka	Délka	9	0,55	mm					
Úsečka	Délka	10	0,54	mm					
řez č. 4					řez č. 9				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,61	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,64	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,66	mm	Střední hodnota	0,65	mm		
Úsečka	Délka	4	0,65	mm	Sm. odchylka	0,03	mm		
Úsečka	Délka	5	0,67	mm					
Úsečka	Délka	6	0,61	mm					
Úsečka	Délka	7	0,65	mm					
Úsečka	Délka	8	0,68	mm					
Úsečka	Délka	9	0,62	mm					
Úsečka	Délka	10	0,67	mm					
řez č. 5					řez č. 10				
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky				
Úsečka	Délka	1	0,70	mm	Veličina	Délka			
Úsečka	Délka	2	0,69	mm	Počet měření	10			
Úsečka	Délka	3	0,71	mm	Střední hodnota	0,70	mm		
Úsečka	Délka	4	0,70	mm	Sm. odchylka	0,01	mm		
Úsečka	Délka	5	0,69	mm					
Úsečka	Délka	6	0,68	mm					
Úsečka	Délka	7	0,69	mm					
Úsečka	Délka	8	0,72	mm					
Úsečka	Délka	9	0,71	mm					
Úsečka	Délka	10	0,70	mm					

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 5 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - lic, tl. materiálu 5 mm											
řez č.1					řez č.6						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky
Úsečka	Délka	1	1,35	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,51	mm	Veličina
Úsečka	Délka	2	1,34	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,49	mm	Počet měření
Úsečka	Délka	3	1,36	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,52	mm	Střední hodnota
Úsečka	Délka	4	1,28	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,53	mm	Sm. odchylka
Úsečka	Délka	5	1,23	mm		Úsečka	Délka	5	1,49	mm	
Úsečka	Délka	6	1,35	mm		Úsečka	Délka	6	1,52	mm	
Úsečka	Délka	7	1,29	mm		Úsečka	Délka	7	1,58	mm	
Úsečka	Délka	8	1,38	mm		Úsečka	Délka	8	1,53	mm	
Úsečka	Délka	9	1,38	mm		Úsečka	Délka	9	1,58	mm	
Úsečka	Délka	10	1,30	mm		Úsečka	Délka	10	1,46	mm	
řez č.2					řez č.7						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky
Úsečka	Délka	1	1,27	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,45	mm	Veličina
Úsečka	Délka	2	1,28	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,42	mm	Počet měření
Úsečka	Délka	3	1,31	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,44	mm	Střední hodnota
Úsečka	Délka	4	1,31	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,41	mm	Sm. odchylka
Úsečka	Délka	5	1,27	mm		Úsečka	Délka	5	1,41	mm	
Úsečka	Délka	6	1,24	mm		Úsečka	Délka	6	1,42	mm	
Úsečka	Délka	7	1,26	mm		Úsečka	Délka	7	1,45	mm	
Úsečka	Délka	8	1,34	mm		Úsečka	Délka	8	1,41	mm	
Úsečka	Délka	9	1,36	mm		Úsečka	Délka	9	1,45	mm	
Úsečka	Délka	10	1,25	mm		Úsečka	Délka	10	1,42	mm	
řez č.3					řez č.8						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky
Úsečka	Délka	1	1,31	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,30	mm	Veličina
Úsečka	Délka	2	1,36	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,30	mm	Počet měření
Úsečka	Délka	3	1,33	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,33	mm	Střední hodnota
Úsečka	Délka	4	1,30	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,35	mm	Sm. odchylka
Úsečka	Délka	5	1,31	mm		Úsečka	Délka	5	1,30	mm	
Úsečka	Délka	6	1,37	mm		Úsečka	Délka	6	1,31	mm	
Úsečka	Délka	7	1,34	mm		Úsečka	Délka	7	1,31	mm	
Úsečka	Délka	8	1,33	mm		Úsečka	Délka	8	1,35	mm	
Úsečka	Délka	9	1,38	mm		Úsečka	Délka	9	1,33	mm	
Úsečka	Délka	10	1,38	mm		Úsečka	Délka	10	1,36	mm	
řez č.4					řez č.9						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky
Úsečka	Délka	1	1,36	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,41	mm	Veličina
Úsečka	Délka	2	1,35	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,46	mm	Počet měření
Úsečka	Délka	3	1,42	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,42	mm	Střední hodnota
Úsečka	Délka	4	1,33	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,44	mm	Sm. odchylka
Úsečka	Délka	5	1,42	mm		Úsečka	Délka	5	1,46	mm	
Úsečka	Délka	6	1,35	mm		Úsečka	Délka	6	1,46	mm	
Úsečka	Délka	7	1,36	mm		Úsečka	Délka	7	1,48	mm	
Úsečka	Délka	8	1,34	mm		Úsečka	Délka	8	1,42	mm	
Úsečka	Délka	9	1,34	mm		Úsečka	Délka	9	1,46	mm	
Úsečka	Délka	10	1,34	mm		Úsečka	Délka	10	1,47	mm	
řez č.5					řez č.10						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky
Úsečka	Délka	1	1,46	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,63	mm	Veličina
Úsečka	Délka	2	1,44	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,62	mm	Počet měření
Úsečka	Délka	3	1,40	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,62	mm	Střední hodnota
Úsečka	Délka	4	1,45	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,65	mm	Sm. odchylka
Úsečka	Délka	5	1,41	mm		Úsečka	Délka	5	1,68	mm	
Úsečka	Délka	6	1,44	mm		Úsečka	Délka	6	1,66	mm	
Úsečka	Délka	7	1,42	mm		Úsečka	Délka	7	1,67	mm	
Úsečka	Délka	8	1,40	mm		Úsečka	Délka	8	1,63	mm	
Úsečka	Délka	9	1,47	mm		Úsečka	Délka	9	1,67	mm	
Úsečka	Délka	10	1,46	mm		Úsečka	Délka	10	1,68	mm	

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 5 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - rub, tl. materiálu 5 mm

řez č.3

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,61	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,61	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,37	mm	Střední hodnota	0,52 mm
Úsečka	Délka	4	0,50	mm	Sm. odchylka	0,12 mm
Úsečka	Délka	5	0,74	mm		
Úsečka	Délka	6	0,37	mm		
Úsečka	Délka	7	0,49	mm		
Úsečka	Délka	8	0,61	mm		
Úsečka	Délka	9	0,44	mm		
Úsečka	Délka	10	0,53	mm		

řez č.7

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,70	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,69	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,70	mm	Střední hodnota	0,70 mm
Úsečka	Délka	4	0,69	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	0,70	mm		
Úsečka	Délka	6	0,72	mm		
Úsečka	Délka	7	0,72	mm		
Úsečka	Délka	8	0,69	mm		
Úsečka	Délka	9	0,69	mm		
Úsečka	Délka	10	0,72	mm		

řez č.4

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,68	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,69	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,54	mm	Střední hodnota	0,63 mm
Úsečka	Délka	4	0,37	mm	Sm. odchylka	0,16 mm
Úsečka	Délka	5	0,82	mm		
Úsečka	Délka	6	0,64	mm		
Úsečka	Délka	7	0,61	mm		
Úsečka	Délka	8	0,25	mm		
Úsečka	Délka	9	0,58	mm		
Úsečka	Délka	10	0,64	mm		

řez č.8

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,80	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,80	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,80	mm	Střední hodnota	0,80 mm
Úsečka	Délka	4	0,78	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	0,77	mm		
Úsečka	Délka	6	0,83	mm		
Úsečka	Délka	7	0,81	mm		
Úsečka	Délka	8	0,81	mm		
Úsečka	Délka	9	0,80	mm		
Úsečka	Délka	10	0,80	mm		

řez č.5

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,54	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,65	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,61	mm	Střední hodnota	0,62 mm
Úsečka	Délka	4	0,69	mm	Sm. odchylka	0,06 mm
Úsečka	Délka	5	0,61	mm		
Úsečka	Délka	6	0,59	mm		
Úsečka	Délka	7	0,63	mm		
Úsečka	Délka	8	0,73	mm		
Úsečka	Délka	9	0,53	mm		
Úsečka	Délka	10	0,69	mm		

řez č.9

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,91	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,93	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,93	mm	Střední hodnota	0,92 mm
Úsečka	Délka	4	0,91	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	0,93	mm		
Úsečka	Délka	6	0,88	mm		
Úsečka	Délka	7	0,88	mm		
Úsečka	Délka	8	0,90	mm		
Úsečka	Délka	9	0,92	mm		
Úsečka	Délka	10	0,93	mm		

řez č.6

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	0,62	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	0,63	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	0,64	mm	Střední hodnota	0,63 mm
Úsečka	Délka	4	0,53	mm	Sm. odchylka	0,04 mm
Úsečka	Délka	5	0,61	mm		
Úsečka	Délka	6	0,64	mm		
Úsečka	Délka	7	0,63	mm		
Úsečka	Délka	8	0,64	mm		
Úsečka	Délka	9	0,61	mm		
Úsečka	Délka	10	0,56	mm		

řez č.10

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,01	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,01	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,02	mm	Střední hodnota	1,02 mm
Úsečka	Délka	4	1,01	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	0,99	mm		
Úsečka	Délka	6	1,02	mm		
Úsečka	Délka	7	1,02	mm		
Úsečka	Délka	8	0,99	mm		
Úsečka	Délka	9	1,02	mm		
Úsečka	Délka	10	1,02	mm		

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 10 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - líc, tl. materiálu 10 mm														
řez č. 1							řez č. 6							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	1,28	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,36	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	1,26	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,35	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	1,28	mm	Střední hodnota	1,27	mm	Úsečka	Délka	3	1,38	mm	Střední hodnota	1,36
Úsečka	Délka	4	1,25	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	5	1,36	mm	Sm. odchylka	0,01
Úsečka	Délka	5	1,26	mm			Úsečka	Délka	6	1,37	mm			
Úsečka	Délka	1	1,25	mm			Úsečka	Délka	1	1,36	mm			
Úsečka	Délka	2	1,30	mm			Úsečka	Délka	2	1,39	mm			
Úsečka	Délka	3	1,28	mm			Úsečka	Délka	3	1,35	mm			
Úsečka	Délka	4	1,25	mm			Úsečka	Délka	4	1,35	mm			
Úsečka	Délka	5	1,28	mm			Úsečka	Délka	5	1,36	mm			
řez č. 2							řez č. 7							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	1,27	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,56	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	1,28	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,60	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	1,28	mm	Střední hodnota	1,30	mm	Úsečka	Délka	3	1,58	mm	Střední hodnota	1,58
Úsečka	Délka	4	1,30	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	4	1,56	mm	Sm. odchylka	0,03
Úsečka	Délka	5	1,30	mm			Úsečka	Délka	5	1,58	mm			
Úsečka	Délka	6	1,31	mm			Úsečka	Délka	6	1,56	mm			
Úsečka	Délka	7	1,31	mm			Úsečka	Délka	7	1,62	mm			
Úsečka	Délka	8	1,30	mm			Úsečka	Délka	8	1,62	mm			
Úsečka	Délka	9	1,31	mm			Úsečka	Délka	9	1,63	mm			
Úsečka	Délka	10	1,33	mm			Úsečka	Délka	10	1,56	mm			
řez č. 3							řez č. 8							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	1,33	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,49	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	1,30	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,49	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	1,32	mm	Střední hodnota	1,30	mm	Úsečka	Délka	3	1,49	mm	Střední hodnota	1,49
Úsečka	Délka	4	1,30	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	4	1,46	mm	Sm. odchylka	0,02
Úsečka	Délka	5	1,33	mm			Úsečka	Délka	5	1,46	mm			
Úsečka	Délka	6	1,28	mm			Úsečka	Délka	6	1,46	mm			
Úsečka	Délka	7	1,30	mm			Úsečka	Délka	7	1,49	mm			
Úsečka	Délka	8	1,31	mm			Úsečka	Délka	8	1,49	mm			
Úsečka	Délka	9	1,28	mm			Úsečka	Délka	9	1,50	mm			
Úsečka	Délka	10	1,28	mm			Úsečka	Délka	10	1,46	mm			
řez č. 4							řez č. 9							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	1,39	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,41	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	1,41	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,42	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	1,42	mm	Střední hodnota	1,39	mm	Úsečka	Délka	3	1,41	mm	Střední hodnota	1,42
Úsečka	Délka	4	1,40	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	4	1,44	mm	Sm. odchylka	0,01
Úsečka	Délka	5	1,39	mm			Úsečka	Délka	5	1,41	mm			
Úsečka	Délka	6	1,37	mm			Úsečka	Délka	6	1,44	mm			
Úsečka	Délka	7	1,36	mm			Úsečka	Délka	7	1,42	mm			
Úsečka	Délka	8	1,42	mm			Úsečka	Délka	8	1,42	mm			
Úsečka	Délka	9	1,39	mm			Úsečka	Délka	9	1,41	mm			
Úsečka	Délka	10	1,37	mm			Úsečka	Délka	10	1,41	mm			
řez č. 5							řez č. 10							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	1,52	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,40	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	1,53	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,41	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	1,49	mm	Střední hodnota	1,53	mm	Úsečka	Délka	3	1,41	mm	Střední hodnota	1,41
Úsečka	Délka	4	1,54	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	4	1,39	mm	Sm. odchylka	0,01
Úsečka	Délka	5	1,54	mm			Úsečka	Délka	5	1,38	mm			
Úsečka	Délka	6	1,49	mm			Úsečka	Délka	6	1,39	mm			
Úsečka	Délka	7	1,55	mm			Úsečka	Délka	7	1,42	mm			
Úsečka	Délka	8	1,52	mm			Úsečka	Délka	8	1,41	mm			
Úsečka	Délka	9	1,53	mm			Úsečka	Délka	9	1,40	mm			
Úsečka	Délka	10	1,53	mm			Úsečka	Délka	10	1,42	mm			

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 10 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - rub, tl. materiálu 10 mm															
řez č. 2							řez č. 7								
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			
Úsečka	Délka	1	0,65	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,80	mm	Veličina	Délka		
Úsečka	Délka	2	0,59	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,79	mm	Počet měření	10		
Úsečka	Délka	3	0,47	mm	Střední hodnota	0,62	mm	Úsečka	Délka	3	0,77	mm	Střední hodnota	0,79	mm
Úsečka	Délka	4	0,69	mm	Sm. odchylka	0,11	mm	Úsečka	Délka	4	0,75	mm	Sm. odchylka	0,02	mm
Úsečka	Délka	5	0,53	mm			Úsečka	Délka	5	0,80	mm				
Úsečka	Délka	6	0,54	mm			Úsečka	Délka	6	0,77	mm				
Úsečka	Délka	7	0,85	mm			Úsečka	Délka	7	0,79	mm				
Úsečka	Délka	8	0,58	mm			Úsečka	Délka	8	0,79	mm				
Úsečka	Délka	9	0,71	mm			Úsečka	Délka	9	0,78	mm				
Úsečka	Délka	10	0,74	mm			Úsečka	Délka	10	0,81	mm				
řez č. 3							řez č. 8								
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			
Úsečka	Délka	1	0,83	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,90	mm	Veličina	Délka		
Úsečka	Délka	2	0,82	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,88	mm	Počet měření	10		
Úsečka	Délka	3	0,69	mm	Střední hodnota	0,74	mm	Úsečka	Délka	3	0,88	mm	Střední hodnota	0,88	mm
Úsečka	Délka	4	0,67	mm	Sm. odchylka	0,11	mm	Úsečka	Délka	4	0,88	mm	Sm. odchylka	0,01	mm
Úsečka	Délka	5	0,83	mm			Úsečka	Délka	5	0,88	mm				
Úsečka	Délka	6	0,80	mm			Úsečka	Délka	6	0,86	mm				
Úsečka	Délka	7	0,72	mm			Úsečka	Délka	7	0,88	mm				
Úsečka	Délka	8	0,54	mm			Úsečka	Délka	8	0,88	mm				
Úsečka	Délka	9	0,75	mm			Úsečka	Délka	9	0,88	mm				
Úsečka	Délka	10	0,53	mm			Úsečka	Délka	10	0,90	mm				
řez č. 4							řez č. 9								
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			
Úsečka	Délka	1	0,72	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,97	mm	Veličina	Délka		
Úsečka	Délka	2	0,81	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,99	mm	Počet měření	10		
Úsečka	Délka	3	0,64	mm	Střední hodnota	0,72	mm	Úsečka	Délka	3	0,97	mm	Střední hodnota	0,97	mm
Úsečka	Délka	4	0,72	mm	Sm. odchylka	0,07	mm	Úsečka	Délka	4	0,99	mm	Sm. odchylka	0,01	mm
Úsečka	Délka	5	0,68	mm			Úsečka	Délka	5	0,97	mm				
Úsečka	Délka	6	0,79	mm			Úsečka	Délka	6	0,97	mm				
Úsečka	Délka	7	0,61	mm			Úsečka	Délka	7	0,97	mm				
Úsečka	Délka	8	0,75	mm			Úsečka	Délka	8	0,96	mm				
Úsečka	Délka	9	0,64	mm			Úsečka	Délka	9	1,00	mm				
Úsečka	Délka	10	0,75	mm			Úsečka	Délka	10	0,99	mm				
řez č. 5							řez č. 10								
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky			
Úsečka	Délka	1	0,75	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,06	mm	Veličina	Délka		
Úsečka	Délka	2	0,65	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,07	mm	Počet měření	10		
Úsečka	Délka	3	0,67	mm	Střední hodnota	0,69	mm	Úsečka	Délka	3	1,09	mm	Střední hodnota	1,08	mm
Úsečka	Délka	4	0,72	mm	Sm. odchylka	0,03	mm	Úsečka	Délka	4	1,06	mm	Sm. odchylka	0,01	mm
Úsečka	Délka	5	0,69	mm			Úsečka	Délka	5	1,07	mm				
Úsečka	Délka	6	0,70	mm			Úsečka	Délka	6	1,08	mm				
Úsečka	Délka	7	0,68	mm			Úsečka	Délka	7	1,09	mm				
Úsečka	Délka	8	0,69	mm			Úsečka	Délka	8	1,09	mm				
Úsečka	Délka	9	0,65	mm			Úsečka	Délka	9	1,06	mm				
Úsečka	Délka	10	0,68	mm			Úsečka	Délka	10	1,08	mm				
řez č. 6															
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky										
Úsečka	Délka	1	0,67	mm	Veličina	Délka									
Úsečka	Délka	2	0,69	mm	Počet měření	10									
Úsečka	Délka	3	0,70	mm	Střední hodnota	0,70	mm								
Úsečka	Délka	4	0,71	mm	Sm. odchylka	0,02	mm								
Úsečka	Délka	5	0,71	mm											
Úsečka	Délka	6	0,70	mm											
Úsečka	Délka	7	0,69	mm											
Úsečka	Délka	8	0,67	mm											
Úsečka	Délka	9	0,66	mm											
Úsečka	Délka	10	0,72	mm											

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 15 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - líc, tl. materiálu 15 mm													
řez č. 1							řez č. 6						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,42	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,46	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,41	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,46	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,41	mm	Střední hodnota	1,42 mm	Úsečka	Délka	3	1,44	mm	Střední hodnota	1,46 mm
Úsečka	Délka	4	1,39	mm	Sm. odchylka	0,02 mm	Úsečka	Délka	4	1,46	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	1,44	mm			Úsečka	Délka	5	1,47	mm		
Úsečka	Délka	6	1,45	mm			Úsečka	Délka	6	1,47	mm		
Úsečka	Délka	7	1,44	mm			Úsečka	Délka	7	1,46	mm		
Úsečka	Délka	8	1,40	mm			Úsečka	Délka	8	1,47	mm		
Úsečka	Délka	9	1,42	mm			Úsečka	Délka	9	1,46	mm		
Úsečka	Délka	10	1,41	mm			Úsečka	Délka	10	1,47	mm		
řez č. 2							řez č. 7						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,34	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,46	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,35	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,49	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,35	mm	Střední hodnota	1,35 mm	Úsečka	Délka	3	1,51	mm	Střední hodnota	1,49 mm
Úsečka	Délka	4	1,36	mm	Sm. odchylka	0,01 mm	Úsečka	Délka	4	1,49	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,33	mm			Úsečka	Délka	5	1,49	mm		
Úsečka	Délka	6	1,35	mm			Úsečka	Délka	6	1,47	mm		
Úsečka	Délka	7	1,35	mm			Úsečka	Délka	7	1,46	mm		
Úsečka	Délka	8	1,34	mm			Úsečka	Délka	8	1,50	mm		
Úsečka	Délka	9	1,33	mm			Úsečka	Délka	9	1,51	mm		
Úsečka	Délka	10	1,34	mm			Úsečka	Délka	10	1,48	mm		
řez č. 3							řez č. 8						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,36	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,48	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,35	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,50	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,35	mm	Střední hodnota	1,35 mm	Úsečka	Délka	3	1,51	mm	Střední hodnota	1,50 mm
Úsečka	Délka	4	1,33	mm	Sm. odchylka	0,01 mm	Úsečka	Délka	4	1,47	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,35	mm			Úsečka	Délka	5	1,51	mm		
Úsečka	Délka	6	1,36	mm			Úsečka	Délka	6	1,47	mm		
Úsečka	Délka	7	1,35	mm			Úsečka	Délka	7	1,51	mm		
Úsečka	Délka	8	1,36	mm			Úsečka	Délka	8	1,47	mm		
Úsečka	Délka	9	1,33	mm			Úsečka	Délka	9	1,50	mm		
Úsečka	Délka	10	1,36	mm			Úsečka	Délka	10	1,50	mm		
řez č. 4							řez č. 9						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,34	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,84	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,36	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,85	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,37	mm	Střední hodnota	1,36 mm	Úsečka	Délka	3	1,82	mm	Střední hodnota	1,82 mm
Úsečka	Délka	4	1,35	mm	Sm. odchylka	0,01 mm	Úsečka	Délka	4	1,80	mm	Sm. odchylka	0,02 mm
Úsečka	Délka	5	1,36	mm			Úsečka	Délka	5	1,82	mm		
Úsečka	Délka	6	1,36	mm			Úsečka	Délka	6	1,80	mm		
Úsečka	Délka	7	1,36	mm			Úsečka	Délka	7	1,84	mm		
Úsečka	Délka	8	1,37	mm			Úsečka	Délka	8	1,79	mm		
Úsečka	Délka	9	1,36	mm			Úsečka	Délka	9	1,80	mm		
Úsečka	Délka	10	1,33	mm			Úsečka	Délka	10	1,84	mm		
řez č. 5							řez č. 10						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,40	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,85	mm	Veličina	Délka
Úsečka	Délka	2	1,42	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,86	mm	Počet měření	10
Úsečka	Délka	3	1,44	mm	Střední hodnota	1,43 mm	Úsečka	Délka	3	1,85	mm	Střední hodnota	1,85 mm
Úsečka	Délka	4	1,41	mm	Sm. odchylka	0,02 mm	Úsečka	Délka	4	1,86	mm	Sm. odchylka	0,01 mm
Úsečka	Délka	5	1,44	mm			Úsečka	Délka	5	1,86	mm		
Úsečka	Délka	6	1,43	mm			Úsečka	Délka	6	1,85	mm		
Úsečka	Délka	7	1,40	mm			Úsečka	Délka	7	1,85	mm		
Úsečka	Délka	8	1,44	mm			Úsečka	Délka	8	1,87	mm		
Úsečka	Délka	9	1,44	mm			Úsečka	Délka	9	1,85	mm		
Úsečka	Délka	10	1,43	mm			Úsečka	Délka	10	1,85	mm		

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 15 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - rub, tl. materiálu 15 mm														
řez č.3							řez č.7							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,42	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,66	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,40	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,71	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,30	mm	Střední hodnota	0,39	mm	Úsečka	Délka	3	0,70	mm	Střední hodnota	0,69
Úsečka	Délka	4	0,38	mm	Sm. odchylka	0,12	mm	Úsečka	Délka	4	0,69	mm	Sm. odchylka	0,02
Úsečka	Délka	5	0,32	mm			Úsečka	Délka	5	0,70	mm			
Úsečka	Délka	1	0,32	mm			Úsečka	Délka	1	0,67	mm			
Úsečka	Délka	2	0,38	mm			Úsečka	Délka	2	0,69	mm			
Úsečka	Délka	3	0,59	mm			Úsečka	Délka	3	0,67	mm			
Úsečka	Délka	4	0,43	mm			Úsečka	Délka	4	0,69	mm			
Úsečka	Délka	5	0,65	mm			Úsečka	Délka	5	0,67	mm			
řez č.4							řez č.8							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,45	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,75	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,62	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,72	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,53	mm	Střední hodnota	0,68	mm	Úsečka	Délka	3	0,72	mm	Střední hodnota	0,74
Úsečka	Délka	4	0,72	mm	Sm. odchylka	0,12	mm	Úsečka	Délka	4	0,76	mm	Sm. odchylka	0,03
Úsečka	Délka	5	0,78	mm			Úsečka	Délka	5	0,75	mm			
Úsečka	Délka	1	0,59	mm			Úsečka	Délka	1	0,70	mm			
Úsečka	Délka	2	0,64	mm			Úsečka	Délka	2	0,78	mm			
Úsečka	Délka	3	0,80	mm			Úsečka	Délka	3	0,75	mm			
Úsečka	Délka	4	0,79	mm			Úsečka	Délka	4	0,72	mm			
Úsečka	Délka	5	0,76	mm			Úsečka	Délka	5	0,71	mm			
řez č.5							řez č.9							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,68	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,87	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,64	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,91	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,75	mm	Střední hodnota	0,74	mm	Úsečka	Délka	3	0,88	mm	Střední hodnota	0,89
Úsečka	Délka	4	0,66	mm	Sm. odchylka	0,04	mm	Úsečka	Délka	4	0,86	mm	Sm. odchylka	0,02
Úsečka	Délka	5	0,74	mm			Úsečka	Délka	5	0,87	mm			
Úsečka	Délka	1	0,73	mm			Úsečka	Délka	6	0,91	mm			
Úsečka	Délka	2	0,74	mm			Úsečka	Délka	7	0,90	mm			
Úsečka	Délka	3	0,70	mm			Úsečka	Délka	8	0,88	mm			
Úsečka	Délka	4	0,77	mm			Úsečka	Délka	9	0,90	mm			
Úsečka	Délka	5	0,74	mm			Úsečka	Délka	10	0,90	mm			
řez č.6							řez č.10							
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	2	0,70	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	2	1,15	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	3	0,64	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	3	1,13	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	4	0,64	mm	Střední hodnota	0,67	mm	Úsečka	Délka	4	1,15	mm	Střední hodnota	1,13
Úsečka	Délka	5	0,68	mm	Sm. odchylka	0,02	mm	Úsečka	Délka	5	1,13	mm	Sm. odchylka	0,01
Úsečka	Délka	6	0,66	mm			Úsečka	Délka	6	1,13	mm			
Úsečka	Délka	1	0,69	mm			Úsečka	Délka	7	1,13	mm			
Úsečka	Délka	2	0,68	mm			Úsečka	Délka	8	1,12	mm			
Úsečka	Délka	3	0,67	mm			Úsečka	Délka	9	1,13	mm			
Úsečka	Délka	4	0,66	mm			Úsečka	Délka	10	1,12	mm			
Úsečka	Délka	5	0,65	mm			Úsečka	Délka	11	1,15	mm			

Tabulky šířky spár - vstupní strana materiálu 20 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - líc, tl. materiálu 20 mm												
řez č. 1						řez č. 6						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,35	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,41	mm	Veličina	
Úsečka	Délka	2	1,33	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,41	mm	Počet měření	
Úsečka	Délka	3	1,33	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,42	mm	Střední hodnota	
Úsečka	Délka	4	1,33	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,39	mm	Sm. odchylka	
Úsečka	Délka	5	1,33	mm		Úsečka	Délka	5	1,42	mm		
Úsečka	Délka	6	1,31	mm		Úsečka	Délka	6	1,44	mm		
Úsečka	Délka	7	1,35	mm		Úsečka	Délka	7	1,44	mm		
Úsečka	Délka	8	1,35	mm		Úsečka	Délka	8	1,41	mm		
Úsečka	Délka	9	1,34	mm		Úsečka	Délka	9	1,44	mm		
Úsečka	Délka	10	1,35	mm		Úsečka	Délka	10	1,39	mm		
řez č. 2						řez č. 7						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,41	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,50	mm	Veličina	
Úsečka	Délka	2	1,37	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,47	mm	Počet měření	
Úsečka	Délka	3	1,39	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,47	mm	Střední hodnota	
Úsečka	Délka	4	1,42	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,52	mm	Sm. odchylka	
Úsečka	Délka	5	1,37	mm		Úsečka	Délka	5	1,52	mm		
Úsečka	Délka	6	1,36	mm		Úsečka	Délka	6	1,48	mm		
Úsečka	Délka	7	1,41	mm		Úsečka	Délka	7	1,48	mm		
Úsečka	Délka	8	1,36	mm		Úsečka	Délka	8	1,49	mm		
Úsečka	Délka	9	1,41	mm		Úsečka	Délka	9	1,51	mm		
Úsečka	Délka	10	1,36	mm		Úsečka	Délka	10	1,50	mm		
řez č. 3						řez č. 8						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,38	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,51	mm	Veličina	
Úsečka	Délka	2	1,39	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,51	mm	Počet měření	
Úsečka	Délka	3	1,41	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,51	mm	Střední hodnota	
Úsečka	Délka	4	1,40	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,52	mm	Sm. odchylka	
Úsečka	Délka	5	1,40	mm		Úsečka	Délka	5	1,49	mm		
Úsečka	Délka	6	1,39	mm		Úsečka	Délka	6	1,49	mm		
Úsečka	Délka	7	1,41	mm		Úsečka	Délka	7	1,53	mm		
Úsečka	Délka	8	1,41	mm		Úsečka	Délka	8	1,49	mm		
Úsečka	Délka	9	1,40	mm		Úsečka	Délka	9	1,51	mm		
Úsečka	Délka	10	1,42	mm		Úsečka	Délka	10	1,53	mm		
řez č. 4						řez č. 9						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,42	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,66	mm	Veličina	
Úsečka	Délka	2	1,41	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,64	mm	Počet měření	
Úsečka	Délka	3	1,40	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,66	mm	Střední hodnota	
Úsečka	Délka	4	1,42	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,72	mm	Sm. odchylka	
Úsečka	Délka	5	1,42	mm		Úsečka	Délka	5	1,73	mm		
Úsečka	Délka	6	1,42	mm		Úsečka	Délka	6	1,65	mm		
Úsečka	Délka	7	1,39	mm		Úsečka	Délka	7	1,74	mm		
Úsečka	Délka	8	1,44	mm		Úsečka	Délka	8	1,74	mm		
Úsečka	Délka	9	1,41	mm		Úsečka	Délka	9	1,71	mm		
Úsečka	Délka	10	1,41	mm		Úsečka	Délka	10	1,76	mm		
řez č. 5						řez č. 10						
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky	
Úsečka	Délka	1	1,44	mm	Veličina	Úsečka	Délka	1	1,60	mm	Veličina	
Úsečka	Délka	2	1,44	mm	Počet měření	Úsečka	Délka	2	1,63	mm	Počet měření	
Úsečka	Délka	3	1,47	mm	Střední hodnota	Úsečka	Délka	3	1,62	mm	Střední hodnota	
Úsečka	Délka	4	1,44	mm	Sm. odchylka	Úsečka	Délka	4	1,62	mm	Sm. odchylka	
Úsečka	Délka	5	1,41	mm		Úsečka	Délka	5	1,59	mm		
Úsečka	Délka	6	1,46	mm		Úsečka	Délka	6	1,60	mm		
Úsečka	Délka	7	1,42	mm		Úsečka	Délka	7	1,63	mm		
Úsečka	Délka	8	1,45	mm		Úsečka	Délka	8	1,63	mm		
Úsečka	Délka	9	1,44	mm		Úsečka	Délka	9	1,60	mm		
Úsečka	Délka	10	1,41	mm		Úsečka	Délka	10	1,60	mm		

Tabulky šířky spár - výstupní strana materiálu 20 mm, tlak média 380 MPa

AWAC - rub, tl. materiálu 20 mm														
řez č. 2					řez č. 7									
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,81	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,86	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,95	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,80	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,43	mm	Střední hodnota	0,81	mm	Úsečka	Délka	3	0,85	mm	Střední hodnota	0,84
Úsečka	Délka	4	0,83	mm	Sm. odchylka	0,20	mm	Úsečka	Délka	4	0,88	mm	Sm. odchylka	0,04
Úsečka	Délka	5	0,64	mm			Úsečka	Délka	5	0,86	mm			
Úsečka	Délka	6	0,93	mm			Úsečka	Délka	6	0,77	mm			
Úsečka	Délka	7	0,74	mm			Úsečka	Délka	7	0,79	mm			
Úsečka	Délka	8	0,42	mm			Úsečka	Délka	8	0,88	mm			
Úsečka	Délka	9	0,80	mm			Úsečka	Délka	9	0,83	mm			
Úsečka	Délka	10	0,98	mm			Úsečka	Délka	10	0,80	mm			
řez č. 3					řez č. 8									
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	1,22	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	0,91	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	1,02	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	0,94	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,77	mm	Střední hodnota	0,82	mm	Úsečka	Délka	3	0,92	mm	Střední hodnota	0,93
Úsečka	Délka	4	0,99	mm	Sm. odchylka	0,19	mm	Úsečka	Délka	4	0,90	mm	Sm. odchylka	0,02
Úsečka	Délka	5	0,86	mm			Úsečka	Délka	5	0,94	mm			
Úsečka	Délka	6	0,75	mm			Úsečka	Délka	6	0,93	mm			
Úsečka	Délka	7	0,65	mm			Úsečka	Délka	7	0,91	mm			
Úsečka	Délka	8	0,77	mm			Úsečka	Délka	8	0,90	mm			
Úsečka	Délka	9	0,75	mm			Úsečka	Délka	9	0,94	mm			
Úsečka	Délka	10	1,15	mm			Úsečka	Délka	10	0,93	mm			
řez č. 4					řez č. 9									
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,58	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,08	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,80	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,09	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,88	mm	Střední hodnota	0,78	mm	Úsečka	Délka	3	1,09	mm	Střední hodnota	1,08
Úsečka	Délka	4	0,75	mm	Sm. odchylka	0,09	mm	Úsečka	Délka	4	1,08	mm	Sm. odchylka	0,01
Úsečka	Délka	5	0,70	mm			Úsečka	Délka	5	1,07	mm			
Úsečka	Délka	6	0,82	mm			Úsečka	Délka	6	1,08	mm			
Úsečka	Délka	7	0,83	mm			Úsečka	Délka	7	1,10	mm			
Úsečka	Délka	8	0,75	mm			Úsečka	Délka	8	1,09	mm			
Úsečka	Délka	9	0,75	mm			Úsečka	Délka	9	1,06	mm			
Úsečka	Délka	10	0,86	mm			Úsečka	Délka	10	1,07	mm			
řez č. 5					řez č. 10									
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	0,74	mm	Veličina	Délka	Úsečka	Délka	1	1,33	mm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	0,88	mm	Počet měření	10	Úsečka	Délka	2	1,32	mm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	0,61	mm	Střední hodnota	0,74	mm	Úsečka	Délka	3	1,30	mm	Střední hodnota	1,32
Úsečka	Délka	4	0,72	mm	Sm. odchylka	0,10	mm	Úsečka	Délka	4	1,30	mm	Sm. odchylka	0,01
Úsečka	Délka	5	0,79	mm			Úsečka	Délka	5	1,31	mm			
Úsečka	Délka	6	0,61	mm			Úsečka	Délka	6	1,33	mm			
Úsečka	Délka	7	0,74	mm			Úsečka	Délka	7	1,30	mm			
Úsečka	Délka	8	0,77	mm			Úsečka	Délka	8	1,32	mm			
Úsečka	Délka	9	0,90	mm			Úsečka	Délka	9	1,33	mm			
Úsečka	Délka	10	0,72	mm			Úsečka	Délka	10	1,30	mm			
řez č. 6														
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky									
Úsečka	Délka	1	0,90	mm	Veličina	Délka								
Úsečka	Délka	2	0,69	mm	Počet měření	10								
Úsečka	Délka	3	0,91	mm	Střední hodnota	0,74	mm							
Úsečka	Délka	4	0,69	mm	Sm. odchylka	0,09	mm							
Úsečka	Délka	5	0,74	mm										
Úsečka	Délka	6	0,86	mm										
Úsečka	Délka	7	0,74	mm										
Úsečka	Délka	8	0,86	mm										
Úsečka	Délka	9	0,70	mm										
Úsečka	Délka	10	0,72	mm										

Tabulky šířky spár – střední hodnoty (medián)

tl.materiálu 5 mm						tl.materiálu 5 mm						
PTV 413 MPa						AWAC 380 MPa						
líc			rub		v (mm.min ⁻¹)	líc			rub			
Střední hodnota	1,24	mm	Střední hodnota	0,55	mm	425	Střední hodnota	1,35	mm			
Střední hodnota	1,26	mm	Střední hodnota	0,54	mm	400	Střední hodnota	1,28	mm			
Střední hodnota	1,20	mm	Střední hodnota	0,57	mm	375	Střední hodnota	1,34	mm	Střední hodnota	0,52	mm
Střední hodnota	1,22	mm	Střední hodnota	0,58	mm	350	Střední hodnota	1,35	mm	Střední hodnota	0,63	mm
Střední hodnota	1,17	mm	Střední hodnota	0,64	mm	300	Střední hodnota	1,44	mm	Střední hodnota	0,62	mm
Střední hodnota	1,19	mm	Střední hodnota	0,64	mm	250	Střední hodnota	1,52	mm	Střední hodnota	0,63	mm
Střední hodnota	1,21	mm	Střední hodnota	0,69	mm	200	Střední hodnota	1,42	mm	Střední hodnota	0,70	mm
Střední hodnota	1,20	mm	Střední hodnota	0,78	mm	150	Střední hodnota	1,32	mm	Střední hodnota	0,80	mm
Střední hodnota	1,22	mm	Střední hodnota	0,83	mm	100	Střední hodnota	1,46	mm	Střední hodnota	0,92	mm
Střední hodnota	1,29	mm	Střední hodnota	0,98	mm	50	Střední hodnota	1,66	mm	Střední hodnota	1,02	mm

tl.materiálu 10 mm						tl.materiálu 10 mm						
PTV 413 MPa						AWAC 380 MPa						
líc			rub		v (mm.min ⁻¹)	líc			rub			
Střední hodnota	1,22	mm	Střední hodnota	0,59	mm	220	Střední hodnota	1,27	mm			
Střední hodnota	1,20	mm	Střední hodnota	0,58	mm	200	Střední hodnota	1,30	mm	Střední hodnota	0,62	mm
Střední hodnota	1,24	mm	Střední hodnota	0,59	mm	180	Střední hodnota	1,30	mm	Střední hodnota	0,74	mm
Střední hodnota	1,23	mm	Střední hodnota	0,63	mm	160	Střední hodnota	1,39	mm	Střední hodnota	0,72	mm
Střední hodnota	1,26	mm	Střední hodnota	0,65	mm	140	Střední hodnota	1,53	mm	Střední hodnota	0,69	mm
Střední hodnota	1,31	mm	Střední hodnota	0,69	mm	120	Střední hodnota	1,36	mm	Střední hodnota	0,70	mm
Střední hodnota	1,31	mm	Střední hodnota	0,73	mm	100	Střední hodnota	1,58	mm	Střední hodnota	0,79	mm
Střední hodnota	1,25	mm	Střední hodnota	0,77	mm	80	Střední hodnota	1,49	mm	Střední hodnota	0,88	mm
Střední hodnota	1,31	mm	Střední hodnota	0,84	mm	60	Střední hodnota	1,42	mm	Střední hodnota	0,97	mm
Střední hodnota	1,36	mm	Střední hodnota	0,96	mm	40	Střední hodnota	1,41	mm	Střední hodnota	1,08	mm

tl.materiálu 15 mm						tl.materiálu 15 mm						
PTV 413 MPa						AWAC 380 MPa						
líc			rub		v (mm.min ⁻¹)	líc			rub			
Střední hodnota	1,31	mm	Střední hodnota	0,64	mm	140	Střední hodnota	1,42	mm	Střední hodnota		mm
Střední hodnota	1,25	mm	Střední hodnota	0,73	mm	130	Střední hodnota	1,35	mm	Střední hodnota		mm
Střední hodnota	1,31	mm	Střední hodnota	0,63	mm	120	Střední hodnota	1,35	mm	Střední hodnota	0,39	mm
Střední hodnota	1,41	mm	Střední hodnota	0,78	mm	110	Střední hodnota	1,36	mm	Střední hodnota	0,68	mm
Střední hodnota	1,27	mm	Střední hodnota	0,64	mm	100	Střední hodnota	1,43	mm	Střední hodnota	0,74	mm
Střední hodnota	1,23	mm	Střední hodnota	0,67	mm	90	Střední hodnota	1,46	mm	Střední hodnota	0,67	mm
Střední hodnota	1,25	mm	Střední hodnota	0,64	mm	80	Střední hodnota	1,49	mm	Střední hodnota	0,69	mm
Střední hodnota	1,23	mm	Střední hodnota	0,70	mm	60	Střední hodnota	1,50	mm	Střední hodnota	0,74	mm
Střední hodnota	1,35	mm	Střední hodnota	0,84	mm	40	Střední hodnota	1,82	mm	Střední hodnota	0,89	mm
Střední hodnota	1,43	mm	Střední hodnota	1,08	mm	20	Střední hodnota	1,85	mm	Střední hodnota	1,13	mm

tl.materiálu 20 mm						tl.materiálu 20 mm						
PTV 413 MPa						AWAC 380 MPa						
líc			rub		v (mm.min ⁻¹)	líc			rub			
Střední hodnota	1,24	mm	Střední hodnota	0,63	mm	100	Střední hodnota	1,34	mm	Střední hodnota		mm
Střední hodnota	1,24	mm	Střední hodnota	0,59	mm	90	Střední hodnota	1,38	mm	Střední hodnota	0,81	mm
Střední hodnota	1,26	mm	Střední hodnota	0,61	mm	80	Střední hodnota	1,40	mm	Střední hodnota	0,82	mm
Střední hodnota	1,31	mm	Střední hodnota	0,65	mm	70	Střední hodnota	1,42	mm	Střední hodnota	0,78	mm
Střední hodnota	1,36	mm	Střední hodnota	0,70	mm	60	Střední hodnota	1,44	mm	Střední hodnota	0,74	mm
Střední hodnota	1,32	mm	Střední hodnota	0,70	mm	50	Střední hodnota	1,42	mm	Střední hodnota	0,74	mm
Střední hodnota	1,35	mm	Střední hodnota	0,76	mm	40	Střední hodnota	1,50	mm	Střední hodnota	0,84	mm
Střední hodnota	1,33	mm	Střední hodnota	0,89	mm	30	Střední hodnota	1,51	mm	Střední hodnota	0,93	mm
Střední hodnota	1,44	mm	Střední hodnota	0,98	mm	20	Střední hodnota	1,70	mm	Střední hodnota	1,08	mm
Střední hodnota	1,56	mm	Střední hodnota	1,25	mm	10	Střední hodnota	1,61	mm	Střední hodnota	1,32	mm

Tabulky naměřených úhlů (α , β , γ) pro různé tloušťky materiálu

PTV 413 MPa

TL. 5 mm			rychlos řezu mm/min	č.řezu
úhel α	úhel β	úhel γ		
4,4	2,6	7,0	425	1
4,5	2,8	7,3	400	2
3,0	3,9	6,9	375	3
3,0	3,6	6,6	350	4
3,2	3,6	6,8	300	5
3,0	2,3	5,3	250	6
2,1	3,1	5,2	200	7
1,6	2,0	3,6	150	8
1,5	2,3	3,8	100	9
1,3	2,6	3,9	50	10

ČZU 380 MPa

TL. 5 mm			rychlos řezu mm/min
úhel α	úhel β	úhel γ	
4,3	7,6	11,9	425
3,6	2,8	6,4	400
3,5	4,7	8,2	375
3,4	6,0	9,4	350
4,0	3,2	7,2	300
4,0	3,2	7,2	250
2,2	3,6	5,8	200
2,4	2,5	4,9	150
2,3	1,8	4,1	100
2,8	0,4	3,2	50

PTV 413 MPa

TL. 10 mm			rychlos řezu mm/min	č.řezu
úhel α	úhel β	úhel γ		
1,9	0,6	2,5	220	1
1,1	1,2	2,3	200	2
1,4	0,7	2,1	180	3
1,6	1,1	2,7	160	4
1,7	0,7	2,4	140	5
1,3	1,4	2,7	120	6
1,4	0,5	1,9	100	7
1,4	0,3	1,7	80	8
0,6	0,6	1,2	60	9
0,3	0,1	0,4	40	10

ČZU 380 MPa

TL. 10 mm			rychlos řezu mm/min
úhel α	úhel β	úhel γ	
1,8	0,9	2,7	220
1,9	1,8	3,7	200
1,4	2,9	4,3	180
1,9	2,0	3,9	160
1,7	1,1	2,8	140
1,6	2,2	3,8	120
1,0	1,7	2,7	100
1,2	1,4	2,6	80
0,6	2,0	2,6	60
1,0	2,0	3,0	40

PTV 413 MPa

TL. 15 mm			rychlos řezu mm/min	č.řezu
úhel α	úhel β	úhel γ		
1,2	0,6	1,8	140	1
0,8	0,9	1,7	130	2
1,4	0,6	2,0	120	3
0,5	1,4	1,9	110	4
0,8	0,6	1,4	100	5
0,4	1,6	2,0	90	6
0,3	1,1	1,4	80	7
0,3	0,6	0,9	60	8
0,5	0,9	1,4	40	9
1,0	0,7	1,7	20	10

ČZU 380 MPa

TL. 15 mm			rychlos řezu mm/min
úhel α	úhel β	úhel γ	
0,8	1,3	2,1	140
1,6	0,7	2,3	130
1,3	0,8	2,1	120
1,1	1,2	2,3	110
0,8	1,4	2,2	100
0,6	1,4	2,0	90
0,2	1,8	2,0	80
0,9	0,8	1,7	60
0,3	1,1	1,4	40
0,1	1,8	1,9	20

PTV 413 MPa

TL. 20 mm			rychlos řezu mm/min	č.řezu
úhel α	úhel β	úhel γ		
0,0	0,8	0,8	100	1
0,2	1,6	1,8	90	2
0,6	1,9	2,5	80	3
0,8	2,8	3,6	70	4
0,4	1,7	2,1	60	5
0,4	0,9	1,3	50	6
0,4	1,4	1,8	40	7
0,8	1,7	2,5	30	8
0,2	0,5	0,7	20	9
0,1	0,4	0,5	10	10

ČZU 380 MPa

TL. 20 mm			rychlos řezu mm/min
úhel α	úhel β	úhel γ	
1,3	0,6	1,9	100
0,6	0,6	1,2	90
0,9	0,4	1,3	80
0,2	0,8	1,0	70
0,7	0,6	1,3	60
0,4	0,6	1,0	50
0,1	1,6	1,7	40
0,8	1,2	2,0	30
0,0	0,4	0,4	20
0,6	0,6	1,2	10

Recyklace abraziva

Neroztříděný odpad, směs abraziva a zbytků řezaného materiálu, pouze zbaven přebytečné vody.



Roztříděné abrazivo po sušení v elektrické peci



Suché abrazivo z pece, které prošlo vibračním třídícím, kde se odloučily větší zrna vzniklá při procesu sušení

