

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

**Šinágl
Viktor**

2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šinágl** Jméno: **Viktor** Osobní číslo: **473678**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh trysky pro vysokotlaké tryskání

Název bakalářské práce anglicky:

Nozzle design for high pressure blasting

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky čištění povrchů
- 2) Návrhy vhodné trysky pro čištění štěrbin ocelových konstrukcí
- 3) Technicko - ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**


Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

16.5.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem trysky pro vysokotlaké tryskání, zejména pro tryskání úzkých štěrbin mostních konstrukcí. Teoretická část popisuje základní druhy předúpravy povrchu, podrobněji se zabývá mechanickou předúpravou povrchu a popisuje základní metody mechanické předúpravy povrchu a technologie tryskání, včetně vyhodnocení dosažené kvality povrchu po tryskání. V experimentální části se tato práce věnuje návrhem trysky pro vysokotlaké tryskání ze závěrů získaných z experimentálního ověření metod tryskání na mostě pod Vyšehradem, provedeném Fakultou strojní, Fakultou stavební a Kloknerovým ústavem Českého vysokého učení technického v Praze.

Klíčová slova:

Vysokotlaké tryskání, tryskání, návrh trysky, tryskání mostních konstrukcí

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of a nozzle for high pressure blasting, especially for blasting of crevasses on the bridge structures. The theoretical part describes the basic types of surface pre-treatment and deals with mechanical surface pre-treatment in more details. Basic methods of mechanical surface pre-treatment and blasting technologies are described, including the evaluation of the surface quality acquired from the blasting process. In the experimental part, this work deals with the design of a nozzle for high-pressure blasting based on the conclusions obtained during the experimental verification of several blasting methods, performed on the bridge under Vyšehrad by the Faculty of Mechanical Engineering, Faculty of Civil Engineering and the Klokner Institute of the Czech Technical University in Prague.

Keywords

High pressure blasting, blasting, nozzle design, blasting of the bridge structures

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci na téma Návrh trysky pro vysokotlaké tryskání vypracoval samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....
Jméno, Příjmení

Poděkování

Tímto děkuji panu Ing. Janu Kudláčkovi Ph.D. a panu Ing. Jakubu Svobodovi za cenné připomínky a rady při tvorbě této bakalářské práce a za jejich ochotu při konzultacích. Dále děkuji mé rodině za podporu během psaní této bakalářské práce a během mého celého dosavadního studia.

Obsah

1.	Úvod	8
2.	Předúprava povrchu	9
2.1.	Chemická úprava povrchu	9
2.2.	Mechanická úprava povrchu	9
2.2.1.	Broušení, leštění, kartáčování	10
2.2.2.	Omílání	11
2.2.3.	Speciální způsoby	11
3.	Tryskání	13
3.1.	Historie tryskání	13
3.2.	Technologie tryskání	14
3.3.	Metody tryskání	15
3.3.1.	Pneumatické tryskání	15
3.3.1.1.	Mechanické tryskání	18
3.3.1.2.	Tryskání zvlhčeným abrazivem	18
3.3.1.3.	Tryskání vodním paprskem	19
3.3.1.4.	Tryskání suchým ledem	19
3.3.1.5.	Metání abraziva	20
3.4.	Stupně čistoty při tryskání	21
4.	Trysky pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem	24
4.1.	Druhy trysek pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem	24
4.1.1.	Přímé trysky	25
4.1.2.	Rotační trysky	25
4.1.3.	Venturiho tryska	26
5.	Návrh trysky pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem	28
5.1.	Experimentální ověření metod tryskání na mostě pod Vyšehradem	28
5.1.1.	Tryskání vodním paprskem	29

5.1.2.	Vyhodnocení tryskání vodním paprskem _____	30
5.1.3.	Tryskání křemičitým pískem a ocelovým abrazivem _____	30
5.2.	Návrh trysky _____	31
5.2.1.	Volba tryskových vývodů _____	32
5.2.2.	Modifikace tvaru trysky _____	33
5.3.	Montáž trysky _____	37
5.4.	Volba materiálu _____	37
5.5.	Technicko - ekonomické zhodnocení _____	38
6.	Závěr _____	40
7.	Seznam použité literatury _____	41
8.	Seznam obrázků _____	44
9.	Seznam tabulek _____	45
10.	Přílohy _____	46

1. Úvod

Předúprava povrchu je důležitou součástí každé povrchové úpravy. Slouží k přípravě povrchu před aplikací nátěrových hmot a významným způsobem ovlivňuje životnost a kvalitu povrchové úpravy. Předúpravu povrchu je možné realizovat mechanickou cestou, pomocí mechanické úpravy, nebo chemickou cestou. Často se využívá obou postupů, jak mechanické úpravy, tak úpravy chemické. Teoretická část této bakalářské práce popisuje druhy předúpravy povrchu, blíže se pak zabývá úpravou mechanickou, zejména technologií tryskání.

Technologie tryskání je v dnešní době jednou z nejpoužívanějších metod mechanické předúpravy povrchu. Pokud se uvažuje předúprava povrchu u ocelových konstrukcí, tryskání je díky své mobilitě, menší náročnosti a dobré efektivitě tryskacího procesu takřka jediný způsob, jak kvalitně povrch připravit na následné nanesení nátěrových hmot u těchto konstrukcí. Vysokotlaké tryskání, nebo také tryskání vodním paprskem, pak představuje velmi efektivní, ekonomický a ekologický způsob předúpravy povrchu. I přes své přínosy je ale vysokotlaké tryskání v některých případech problematické. Takovými případy mohou být například úzké štěrbiny či těžko dostupná místa na ocelových mostních konstrukcích. Tryskání vodním paprskem zde velmi často nespĺňuje požadovaný stupeň předúpravy povrchu. Na vině často není technologie samotná, jelikož dobře přístupné plochy dokáže otryskat bez problému, ale technické vybavení. Aktuální a na trhu běžně dostupný sortiment nástrojů a přípravků pro vysokotlaké tryskání neposkytuje vhodné řešení pro tryskání těchto problematických částí, jako jsou například úzké štěrbiny ocelových mostních konstrukcí. Tato bakalářská práce si ve své praktické části klade za cíl vytvořit návrh trysky pro vysokotlaké tryskání, která by napomohla tryskání výše uvedených problematických míst na mostních konstrukcích.

2. Předúprava povrchu

Předúprava povrchu je důležitou a nezbytnou součástí technologického postupu povrchových úprav, která výrazně ovlivňuje životnost dále nanášené povrchové úpravy. Předúprava povrchu spočívá v opracování povrchu součásti za účelem vytvoření požadované kvality povrchu či mikrostruktury a k zajištění požadované čistoty povrchu (např. odstraněním korozních produktů, ulpělých nečistot apod.). Postup předúpravy povrchu se nejčastěji skládá z mechanické úpravy a chemické úpravy [1].

2.1. Chemická úprava povrchu

Cílem chemické úpravy povrchu je odstranění nečistot z povrchu materiálu před jeho další úpravou. Nečistoty ulpívající na povrchu součásti se obvykle rozdělují do dvou základních skupin. Ulpělé (cizí) nečistoty a vlastní nečistoty [1].

Ulpělé nečistoty jsou k povrchu kovu vázány pouze fyzikálními silami. Patří sem zbytky mastných látek (jako např. zbytky konzervačních prostředků, leštících a brusných past, obráběcích a chladících kapalin atd.), kovové nečistoty (např. kovový prach, kovové třísky vzniklé obráběním) a nerozpustné anorganické sloučeniny (např. prach z ovzduší). Jelikož jsou ulpělé nečistoty tvořeny z velké míry mastnými látkami, odstraňujeme je technologickým procesem zvaným odmašťování [1, 2].

Vlastní nečistoty jsou charakteristické tím, že jsou k povrchu vázány chemisorpcí (nebo také chemickou adsorpcí, kdy je adsorbát, nebo také nečistota, vázána k povrchu adsorbentu pomocí chemické vazby). Jedná se o tzv. korozní zplodiny, které jsou charakteristické tím, že vznikají na povrchu chemickou přeměnou kovu při reakci s vnějším prostředím. Patří sem hlavně okuje a rez. Okuje vznikají chemickou korozí při tepelném zpracování kovového materiálu a skládají se z oxidických vrstviček tohoto kovového materiálu (vlastní přídavky). Rez se tvoří pomalým působením atmosférické vlhkosti za normální teploty převážně elektrochemickými ději a je složena z hydratovaných oxidů kovu [1, 2, 3].

K chemickým úpravám povrchu se řadí technologie odmašťování, moření, odrezování a leštění [1].

2.2. Mechanická úprava povrchu

Mechanickými povrchovými úpravami je povrch předmětu zpracováván takovým způsobem, při kterém dojde k vytvoření požadované jakosti, kvality a vzhledu povrchu. Mechanická úprava je tedy funkční úpravou povrchu, jejímž účelem je především očistit povrch

od nečistot, zajistit vhodné podmínky pro přilnavost dalších vrstev, zvýšit korozní odolnost, zlepšit mechanické vlastnosti povrchu či vytvořit vzhledově atraktivní povrch [1, 2].

Mezi základní technologie mechanický úprav patří [2]:

- broušení
- kartáčování
- leštění
- omílání a příbuzné procesy
- tryskání
- speciální způsoby: oklepávání, opalování plamenem

2.2.1. Broušení, leštění, kartáčování

Jedná se o nejběžnější technologie mechanických úprav povrchu. Většinou slouží pro přípravu povrchu pro následné vytváření povlaků (nejčastěji před galvanickým pokovováním), ale mohou být i konečnou úpravou. Broušení a leštění má v technologii povrchových úprav poněkud odlišný charakter než u přesného obrábění broušením, zde slouží převážně k odstranění nerovností a ke sjednocení kvality povrchu [1, 4].

O broušení se hovoří také jako o jemném obrábění speciálními nástroji opatřenými brusivem s přesně nedefinovanou řeznou geometrií. Výchozí povrch se při broušení postupně vybrušuje na stále nižší drsnost (nejnižší běžně dosažitelná drsnost se při broušení pohybuje od 0,4 až do 0,2 Ra). Při operaci broušení se postupuje od hrubších brusiv k jemnějším, kdy zrnitost brusiva poslední operace musí splňovat požadavky následující technologie. Pro broušení se používá obvodových rychlostí v rozmezí 26 až 36 ms⁻¹ [1, 2, 5].

Leštění obvykle následuje po operacích jemného broušení, popř. kartáčování, a slouží k dosažení velmi nízké hodnoty drsnosti (pod 0,1 Ra). Úběr materiálu je při leštění minimální, odstraňují se pouze stopy (risky) po předcházejících operacích. Na dosaženou výši lesku mají kromě leštícího nástroje a nastavených pracovních podmínek vliv i použité leštící pasty. Leštící kotouče jsou tvořeny nejčastěji lamelovými pásy z brousících pláten, vláknů z umělých hmot a žíní či kombinací lamel a vláken. Dále se používají také vrstvené kotouče z textilních tkanin nebo speciální tuhé kotouče, jako např. dřevo či guma potažená plstí apod. Pro předleštění se volí obvykle tvrdší látkové kotouče, mastnější pasty a vyšší obvodové rychlosti. Doleštění je finální fáze leštění kovu a používají se pro něj jemné leštící kotouče a pasty. Obvodové rychlosti při leštění se pohybují v rozmezí 26 až 36 ms⁻¹ [1, 5, 6, 7].

Kartáčování se používá jako čistící operace pro odstranění hrubých nečistot nebo se zařazuje po broušení, resp. před leštění ke zjemnění upravovaného povrchu a odstranění

oxidické vrstvy vzniklé po broušení. Při kartáčování se využívá drátěných kartáčů, pro jemnější operace pak měkkých a pružných kotoučů z umělých vláken. Složité a členité výrobky se těžko kartáčují a je zde třeba použít kartáče z elastických materiálů. Obvodové rychlosti pro kartáčování jsou obdobné jako obvodové rychlosti pro broušení [1, 2].

2.2.2. Omílání

Omílání je operace, při které dochází k úběru a vyhlazování povrchu výrobku pomocí brusných či hladících prostředků nebo dalších výrobků přítomných v omílací nádobě. Ta má nejčastěji tvar uzavřeného válce, zvonu nebo hranolu, a může se buď otáčet kolem své osy, nebo vibrovat. Podle druhu pohybu se pak omílání rozděluje na rotační nebo vibrační. Proces omílání může probíhat za sucha nebo v kapalině s chemickými prostředky, podle toho jde-li současně o účinek mořící, leštící nebo pasivační. Omílací prostředky jsou nejčastěji z umělého korundu nebo kovu, ale používá se i organických materiálů. Velikostí zrna a druhem pojiva se dá ovlivňovat úběrová rychlost i drsnost povrchu výrobku. Pro hrubování se obvykle volí větších zrn s vyšší tvrdostí. Omílání se používá zejména k vyhlazování povrchu jako brusná a leštící operace, kdy se dá běžně dosáhnout drsnosti až 0,3 Ra. Dále se pomocí omílání dají zaoblit hrany, odstranit ostřiny nebo okuje, ale i povrchově zpevnit danou součást. Výhodou procesu omílání je hromadné opracování velkého množství výrobků při poměrně malých provozních nákladech. Nevýhodou pak může být malá kontrola nad přesností a otupení hran (pokud není žádoucí) [1, 2, 4]. Omílání tedy není vhodné pro členité výrobky, protože by mohlo dojít k jejich poškození.

2.2.3. Speciální způsoby

Mezi speciální způsoby mechanické úpravy povrchu patří oklepávání a opalování plamenem.

Oklepávání je technologie používaná k odstranění pevně lpících okují a silných vrstev korozních produktů na rozměrných předmětech a částech konstrukcí, u kterých nehrozí vznik deformace. K oklepávání se nejčastěji používají speciální pneumatická zařízení pohybující ocelovými dráty (jehlami), kladívky, trny apod. [2, 8].



Obrázek 1 Jehlový oklepávač [8]

Opalování plamenem se používá k odstranění rzi na hmotných předmětech. Používá se zde hořáku s kyslíko-acetylenovým plamenem, kterým se přejíždí nad povrchem součásti a vlivem rozdílné teplotní roztažnosti korozních produktů a základního materiálu dochází k uvolnění rzi a jejímu následnému odfouknutí pod vznikajícím tlakem plynů. Rez, která zbyde na povrchu a není odfouknuta, se působením plamene vysuší, čímž z ní vyprchají těkavé sloučeniny urychlující korozi [1].

3. Tryskání

Technologie tryskání, nazývané také jako abrazivní tryskání, je technologií mechanické předúpravy povrchu, která k odstranění nečistot na povrchu součásti využívá kinetické energie proudu abrazivních částic.

3.1. Historie tryskání

První počátky technologie tryskání je možné najít již v 19 století. Největším průkopníkem technologie tryskání byl bezesporu Američan Benjamin Chew Tilghman (1821-1901), který sloužil v armádě v době americké občanské války jako brigádní generál. Při svém působení v armádě byl nasazen i v poušti, kde ho údajně obrušování okenních tabulek pomocí písku unášeného větrem přivedlo na myšlenku tryskání. V roce 1870 pak podal patent na metodu abrazivního tryskání pískem pomocí proudu vzduchu, páry a vody (U.S. Patent No. 108 408). Na Tilghmana pak navázal Thomas Pangborn, který se zabýval konstrukcí tryskacích zařízení, a roku 1904 založil společnost Pangborn Group. Ta působí dodnes a zabývá se výrobou tryskacích strojů [9].



Obrázek 2 Benjamin Chew Tilghman [9]

K výraznému rozmachu technologie tryskání pak došlo v období mezi světovými válkami, kdy se tryskání používalo hlavně na čištění povrchu odlitků od ulpělých zbytků formy. V roce 1932 si firma Wheelabrator nechala patentovat první metací kolo pro abrazivní tryskání. V té době se jako abrazivo hojně používal křemenný písek, ten však při aplikaci velmi prášil a způsoboval velmi špatnou hygienu práce. Obsluha vdechovala malé prachové částice oxidu křemičitého, což mělo za příčinu vznik onemocnění zvaného silikóza. Tyto faktory pak vedly k hledání vhodnějšího abrazivního materiálu. V roce 1938 začaly některé americké společnosti používat abrazivo z temperované litiny. Po druhé světové válce se pak začal

používat ocelový granulát a sekaný drát. V 50 letech Norman Ashwort vyvinul první systém pro tryskání zvlhčeným abrazivem (v angličtině „wet blasting technology“). Tato technologie výrazně snížila rizikost silikózy při pískování. Na technologii mokrého abraziva pak navázala

technologie využívající jako abraziva čistě jen vodu. Tato technologie se nazývá tryskání vodním paprskem nebo také tryskání kapalinou za vysokého tlaku či jen vysokotlaké tryskání. Své uplatnění díky dobré hygieně práce a ekologii získala zejména při tryskání v terénu. Používá se tak při sanačních pracích na stavbách i k demolici zvětralého betonu (hydrodemolice). Od poloviny 80. let se pak začala používat technologie tryskání suchým ledem, která v sobě kombinuje vysokou účinnost tryskání a velmi dobrou hygienu práce [9, 10, 11, 12].

3.2. Technologie tryskání

Tryskání je jeden z technologických procesů mechanické předúpravy povrchu. Spočívá v opracování povrchu proudem jemných částic, tzv. zrn nebo abraziva, které dopadá na plochu otryskávané součásti pod určitým úhlem. Abrazivo získává svoji kinetickou energii nejčastěji pomocí stlačeného vzduchu, metacího kola, tlakové vody nebo kombinace tlaku vzduchu a vody. Dopadající zrna abraziva pak odstraňují z povrchu součásti nežádoucí ulpělé prvky, jako jsou korozní produkty, okuje, písek, grafit apod. Pro tryskání se používají dva základní typy zrn: ostrá zrna a tupá zrna [1, 2]. Existují ale technologie, které nepoužívají ani jeden z těchto typů zrn, jedná se např. o tryskání vodou či suchým ledem.

Ostrá zrna po dopadu vysekávají z povrchu součásti částice daného materiálu, dochází tak k úběru materiálu, přičemž se součást zbavuje nečistot, korozních produktů, příměsí a dalších látek. Výsledný povrch je pak podle druhu a velikosti otryskávaného materiálu patřičně zdrsňen [1, 2].

Při dopadu tupých zrn na rozdíl od zrn ostrých nedochází k úběru základního materiálu. Povrch součásti je očištěn principem otloukání, což má za následek pokrytí povrchu malými důlky [1, 2].

Mezi nejpoužívanější materiály pro tryskání patří ocelová drť, kuličky, sekaný drát, mletý korund, drcená struska, drcené skořápky, křemičitý písek atd. Křemičitý písek byl dříve hojně používaným tryskacím materiálem, ale vzhledem ke špatným hygienickým podmínkám při jeho aplikaci se od jeho používání upouští. Při použití křemičitého písku se musí obsluha chránit vhodnými ochrannými pomůckami, jinak se vystavuje nebezpečí plicního onemocnění (silikózy) [1, 2].

Tryskání je velmi produktivní způsob předúpravy povrchu pro nátěry, smalty, žárové nástřiky kovů, keramických materiálů a neúčinnější mechanický způsob odstranění rzi a okují z povrchu hutních výrobků i rozměrných konstrukcí a staveb [1].

Tryskací proces je možné dnešní době snadno automatizovat a robotizovat. Tryskací zařízení mohou být také mobilní, což velmi usnadňuje tryskání rozměrných objektů, jako jsou např. mostní konstrukce a stavby.

3.3. Metody tryskání

Metody tryskání je možné rozlišovat z hlediska použitého abraziva i samotného principu tryskání. Existují dva základní principy tryskání, které se liší podle toho, jakým způsobem je kinetická energie abrazivu dodávána. Jedná se o pneumatické tryskání a tryskání pomocí metání abraziva. Jednotlivé technologie tryskání je pak možné rozlišovat tímto způsobem:

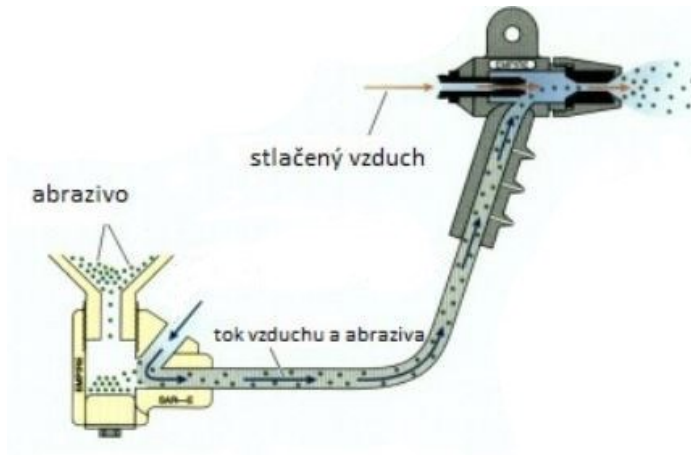
- Pneumatický způsob tryskání
 - Pískování (Sandblasting)
 - Tryskání zvlhčeným abrazivem (Wet blasting)
 - Tryskání kapalinou o vysokém tlaku
 - Tryskání suchým ledem
 - Ostatní speciální způsoby tryskání
- Metání abraziva (wheel blasting).

3.3.1. Pneumatické tryskání

Při pneumatickém tryskání je kinetická energie dodávána abrazivu pomocí tlaku plynného média. Na vstupu se nachází kompresorové zařízení, které slouží jako zdroj stlačeného vzduchu. Výstup z pneumatického tryskacího zařízení je opatřen tryskou, která usměrňuje a urychluje proud abraziva a stlačeného vzduchu. Výhodou pneumatických tryskacích zařízení je jejich přizpůsobitelnost pro různé typy operací (např. volbou tryskové hlavy) a snadná mobilita, což umožňuje tryskat i těžko přístupná místa či rozměrné konstrukce. Pneumatické stroje se dělí podle principu přivádění abraziva a stlačeného vzduchu na dva základní typy: injektorové a tlakové [14, 15, 16].

Injektorový způsob tryskání

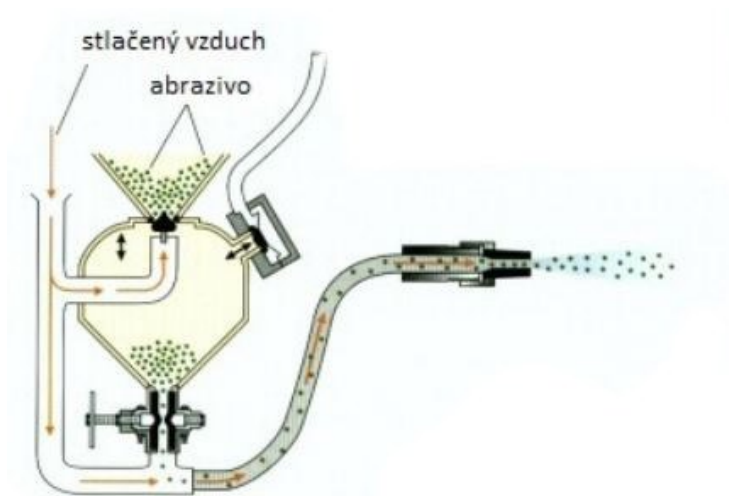
Při injektorovém způsobu je do tryskací pistole přiváděn stlačený vzduch, který má za následek vznik podtlaku ve vzduchové komoře s abrazivním materiálem. Podtlak pak způsobuje nasávání tryskacího materiálu do abrazivzdorné hadice a následně do tryskací pistole, kde je smísen se stlačeným vzduchem a dále usměrněn a urychlen pomocí trysky na výstupu tryskací pistole. Schéma injektorového zařízení pro pískování je zobrazeno na obr. 3 [14].



Obrázek 3 Schéma injektorového způsobu tryskání pro pískovací zařízení [14]

Tlakový způsob tryskání

Při tlakovém tryskání je abrazivo smícháno se stlačeným vzduchem již v tlakové nádobě. Tryskací materiál je pak vháněn pod tlakem přes regulační ventil ve spodní části nádoby, kde dále pokračuje abrazi vzdornou hadicí do koncové trysky, kde je urychlen a usměrněn. Princip tryskání pro pískovací zařízení je schematicky nakreslen na obr.č.4. Pro tento druh tryskání se dají použít větší a těžší abraziva než u injektorového způsobu. Příkladem může být ocelová nebo litinová drť a granulát, sekaný drát apod. [14].



Obrázek 4 Schéma tlakového způsobu tryskání pro pískovací zařízení [14]

Tryskací pneumatické zařízení se dělí podle samotné konstrukce na dvě základní provedení: tryskací boxy a mobilní tryskací jednotky.

U tryskacích boxů probíhá tryskací proces v uzavřené kabině či boxu. Díky tomu je dosažena dobrá hygiena práce hlavně v případě pískování. Pracovník není vystaven nebezpečí vdechnutí jemných prachových částic a nemusí používat ochranných pomůcek. Použité abrazivo po dopadu na povrch součásti propadá roštem umístěným ve spodu tryskací boxu a je

následně proudem vzduchu unášeno zpět do tryskací jednotky. Tento proces je označován jako rekuperace abraziva a je používán ve všech typech tryskacích kabin [14].



Obrázek 5 Tryskací box [14]

Mobilní tryskací zařízení tvoří pojízdný kompresor, hadice a tryskací pistole. Používají se nejčastěji pro tryskání v terénu, na rozměrných konstrukcích a stavbách. Díky své příznivé ceně a velikosti nachází své uplatnění také v domácnostech pro tryskání zdí, plotů, starých nátěrů a omítek. Jejich nevýhodou je však špatná hygiena práce a nevyhovující ekologie, obsluha je vystavena nebezpečí vdechnutí prachových částic a je nucena používat ochranné pomůcky. Nedochází zde také k rekuperaci abraziva. Lze ale tryskat i ve speciálních tryskacích komorách, které snižují ekologický dopad tryskání na okolní prostředí a v určitých případech mohou disponovat i rekuperací abraziva. V dnešní době se mobilní tryskací jednotky používají hlavně u tryskání pomocí zvlhčeného abraziva a tryskání vodou, jelikož tyto způsoby umožňují bezprašné tryskání [14,16].



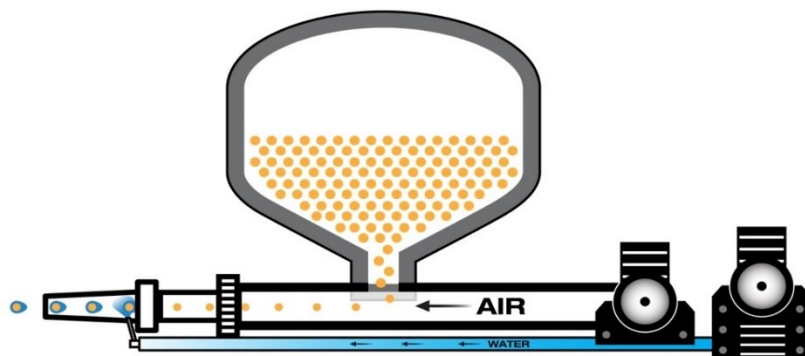
Obrázek 6 Mobilní tryskací zařízení Spritzboy [14]

3.3.1.1. Mechanické tryskání

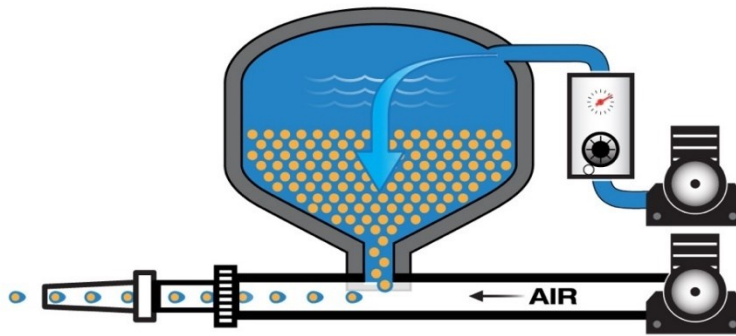
Při mechanickém tryskání je na povrch součástí pomocí pneumatického systému vrhán proud abrazivních částic. Nejčastěji se používá křemičitý písek, lze ale použít i jiné typy abraziv, jako např. ocelové kuličky nebo drť, litinu, karbidy, sklo, strusku, plasty a skořápky ořechů. Při tryskání, hlavně při použití křemičitého písku, vznikají prachové částice a obsluha je tak nucena používat ochranných pomůcek. Tryskání se nejčastěji používá pro čištění odlitků před povrchovou úpravou, např. před lakováním. Tryská se převážně v tryskacích boxech či kabinách, které zamezují unikání prachu do okolí. Lze použít také mobilní tryskací zařízení, nicméně pro jejich špatnou hygienu práce a ekologii jsou dnes, hlavně v průmyslové sféře, používána spíše mobilní tryskací zařízení pro tryskání zvlhčeným abrazivem či vodním paprskem [14, 15, 22, 28].

3.3.1.2. Tryskání zvlhčeným abrazivem

Při tomto druhu tryskání je současně s abrazivem přiváděna i tlaková voda, která způsobuje zvlhčení abraziva. Velkou výhodou tohoto tryskání je výrazné snížení prašnosti, proto se používá převážně u mobilních tryskacích zařízení. Tryskání zvlhčeným abrazivem také poskytuje rovnoměrnější proud abraziva než u klasického tryskání, kde je proud tvořen pouze abrazivními částicemi. To má za následek rovnoměrnější otryskání povrchu součástí. Zvlhčování abraziva se může provádět různými způsoby. Abrazivo se může zvlhčovat na vstupu do trysky, jak je vidět na obr. 7, další možností je pak zvlhčování abraziva přímo v zásobníku. Tento způsob je znázorněn na obr. 8. Existují i kabiny pro tryskání zvlhčeným abrazivem, které umožňují rekuperaci tryskacího média [13, 23].



Obrázek 7 Schéma tryskacího stroje pro tryskání zvlhčeným abrazivem [13].



Obrázek 8 Schéma tryskací kabiny pro tryskání zvlhčeným abrazivem [13].

3.3.1.3. Tryskání vodním paprskem

Tryskání vodním paprskem, nebo také tryskání vodou, využívá jako abrazivo vodu pod vysokým tlakem. Pro tryskání se používají tlaky od 450 bar až do 3000 bar (45 MPa až 300 MPa). Menší tlaky vodního paprsku se používají zpravidla pro odstraňování starých nátěrů, omítek, graffiti, čištění armatur a fasád, pro čištění komunikací apod. Při použití nižších tlaků nedochází zpravidla k poškození základního materiálu. Vyšší tlaky se pak používají např. pro odstraňování korozních produktů na ocelových konstrukcích, při sanačních pracích na konstrukcích z betonu, pro přípravu betonového podkladu, čištění výrobních a strojních dílců apod. Od hodnoty použitého tlaku se odvíjí účinnost procesu tryskání, ale i cena tryskacího stroje. Vysoké tlaky vodního paprsku se mohou použít i k demoličním pracím na betonových konstrukcích (hydrodemolice) nebo k řezání materiálů. Tryskání vodním paprskem je také ekologicky nenáročné a i prašnost při tryskání je prakticky nulová. Mezi další výhody tryskání vodním paprskem také patří časová nenáročnost samotného procesu oproti ostatním běžně používaným druhům tryskání. Voda pro tryskání může být také ohřívána. Při teplotě vodního paprsku nad 100°C se hovoří jako o parním čištění [24, 25, 29].

3.3.1.4. Tryskání suchým ledem

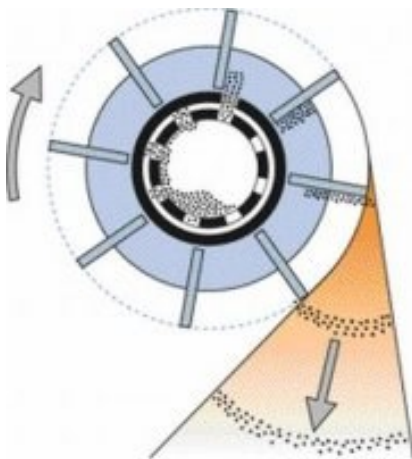
Při tryskání suchým ledem se používají pelety či granule suchého ledu, které jsou stlačeným vzduchem, o tlaku přibližně 16 barů, urychlovány a následně dopadají na povrch součásti. Suchý led vzniká expanzí kapalného CO₂ při teplotě okolo -53°C. Pelety suchého ledu se vyrábějí v tzv. peletizéru a jsou uchovávány v chladicích boxech (termoboxech). Tyto boxy jsou schopny udržet pelety v použitelném stavu až 7 dní. Při dopadu suchého ledu na povrch dochází k mechanickému narušení struktury nečistot na otryskávaném povrchu. Následně dochází k prudké změně teploty v místě dopadu. To má za následek narušení vazeb mezi usazeninami a povrchem a odpoutání nečistot. Při následné sublimaci suchého ledu dojde

k velkému nárůstu objemu (až 800 krát) a uvolněné nečistoty jsou pak následně sublimovaným plynem unášeny pryč z povrchu [10, 26, 27].

Výhodou tryskání suchým ledem je bezprašnost této technologie a její ekologie. Nedochozí zde k mechanickému narušování povrchu základního materiálu. Pelety suchého ledu také nejsou elektricky vodivé, tudíž se čištěné zařízení nemusí odstavovat z provozu a nemají ani korozní účinek na povrch otryskávané součásti. Nevýhodou toho typu tryskání pak může být nákladná pořizovací cena strojů, hlavně peletizérů, a horší skladovatelnost suchého ledu [26].

3.3.1.5. Metání abraziva

Při tryskání pomocí metání abraziva, v angličtině označovaná jako wheel blasting, získává abrazivo svoji kinetickou energii pomocí lopatek oběžného kola spojeného hřídelí s elektromotorem. Oběžné kolo má vnitřní a vnější část, jeho konstrukce je zobrazena na obr. 9.



Obrázek 9 Schéma metacího kola [19]

K vnější části jsou připojeny lopatky, zatímco na vnitřní části je oběžné kolo opatřeno dírami, které slouží pro usměrnění abraziva, které je přiváděno otvorem umístěným naproti středu oběžného kola. Nad tímto otvorem se nachází kontrolní objímka (control cage), která stejně jako otvor pro přívod abraziva není spojena s oběžným kolem a tudíž nevykonává rotační pohyb. Tato objímka vymezuje prostor, kde bude abrazivo přiváděno k lopatkám a ovlivňuje úhlovou polohu abraziva při opouštění lopatky. Toto je důležitý údaj pro nastavení požadované tryskácké stopy.

Tryskácká stopa je stopa, kterou při dopadu vytvářejí dopadající abrazivní částice. Místo s nejčastějším dopadem částic se pak nazývá hot spot (horké místo, pozn.), jelikož zde má povrch otryskávané součásti díky většímu množství dopadajících částic větší teplotu než v okolních místech. Při opuštění lopatky dosahuje abrazivo rychlosti okolo 75 ms^{-1} . Některé typy oběžných kol mohou mít dvoustupňové kontrolní objímky pro lepší usměrnění abraziva. Tyto kola nabízí například firma wheelabrator ve svých systémech ETA wheel [17, 18, 19, 20].



Obrázek 10 Tryskací stopa při různém nastavení rozvaděče abraziva [18]

Největší výhodou metání abraziva je vysoká účinnost tryskacího procesu. Tato technologie je vhodná zejména pro tryskání rozměrných dílů jednodušší konstrukce. Tryskání složitějších dílů vyžaduje více metacích kol, které jsou vůči sobě různě orientovány tak, aby se dosáhlo přístupu abraziva ke všem plochám součásti. Samotné tryskání metacím kolem lze velmi snadno automatizovat, je proto vhodné pro sériové, velkosériové a hromadné výroby. Tyto automatizované tryskací linky se velmi často používají v automobilovém průmyslu pro tryskání odlitků [18, 19, 21].

Nevýhodou tryskání pomocí metacích kol spočívá zejména v opotřebení lopatek. Jejich výměna je nákladnější a pracnější než v případě výměny trysky u pneumatického tryskání. Zároveň je pro metání možné použít jen určité typy abraziva, není například vhodné obecně používat ostrá a tvrdá zrna, která mohou snadno poškodit lopatku oběžného kola. Nedoporučuje se tak například používat ocelovou drť. Pořizovací cena strojů pro metání abraziva je také značně větší než u pneumatického tryskání, a proto není tento typ tryskání vhodný pro malosériovou výrobu. Ve větších výroбах pak vysokou cenu strojů kompenzuje účinnost a automatizace tryskacího procesu [19, 21].

3.4. Stupně čistoty při tryskání

Stupně čistoty otryskávaného povrchu se v Česku a Evropě obvykle hodnotí podle normy ČSN EN ISO 8501-1 (Norma pro přípravu ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků). Tato norma specifikuje stupně zrezavění a také stupně přípravy povrchu oceli před nanesením nátěrové hmoty. Stupně zrezivění jsou označovány velkým písmenem, stupně přípravy povrchu jsou pak označovány písmeny Sa a číslem dosaženého stupně. Stupně Sa jsou čtyři a jsou přidělovány na základě slovního popisu a porovnáním s reprezentativní fotografií [35, 36].

Stupně čistoty jsou definovány následovně:

- **Sa1 (lehké otryskání)** – „Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot stejně jako nepřilnavé okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé“ [36].
- **Sa2 (důkladné otryskání)** – „Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot a téměř žádné okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé“ [36].
- **Sa2½ (velmi důkladné otryskání)** – „Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okuje, rez, zbytky nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze ve formě skvrn nebo pásů“ [36].
- **Sa3 (vizuálně čistý ocelový povrch)** – „Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okuje, rez, zbytky nátěrů a cizích látek. Povrch musí vykazovat jednotný kovový vzhled“ [36].



Obrázek 11 B Sa 2 (důkladné otryskání). Písmeno B označuje stupeň zrezivění otryskávaného materiálu [35].

Pro tryskání vodním paprskem se používá norma ČSN EN ISO 8501-4. Ta popisuje pět výchozích stavů povrchu podle stupně zrezivění a také definuje slovním popisem a reprezentativní fotografií kvalitu povrchu po očištění. Kvalita je obdobně jako u normy ČSN EN ISO 8501-4 definována pomocí různých stupňů. Tyto stupně jsou tři a nesou označení Wa. Jejich slovní popis je následovný: [37]

- **Wa1 (lehké otryskání paprskem o vysokém tlaku)** – „Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje a mastnot, nepřilnavých nebo poškozených nátěrů, nepřilnavé rzi a ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a pevně přilnavé“ [37]
- **Wa2 (důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku)** – „Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje, mastnot a nečistot a většiny rzi, dřívějších nátěrů a ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a mohou obsahovat pevně přilnavé povlaky, pevně přilnavé cizí látky a stíny po dřívě se vyskytující rzi“ [37].

-
- **Wa2,5 (velmi důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku)** – „Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop koroze, oleje, mastnot, nečistot, dřívějších nátěrů a, kromě lehkých stop, všech cizích látek. Pokud byl původní nátěr neporušen, může povrch vykazovat barevné změny. Šedé nebo hnědočerné zbarvení pozorované v místech důlkové koroze nebo zkorodované oceli nemůže být dalším tryskáním vodou odstraněno“ [37].

4. Trysky pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem

Použití vhodné trysky pro konkrétní aplikaci může výrazně ovlivnit kvalitu otryskávaného povrchu. Od druhu použité trysky se pak rozlišují různé pracovní operace, například v závislosti na typu použité trysky je možné materiál řezat, čistit, při použití demoliční trysky pak odbourávat z konstrukce zvětralý beton apod. Je tedy nutné zvolit správnou trysku pro danou pracovní operaci. Volba trysky záleží také na použitém tlaku. Při tryskání vodním paprskem je možné se setkat s tlaky od 450 barů do 3000 barů a tomu je třeba uzpůsobit i typ trysky a zohlednit materiál, ze kterého je tryska vyrobena. Nejčastější jsou trysky ocelové, pro vyšší tlaky se pak používají trysky keramické, trysky karbidové nebo trysky z umělého diamantu.



Obrázek 12 Rotační tryska Masterjet HPS od společnosti HAMMELMANN [30]

Pojem tryska v tryskání vodním paprskem není přesně vymezen. Německý výrobce příslušenství pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem označuje jako trysku zařízení, které se připojuje na výstupní trubici tryskací pistole. V případě tzv. rotační trysky (*“Rotordüsen“* [30]) jsou ale použity ještě tzv. tryskové vložky (*“Düseneinsätze“* [30]) a právě ty slouží ke konečnému usměrnění vodního paprsku.

4.1. Druhy trysek pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem

Trysky pro vysokotlaké tryskání se vyskytují v nejrůznějších tvarových modifikacích. Je možné zde rozlišovat dva základní typy, trysky přímé a rotační. Podle tvaru vyústění trysky je pak možné rozlišovat tzv. Venturiho trysku.

4.1.1. Přímé trysky

Přímé trysky usměrňují vodní paprsek ve směru tryskací pistole. Podle způsobu usměrnění vodního paprsku se dělí na trysky s plochým paprskem a trysky s kuželovým paprskem. Samotné přímé trysky pak nesou od výrobců různé podnázvy podle oblasti jejich použití. Příkladem může být například demoliční tryska (hydro demolition nozzle). Tento název není definován žádnou normou, jedná se o název, který používají výrobci trysek či společnosti zabývající se vysokotlakým tryskáním. Demoliční trysky se používají převážně v oblasti hydrodemolice při odstraňování starého a zvětralého betonu ze stavební konstrukce pomocí vysokotlakého vodního paprsku [31,39].



Obrázek 13 Přímá tryska [31]

4.1.2. Rotační trysky

Rotační trysky jsou charakteristické tím, že při tryskání rotují kolem své osy. Rotace je způsobena nejčastěji vlastním tlakem vody při průchodu tryskou, ale existují i trysky poháněné elektromotorem. Pojem rotační tryska není jednoznačně definován normou, jedná se o označení od výrobců pro trysky výše zmíněných charakteristik. Rotační trysky mohou mít více otvorů nakloněných pod různým úhlem, jako např trysky od společnosti Hammelman (obr. 15). Ty v sobě mají umístěné otvory se závitem, do kterých se umísťují tzv. tryskové vložky ("Düseneinsätze" [30] pozn.). Celé těleso, které je zobrazeno na obr. 15, pak výrobce nazývá tryskou. Pojem tryska zde v podstatě neoznačuje trysku jako takovou, ale spíše tryskové těleso, ve kterém se proud vody rozvádí k jednotlivým tryskám (tryskovým vložkám). Výhodou těchto rotačních trysek je větší efektivita při tryskání (rotací se zvětšuje tryskací stopa) [29, 30].



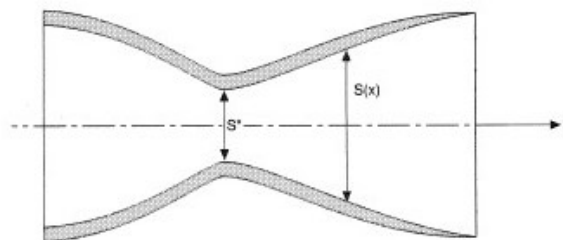
Obrázek 14 Rotační tryska od společnosti KARCHER [32]



Obrázek 15 Rotační tryska a tryskové vložky od společnosti HAMMELMAN [30]

4.1.3. Venturiho tryska

Konstrukce Venturiho trysky vychází z experimentů prováděných výrobcí trysek pro pískování v 50 letech minulého století, kdy se zjistilo, že daleko lepšího otryskání povrchu se dosáhne u trysky, kde se kanál po dosažení nejužšího místa začne rozbíhat. Tento typ byl nazván dle [33] jako “Venturiho tryska“. Je to v podstatě označení pro modifikovanou Lavalovu trysku (nebo také Lavalovu dýzu), která byla vynalezena C.G.P de Lavalem již v roce 1888. U Lavalovy trysky se obvykle počítá s plynem jako s proudícím médiem, u Venturiho trysky se pak obvykle jako proudící medium uvažuje proud abrazivních částic (např. písek při pískování) nebo voda u tryskání vodním paprskem. Právě v rozdílnosti použitého proudícího media, které významným způsobem ovlivňuje proudění v trysce, spočívá rozdíl ve tvaru mezi Venturiho a Lavalovou tryskou [33].

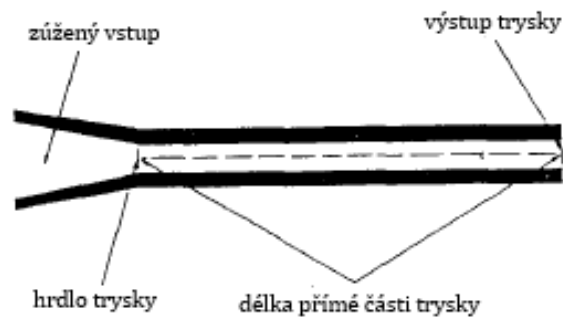


Obrázek 16 Lavalova tryska pro plynné médium [39]

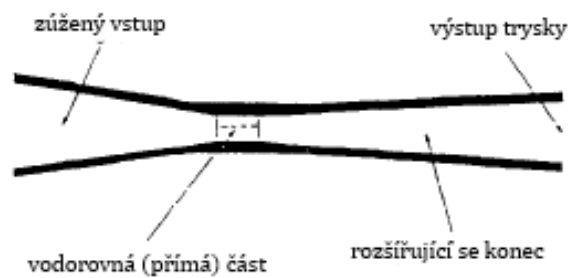
Lavalova tryska umožňuje na výstupu dosažení nadzvukových rychlostí, resp. rychlostí vyšších než je rychlost kritická tím, že na rozdíl od klasické konvergentní (zužující se) trysky dokáže využít ztracenou energii volné neřízené expanze plynu, která by se u konvergentní trysky ztratila do okolí. Lavalova tryska se skládá z konvergentní části, která se zužuje do kritického průřezu, a části divergentní (rozšiřující se), která se nachází za kritickým průřezem a usměrňuje

expanzi plynu. Konstrukce trysky je zobrazena na obrázku č. 16. Tento typ trysky nachází největší využití u raketových motorů, nicméně její přínos pro tryskání je obdobný [33].

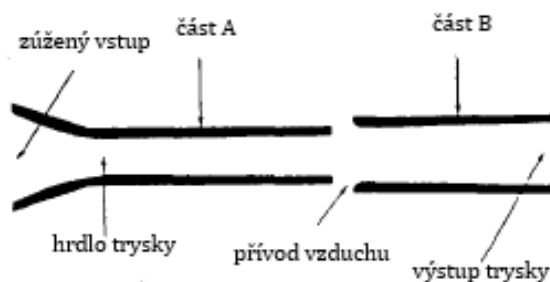
Venturiho tryska dosahuje oproti běžné trysce výrazně vyšší výstupní rychlosti a také dopad abrazivních částic je soustředěn více do středového bodu, tzv. hot spotu. Rozměry a tvar trysky je pro ideální výtok vhodné konfiguravit a navrhnout přesně pro daný typ použitého abraziva a jmenovitý tlak. [18, 33].



PŘÍMÁ TRYSKA



VENTURIHO TRYSKA



VENTURIHO TRYSKA S
DVOJITÝM ZAKONČENÍM

Obrázek 17 Porovnání konstrukce přímé a Venturiho trysky [33]

5. Návrh trysky pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem

Tryska, kterou se tato práce zabývá, by měla najít primární uplatnění při tryskání mostních konstrukcí. Při rekonstrukci mostních konstrukcí je nutné před nanesením nového nátěru důkladně očistit povrch konstrukce od korozních produktů a zajistit jeho dobrou přilnavost pro nátěrové hmoty. To vytváří nároky zejména na stupeň čistoty a drsnost povrchu. Proces tryskání mostní konstrukce pak vytváří požadavky na mobilitu tryskacího zařízení, dobrou hygienu práce a ekologii. Většina částí mostní konstrukce jsou dobře přístupné rovinné plochy, přesto se zde najdou i problematická a těžko přístupná místa, zejména úzké štěrby mezi jednotlivými profily. V takovýchto štěrbinách je velkým problémem dosáhnout požadovaného stupně čistoty na vnitřních plochách v celé její hloubce. Na trhu běžně dostupné trysky pro tryskání vodním paprskem (i trysky pro ostatní druhy tryskání) nejsou pro tuto operaci uzpůsobeny a výsledný povrch po tryskání pak často v těchto místech nesplňuje požadavky pro nanesení nátěrových hmot. Cílem praktické části této bakalářské práce je navrhnout takovou trysku, která by usnadnila tryskání problematických štěrbin.

Tryska byla navržena pomocí poznatků získaných z rešeršní části bakalářské práce a pomocí výsledků z experimentálního ověření metod tryskání na mostě pod Vyšehradem.

5.1. Experimentální ověření metod tryskání na mostě pod Vyšehradem

11.7-12.7 2019 proběhlo na mostě pod Vyšehradem experimentální ověření metod tryskání. Cílem projektu bylo ověřit možnosti odstranění koroze a starých nátěrových hmot na mostní konstrukci, zejména z obtížně dostupných míst [38]. Návrh trysky pak vychází z poznatků získaných z tohoto projektu.

Tryskání vodním paprskem bylo provedeno společností Bintana s.r.o. Mimo tryskání vodním paprskem byly odzkoušeny také metody tryskání pomocí křemičitého písku, tryskání kovovým abrazivem a mechanické předúpravy pomocí ručních elektrických nástrojů (řezný kotouč, vrtací kladivo, pila ocaska) [38].

Tryskání vodním paprskem bylo provedeno na třech různých zkušebních místech. Jednalo se o následující problematické části mostní konstrukce: [38]

- Neprůchozí štěrbina v diagonále
- Neprůchozí štěrbina uvnitř diagonály s těžkým přístupem
- Štěrbina nad dolním pasem

Štěrbiny jsou znázorněny na fotografiích v obrazové příloze.

5.1.1. Tryskání vodním paprskem

Zkušební místo č.1

Pro toto zkušební místo byla zvolena neprůchozí štěrbina v diagonále. Byla použita rotační tryska a jmenovitý tlak vodního paprsku 2300 bar. Pro vyhodnocení vnitřního povrchu štěrbiny byl použit průmyslový videoskop IPLEX G Lite. Fotografie zkušebního místa před a po tryskání a fotografie vnitřních stěn štěrbiny jsou v obrazové příloze [38].

Z fotografií pořízených z průmyslového videoskopu je možné dojít k závěru, že při použití rotační trysky došlo k lehkému očištění vnitřních stěn štěrbiny od starých nátěrových systémů a neulpělých korozních produktů. Ve větší hloubce štěrbiny jsou patrné zbytky korozních produktů. Dle slovního popisu stupně přípravy podle ČSN EN ISO 8501-4 lze otryskanou plochu klasifikovat stupněm Wa1 [38].

Zkušební místo č.2

Pro druhé zkušební místo byla zvolena štěrbina nad dolním pasem. Tryskání bylo provedeno rotační tryskou o jmenovitém tlaku vodního paprsku 2300 bar. Pro vyhodnocení vnitřního povrchu štěrbiny byl použit průmyslový videoskop IPLEX G Lite. Fotografie zkušebního místa před a po tryskání a fotografie vnitřních stěn štěrbiny jsou v obrazové příloze [38].

Z vyhodnocení povrchu na základě fotografií je patrné, že došlo k lehkému očištění ploch štěrbiny od starých nátěrových systémů a neulpělých korozních produktů. Očištění bylo v určitých místech (dno štěrbiny) provedeno až na základní materiál, avšak pouze jen při správném natočení trysky a směru proudění vodního paprsku kolmo na tryskaný povrch. Na stěnách štěrbiny došlo pouze k lehkému očištění (nemohlo zde dojít k vhodnému natočení vodního paprsku) a je tedy zřejmé, že úhel natočení samotné trysky zvyšuje účinnost tryskání. Velmi kvalitního otryskání bylo dosaženo do hloubky štěrbiny 140 mm, kde je možné povrch kvalifikovat dle ČSN EN ISO 8501-4 stupněm Wa2,5. Dále ve větší hloubce byl povrch štěrbiny otryskán na stupeň Wa1 [38].

Zkušební místo č.3

Třetím zkušebním místem pro tryskání vodním paprskem byla neprůchozí štěrbina uvnitř diagonály s těžkým přístupem. Pro tryskání byla použita demoliční tryska o jmenovitém tlaku 2300 bar. Tryska byla postupně natočena do tří poloh (kolmo a pod úhlem k tryskanému povrchu). Pro vyhodnocení byl použit stejně jako v předešlých případech videoskop IPLEX G Lite. Fotografie zkušebního místa jsou přiloženy v obrazové příloze [38].

Při použití demoliční trysky došlo k výraznějšímu otryskání vnitřních stěn štěrbin než v předešlých případech (kde byla použita rotační tryska). K výraznější účinnosti pomohla nejenom samotná tryska, ale i změny polohy při tryskání. Stejně jako v předešlém případě, i zde byla kvalita otryskaného povrchu závislá na vzdálenosti a orientaci předupravované plochy od ústí trysky. Dle ČSN EN ISO 8501-4 lze povrch štěrbin po tryskání charakterizovat stupni od Wa2,5 po Wa1 [38].

5.1.2. Vyhodnocení tryskání vodním paprskem

Tryskání vodním paprskem přináší výhody v podobě ekologie metody (bezprašnost), nízké ceně abraziva a časové nenáročnosti samotné metody (v porovnání s ostatními druhy mechanické předúpravy povrchu). Bohužel v případě tryskání ocelových konstrukcí vodní paprsek nedosahuje požadovaného stupně předúpravy na všech plochách. Zejména plochy vzdálené od kraje štěrbin více jak 140 mm nesplňovaly požadavek na kvalitu povrchu pro následné nanesení nátěrových hmot (Wa2,5). Při tryskání vodním paprskem hrálo významnou roli samotné natočení paprsku. S tím souvisí i tvar samotné trysky, tedy vhodná úprava a volba trysky může vést k lepší kvalitě předupravovaného povrchu. Lepšího otryskání dosáhla tryska demoliční oproti trysce rotační.

5.1.3. Tryskání křemičitým pískem a ocelovým abrazivem

Při tryskání křemičitým pískem došlo k otryskání na pěti zkušebních místech. Polohy míst byly obdobné jako při tryskání vodním paprskem. Jako tryskací prostředek byl použit křemičitý písek o velikosti zrna 0,8 až 1,2 mm. Kvalita otryskávaného povrchu byla lepší než v případě použití samotného vodního paprsku. Na některých místech došlo k otryskání na stupeň Sa2,5 až Sa3, tedy odpovídající stupeň kvality pro následnou aplikaci nátěrových hmot. Zároveň bylo dosaženo i příznivé hodnoty drsnosti, která zaručuje dobrou přilnavost nanášených nátěrových hmot. Je ovšem nutné podotknout, že příznivé kvality povrchu bylo dosaženo jen do hloubky 230 mm od okraje pásnice. Byla odzkoušena i kombinace tryskání vodním paprskem a křemičitým pískem, kdy došlo nejprve k otryskání štěrbin vodním paprskem a následně křemičitým pískem. Výhodou tohoto postupu byla převážně časová nenáročnost a dobrá ekologie práce tryskání vodním paprskem. Samotný vodní paprsek ovšem nedokáže vytvořit požadovaný stupeň čistoty pro následné nanesení nátěrové hmoty. V kombinaci s tryskáním s křemičitým pískem se ovšem dosáhlo příznivého stavu povrchu z hlediska čistoty povrchu i drsnosti. Tryskání vodním paprskem zde sloužilo k odstranění hrubých nečistot, korozních

produktů a starých nátěrů. Následně otryskání křemičitým pískem vytvořilo vhodnou drsnost povrchu a zároveň bylo provedeno dočištění vnitřních ploch štěrbin [38].

Tryskání ocelovým abrazivem bylo provedeno na 2 zkušebních místech. Jako abrazivo byla použita ocelová drť o velikostech částic 0,8 až 1,6 mm. Při tomto tryskání došlo k velmi kvalitnímu otryskání štěrbin. Na většině míst byl vytvořen stupeň přípravy povrchu Sa2,5 až Sa3 a zároveň i příznivá drsnost povrchu. Došlo i ke kvalitnímu otryskání dna štěrbin. Výhoda této metody, oproti tryskání křemičitým pískem, spočívá ve větší hmotnosti abrazivních částic a tím i větší kinetické energii vrhaného abraziva [38]. Je však nutno podotknout, že místa otryskaná ocelovým abrazivem byla snadno přístupná, a i v případě křemičitého písku byla na dobře dostupných místech vytvořena požadovaná kvalita povrchu.

5.2. Návrh trysky

Při tryskání vodou se používají nejčastěji přímé nebo rotační trysky. Obojí bylo popsáno v kap. 4.1. Při experimentálním ověřování metod tryskání na mostě pod Vyšehradem bylo provedeno několik zkušebních otryskání problematických míst. Při tryskání pomocí vysokotlakého vodního paprsku byla použita rotační tryska a tryska demoliční (druh přímé trysky). Lepšího otryskání stěn bylo dosaženo v případě použití trysky demoliční. Toto je způsobeno tím, že pracovník může vodní paprsek z demoliční trysky snáze natočit do požadovaného místa a směru a tím dané místo otryskat s větší intenzitou. V případě rotační trysky pracovník nemá dostatečnou kontrolu nad výsledným směrem vodního paprsku, tudíž tak se nemůže zaměřit na specifická místa mostní konstrukce. Při tvorbě konstrukčního návrhu se vycházelo z přímé trysky, konkrétně se jednalo o demoliční trysku Hyjet od společnosti Falch, která byla následně modifikována pro snazší otryskání štěrbin mostní konstrukce.

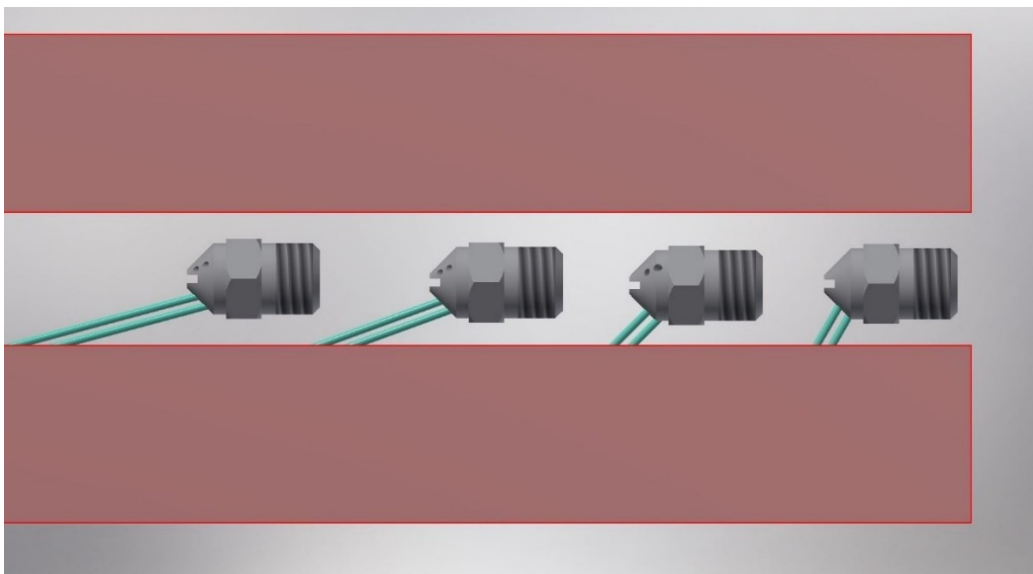


Obrázek 18 Demoliční tryska Hyjet od společnosti FALCH

5.2.1. Volba tryskových vývodů

Vodní paprsek u demoliční trysky vychází pouze jedním přímým směrem. Při prvním návrhu byla demoliční tryska upravena tak, aby obsahovala více vývodů, které by byly vůči sobě vzájemně orientovány pod určitým úhlem. Tím by docházelo k snadnějšímu otryskání vnitřních stěn štěrbiny. Díky více vývodům by byla štěrbina také otryskána na více místech zároveň, což by vedlo k větší efektivitě samotného procesu.

Dle závěru z tryskání mostní konstrukce pod Vyšehradem vyplývá, že nejlepšího otryskání se dosáhne, pokud je paprsek orientován kolmo na tryskanou plochu. Úhel bočních vývodu (uvažován jako úhel mezi osou trysky a osou vývodu) by tedy měl být v ideálním případě co nejkolmější. Čím větší ale bude úhel vývodů, tím hůře se bude vodní paprsek dostávat do vzdálenějších míst štěrbiny. Příliš velký úhel může mít také negativní dopad na bezpečnost práce (pracovník by mohl při špatné manipulaci zavadit o vodní paprsek a přijít k úrazu). Jako optimální kompromis mezi kvalitou otryskání, bezpečností a dobrým prostupem vodního paprsku do štěrbiny byl zvolen výtokový úhel 30° od osy trysky.

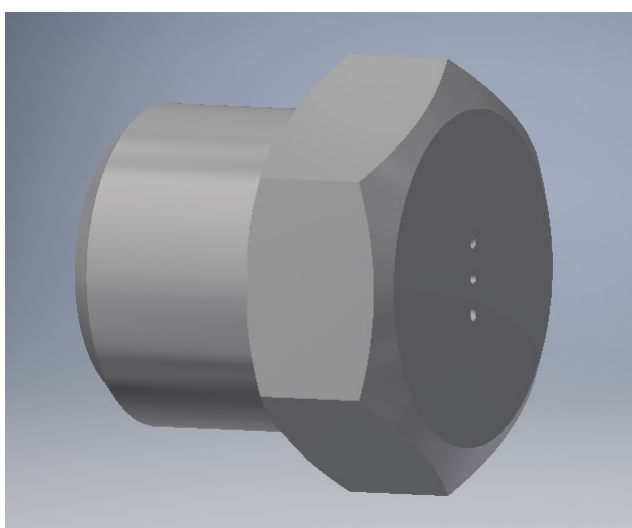


Obrázek 19 Trysky s různými úhly vývodů, zleva: 15° , 30° , 45° , 60°

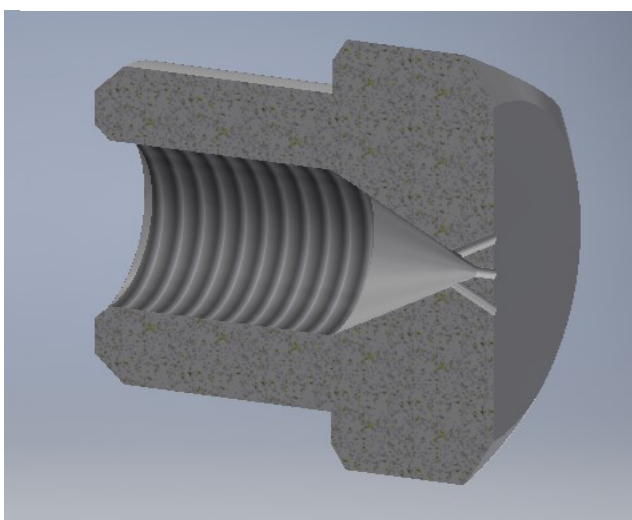
Čím větší je ovšem počet vývodů, tím nižší je výtoková rychlost kapaliny z trysky, jelikož vstupní objemový tok se rozdělí do více objemových toků na výstupu z trysky (celková výtoková plocha bude větší). Pokud uvažujeme ideální kapalinu a zanedbáme ztráty, je tato závislost přímo úměrná, tedy pokud bude tryska obsahovat 7 vývodů, bude výtoková rychlost 7x nižší než u trysky s jedním vývodem. Z toho důvodu byla zvolena pouze jedna dvojice vývodů pod výtokovým úhlem 30° a jeden výtok usměrňující vodní paprsek v přímém směru. Dvojice vývodů je vůči sobě vzájemně potočená o 180° , jelikož profil štěrbiny tvoří dvě rovnoběžné pásnice.

5.2.2. Modifikace tvaru trysky

Návrh trysky vychází z výše zmíněné demoliční trysky Hyjet. V první modifikaci byla tato tryska upravena tak, aby obsahovala dvojici vývodů pod výtokovým úhlem 30° a jeden přímý vývod. Tato tryska byla nazvána jako tryska krátká. Vnitřek krátké trysky se skládá ze tří částí: přímé vodorovné části, konvergentní části (zúžující se) a vývodů. Vodorovná část slouží k přívodu kapaliny do konvergentní části a je opatřena palcovým závitem $9/16''$ UNF-LH 2B, který slouží k připojení k tryskové pistoli. Konvergentní část má tvar kužele s vrcholovým úhlem 60° . V tomto místě dochází vlivem zúžení k poklesu tlaku a zvýšení rychlosti kapaliny. Urychlená kapalina je pak odváděna vývody ven z trysky. Průměr vývodů byl zvolen 0,8 mm.



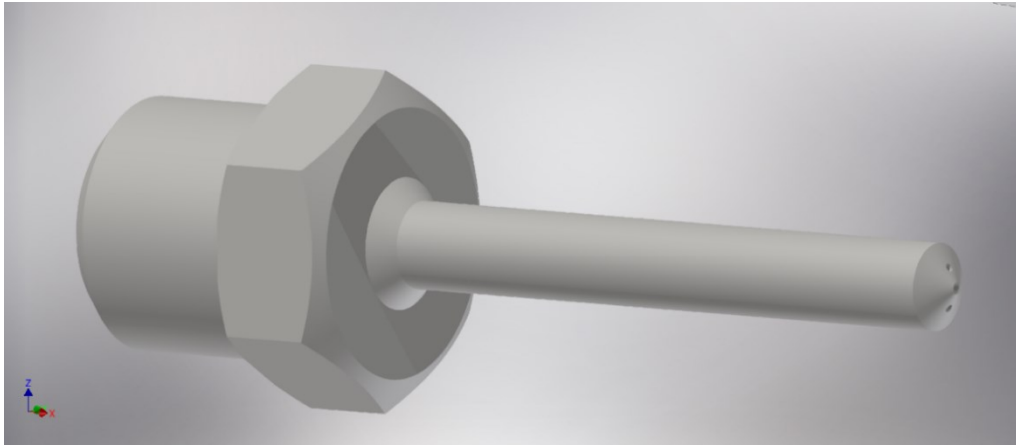
Obrázek 20 Tryska se třemi vývody, zobrazení v pohledu



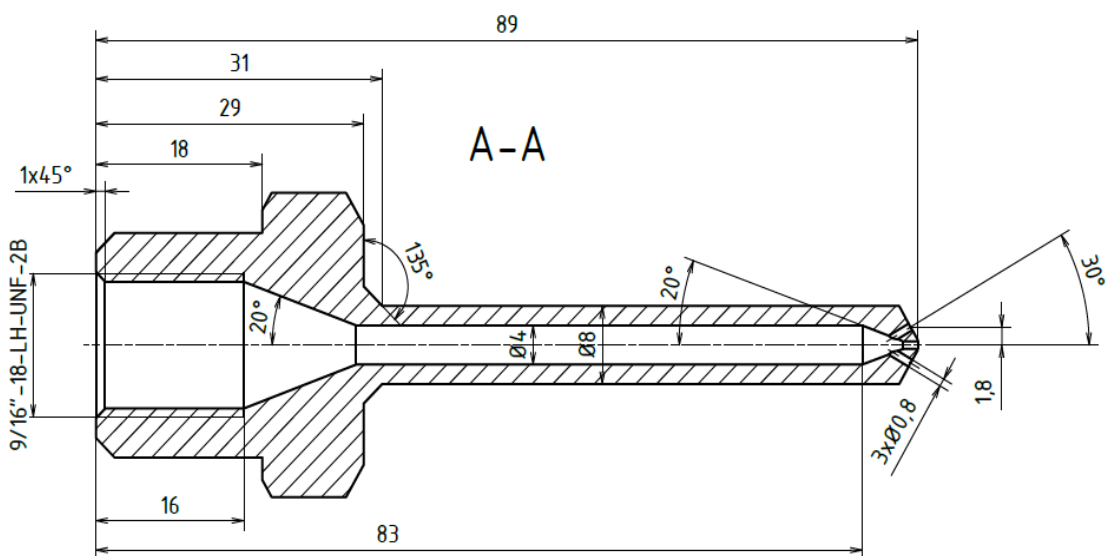
Obrázek 21 Tryska se třemi vývody, zobrazení v řezu

Při tryskání štěrbin je ovšem nutné dosáhnout vhodnou předúpravu povrchu v celé její hloubce. Některé štěrbin jsou příliš úzké na to, aby se tryska mohla dostat dovnitř štěrbin a pokud je štěrbin zároveň příliš hluboká, dochází k otryskání povrchu pouze do určité hloubky

od okraje. Při tryskání mostní konstrukce na Vyšehradě byl dosažen požadovaný stupeň předúpravy povrchu do cca 140 mm od okraje štěrbin. Vzdálenější místa již požadovaného stupně nedosáhla. Pro tyto druhy štěrbin bylo žádoucí trysku modifikovat takovým způsobem, aby mohla proniknout dovnitř štěrbin a následně spolehlivě otryskat i vzdálenější plochy. Tryska tak byla v další modifikaci prodloužena válcovou částí o délce 60 mm a vnějším průměru 8 mm. Ve válcové části je vnitřní průměr zmenšen na 4 mm. Tryska je vyobrazena na obr. č. 22, výkres součásti v řezu je vidět na obr. 23.

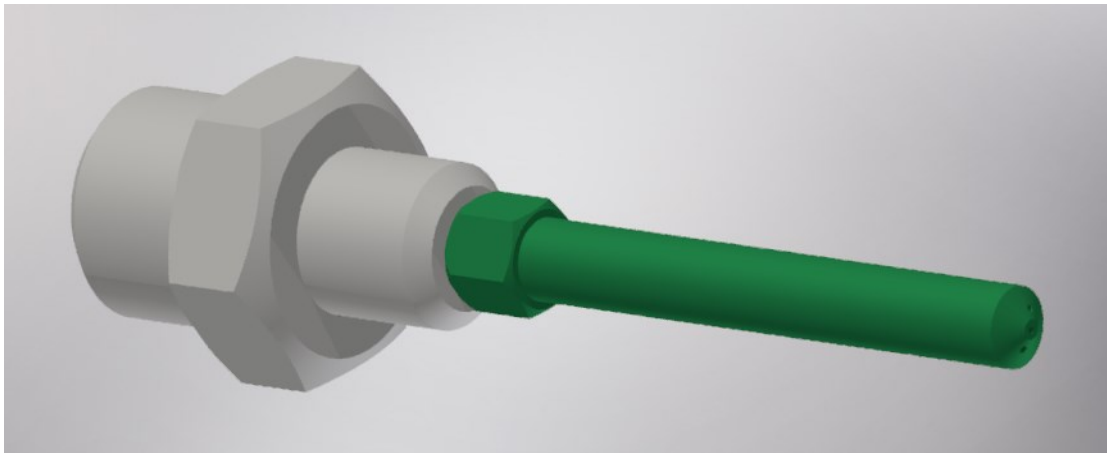


Obrázek 22 Dlouhá tryska, monolitní



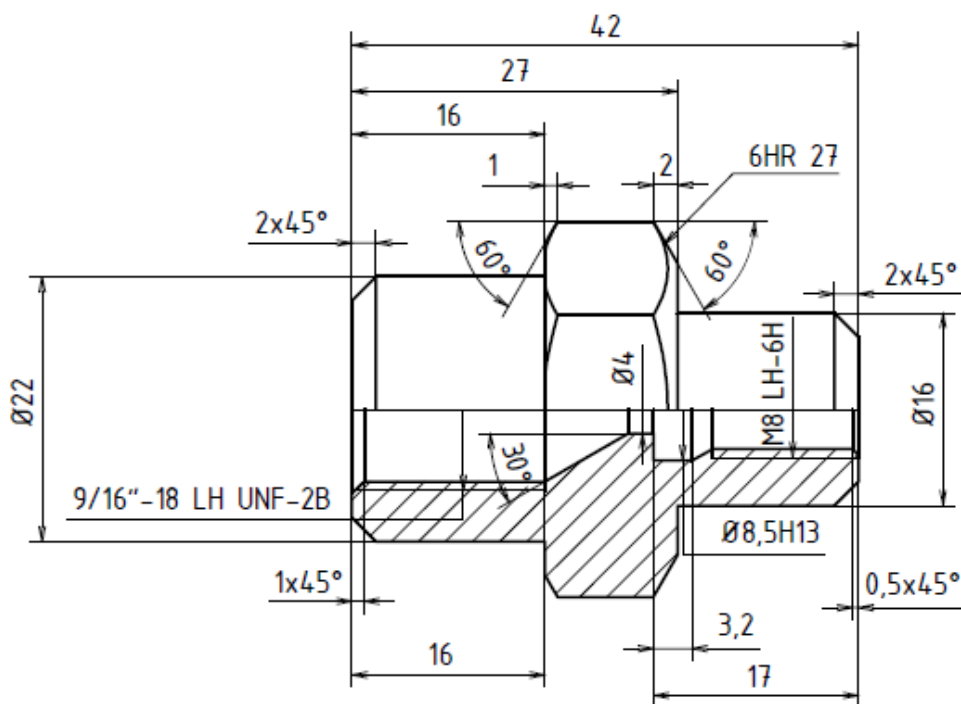
Obrázek 23 Výkres dlouhé trysky v řezu

V tomto řešení je ze všech částí trysky nejvíce namáhaná na otěr konvergentní část opatřená vývody a při její deformaci nad nežádoucí mez by bylo nutné vyměnit celou trysku, jelikož je tryska monolitní (skládá se z jednoho celku). Z toho důvodu bylo přistoupeno k řešení pomocí sestavení trysky ze dvou částí, nazvaných jako redukční část a trysková část. Trysková část je opatřena vývody, redukční část slouží k připojení tryskové části k tryskacímu zařízení. Tato varianta včetně obou částí je zobrazena na obr. 24.

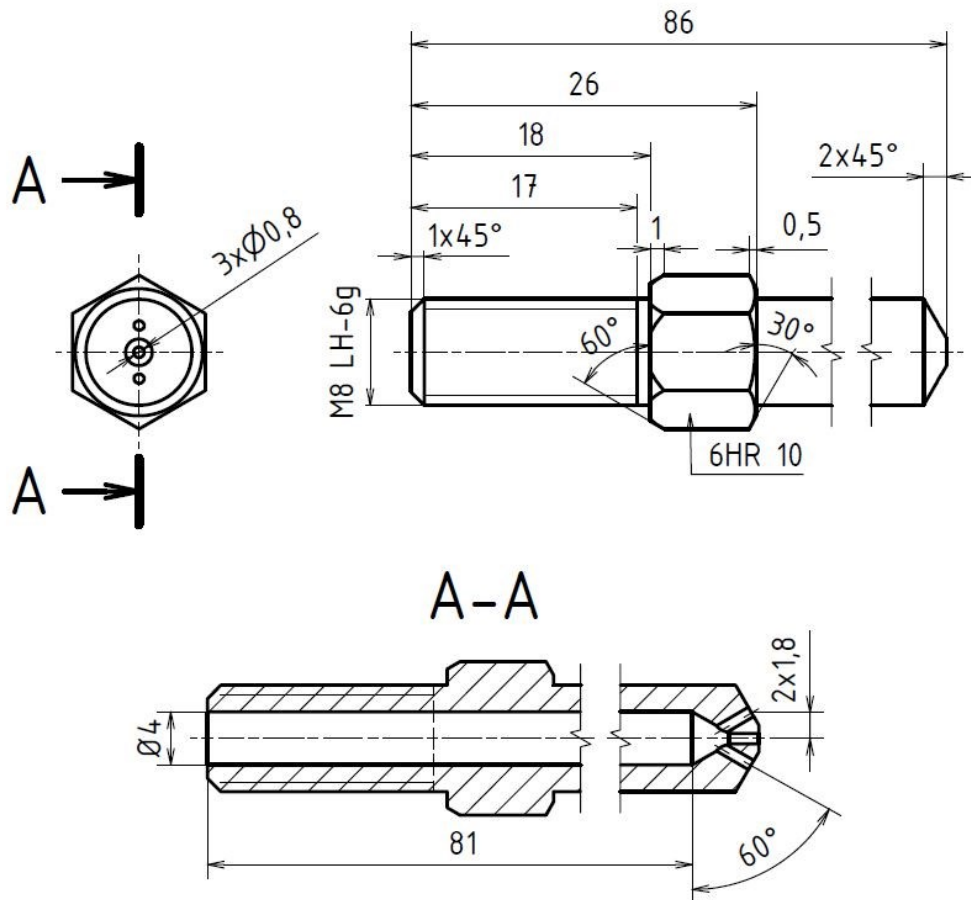


Obrázek 24 Trysková sestava, zeleně: trysková část, šedivě: redukční část

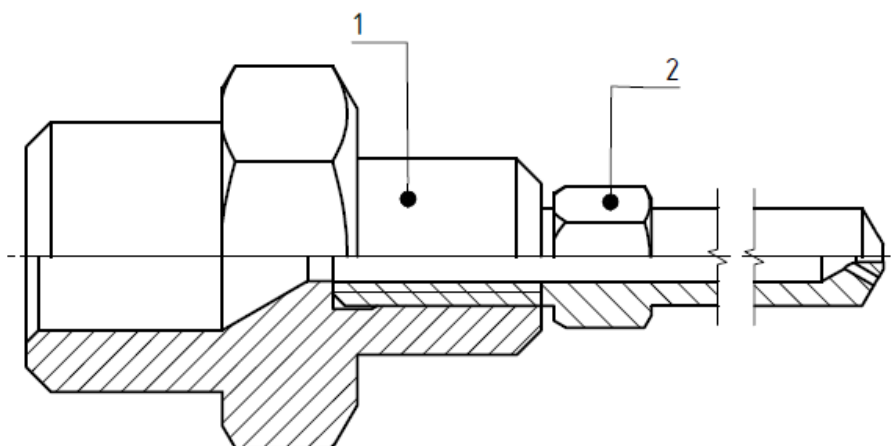
Tryskovou redukci tvoří konvergentní část a dva závity. Unifikovaný palcový závit 9/16" UNF-LH slouží k připojení redukce k tryskací pistoli, zatímco levotočivý metrický závit M8 slouží k připojení tryskové části. Pro snadnou montáž a výrobu závitu je redukční část opatřena drážkou pro vnitřní metrický závit normalizovanou dle ČSN 02 1037. Výkres redukční části je zobrazen na obr. 25 a výkres tryskové části na obr. 26. Celý výkres součásti je pak zobrazen na obr. 27.



Obrázek 25 Výkres redukční části



Obrázek 26 Výkres tryskové části



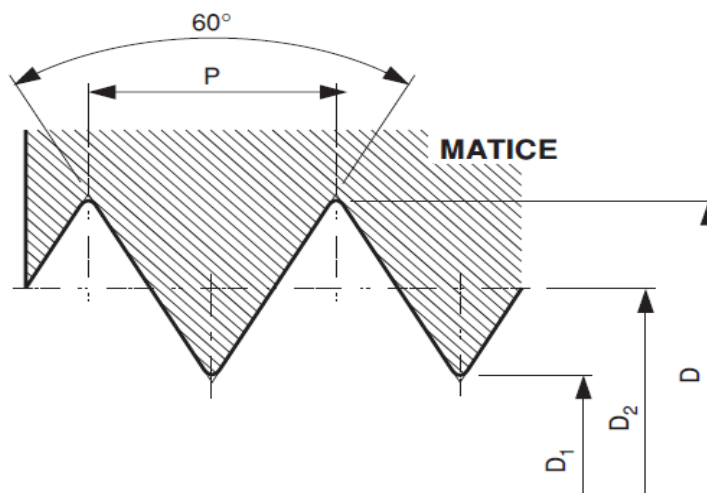
Obrázek 27 Sestava, 1-redukční část, 2-trysková část

Výhoda tohoto řešení oproti monolitnímu prodloužení trysky spočívá zejména v možnosti výměny tryskové části. Podle dané hloubky, popř. šířky štěrby, je možné našroubovat příslušně velkou tryskovou část. Dále lze předpokládat, že dříve dojde k opotřebení a výměně tryskové části než části redukční. Nebude tak nutné vyměnit celou trysku jako v případě trysky skládající

se z jednoho celku, ale pouze tryskovou část. Tryskovou část bude také možné vyrobit z odlišného materiálu než část redukční. Tím se sníží náklady na materiál trysky, jelikož redukční část bude namáhána na otěr méně než část trysková a bude zde možné použít méně otěruvzdorný materiál. Díky těmto faktorům je varianta konstrukce trysky pomocí sestavení ze dvou částí ekonomicky výhodnější než návrh trysky monolitní.

5.3. Montáž trysky

Protože návrh vychází z demoliční trysky Hyjet od společnosti FALCH, byl pro uchycení zvolen stejný závit jako na dodané trysce. Jedná se o levostranný unifikovaný palcový závit 9/16"-18 LH UNF 2B. Důvod použití tohoto závitu spočívá zejména v tom, že tryska s tímto závitem půjde našroubovat na tryskací příslušenství od výrobce FALCH, které používá společnost Bintana s.r.o, která provedla tryskání na mostní konstrukci pod Vyšehradem. Profil závitů je zobrazen na obr. 28. Parametry závitů jsou uvedeny v tabulce 2.



Obrázek 28 Profil unifikovaného palcového závitu [40]

Jmenovitý průměr [inch]	Počet závitů na palec	Velký průměr D2 [inch]	Velký průměr D2 [mm]	Stoupání [mm]
9/16"	12	0,563	14,288	2,11

Tabulka 1 Parametry unifikovaného palcového závitu [40]

5.4. Volba materiálu

Volba materiálu byla provedena pro sestavu trysky sestávající se z tryskové a redukční části. Pro každou část byl zvolen odlišný materiál, jelikož lze předpokládat, že redukční část bude na otěr namáhána méně než část trysková. Pro redukční část byla zvolena legovaná korozivzdorná ocel 17 042.2 dle ČSN EN 10020 (42 0002). Ocel je dobře obrobitelná a používá se pro otěruvzdorné strojní součásti vystavené korozivzdornému prostředí. Trysková část bude více

namáhána a má větší nároky na otěruvzdornost, proto pro ni byla zvolena vysokopevnostní legovaná ocel 16 532.4 dle ČSN EN 10020 (42 0002). Vlastnosti těchto ocelí jsou uvedeny v tabulce 2.

Označení dle ČSN	Mez pevnosti	Mez kluzu	Tvrдость
	R _m (MPa)	Re _{min} (MPa)	HB
16 532.4	min. 1570	1370	min. 462
17 042.2	800	490	max. 253

Tabulka 2 Vlastnosti zvolených ocelí [41]

Trysky pro vysokotlaké tryskání se také vyrábí z karbidu wolframu, který má vysokou tvrdost. Tryska z karbidu wolframu dosahuje větší životnosti než tryška ocelová, je však náročnější na výrobu. Jelikož je návrh trysky prototypem a tryška bude vyráběna obráběním z polotovaru, byl pro tryšku zvolen ocelový materiál, který se obrábí podstatně snáze než tvrdokovy. Pokud bude tryška v praxi odzkoušena a již nebude dále modifikována, lze předpokládat její finální výrobu z tvrdších materiálů, jako je např. karbid wolframu. Jedním z možných řešení by také bylo pro tryskové vývody, jako nejvíce namáhanou část tryšky, použít vysoce tvrdý materiál, např. safír nebo umělý diamant. Takový materiál by bylo ekonomicky nevýhodné použít pro celou tryšku, proto by tvořil pouze tryskové vývody. Toto řešení se vyskytuje např. u tryšky Hyjet od společnosti FALCH, která má tryskový vývod vyrobený ze safíru.

5.5. Technicko - ekonomické zhodnocení

V návrhové části bakalářské práce byly vytvořeny 3 návrhy tryšky pro vysokotlaké tryskání. Jako nejefektivnější návrh pro tryskání štěrbinou ocelové mostní konstrukce se jeví sestava složená z tryskové a redukční části. Oproti krátké tryšce se třemi vývody ji lze zasunout dovnitř štěrbinu a provést tryskání přímo uvnitř. Počet vývodů je stejný jako v případě krátké tryšky. Tryska krátká však bude dosahovat menších mechanických ztrát vlivem vazkého tření kapaliny o stěny tryšky, jelikož délka vnitřní části usměrňující kapalinu je výrazně kratší než v případě tryskové sestavy. Výroba bude také díky menším rozměrům jednodušší, rychlejší a levnější než v případě tryskové sestavy.

Dlouhá tryška je z hlediska efektivity tryskání srovnatelná s tryskovou sestavou. Při výrobě obráběním z polotovaru však dlouhá tryška bude dosahovat většího odpadu, než při výrobě redukční a tryskové části. U dlouhé tryšky je třeba jako polotovar zvolit šestihrannou tyč o velikosti 27 mm, přičemž nejmenší vnější průměr válcové části je 8 mm. Válcová část dosahuje

délky 60 mm. Redukční a trysková část se oproti tomu budou vyrábět ze dvou šestihranných tyčí různých rozměrů (27 mm a 10 mm), množství odpadu zde tak bude výrazně menší. Ekonomicky výhodnějším řešením je tedy použití tryskové sestavy namísto monolitní dlouhé trysky. Další výhodou je možnost použití tryskových částí různých délek, podle hloubky otryskávané štěrbin.

Trvanlivost trysek pro vysokotlaké tryskání dosahuje obvykle hodnoty 48 hodin při stálém provozu, je možné se však setkat také s kratší dobou trvanlivosti. Jelikož je trysková sestava nákladnější na výrobu než tryska krátká, jeví se jako neekonomičtější kombinovat dva typy trysek, např. kombinovat tryskovou sestavu s tryskou krátkou nebo s přímou tryskou běžně dostupnou na trhu. V praktické situaci by to znamenalo pro první tryskání použít trysku krátkou či přímou, tedy provést touto tryskou tryskání nahrubo a zbavit štěrbinu největších nánosů rzi a nečistot. Pro druhé tryskání (najemno) použít tryskovou sestavu s dlouhou tryskovou částí, která dokáže proniknout dovnitř štěrbin a provést tak detailnější tryskání vzdálenějších vnitřních ploch.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit návrh trysky pro vysokotlaké tryskání úzkých štěrbin mostních konstrukcí. V úvodní teoretické části bakalářské práce byla zpracována problematika čištění povrchů, zejména problematika mechanické úpravy povrchu s důrazem na technologii tryskání. Bakalářská práce v teoretické části shrnuje dostupné poznatky o problematice tryskání, jednoho z technologických procesů mechanické předúpravy povrchu, které se autor bakalářské práce věnoval.

V Praktické části bakalářské práce byly vytvořeny celkem tři návrhy trysky pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem, přičemž jednotlivé návrhy trysek byly vytvořeny s ohledem na závěry vyplývající z experimentálního ověření metod tryskání na mostě pod Vyšehradem, provedeném Fakultou strojní, Fakultou stavební a Kloknerovým ústavem Českého vysokého učení technického v Praze. V bakalářské práci bylo provedeno také technicko - ekonomické zhodnocení jednotlivých variant navržených trysek a jejich porovnání.

Jako technicky nejlepší byl zvolen návrh trysky jako tryskové sestavy, skládající se ze dvou částí, tryskové části a redukční části. Redukční část slouží k připojení tryskové části k tryskacímu zařízení od společnosti FALCH. Trysková část slouží k usměrnění vodního paprsku a k přiblížení vzdálenějších míst úzké štěrbině ocelové mostní konstrukce. Jako ekonomicky výhodné se jeví použít tuto tryskovou sestavu v kombinaci s první navrženou modifikací trysky s názvem krátká tryska, popřípadě s jiným druhem vysokotlaké přímé trysky. Pro návrh tryskové sestavy byl vytvořen návrhový výkres, který je obsahem přílohy bakalářské práce.

7. Seznam použité literatury

- [1] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-X.
- [2] PROCHÁZKA, Jiří. *Technologie slévání, tváření a svařování*. Dotisk. Praha: ČVUT, 1984.
- [3] BULÁNEK, Roman. *Povrchové jevy na pevných látkách* [online]. Univerzita Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014 [cit. 2020-04-14]. ISBN 978-80-7395-908-1. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/64787/BulanekR_PovrchoveJevy_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] *Upravy-povrchu.cz: Mechanické opracování* [online]. c2015 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.upravy-povrchu.cz/>
- [5] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 1999. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [6] *Lesteni.cz: leštění kovů* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.lesteni.cz/lesteni-kovu>
- [7] *E-konstrukter.cz: Drsnost povrchu* [online]. c2013-2017 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/drsnost-povrchu>
- [8] *Deprag.cz: Pneumatické nářadí* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.deprag.cz/pneumaticke-naradi/>
- [9] *Mpblast.com: Sandblasting history* [online]. c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: mpblast.com.au/sandblasting-history
- [10] *Sodian.at: Otryskávání suchým ledem* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.sodian.at/cs/postup/otryskavani-suchym-ledem-71.html>
- [11] BREZINOVÁ, Jannet, Anna GUZANOVÁ a Dagmar DRAGANOVSKÁ. *Abrasive blast cleaning and its application*. Switzerland: TTP, 2015. ISBN 978-3-03835-995-1.
- [12] SCHNEIDER, Steven. *Kramerindustriesonline.com: The History of Abrasive Blast Cleaning* [online]. 2018 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.kramerindustriesonline.com/the-history-of-abrasive-blast-cleaning/>
- [13] *Vapormatt.com: The History of Wet Blasting* [online]. 2013 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.vapormatt.com/news/history-wet-blasting>
- [14] *Pískovačka.cz: Co je pískování? Čím se pískuje?* [online]. 2016 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.piskovacka.cz/>
- [15] *Pekrmetax.cz: Tryskání* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.pekrmetax.cz/tryskani-piskovani.html>

- [16] *Tryskání-pískování.cz: Tryskání pískem-povrchový úprava materiálu* [online]. c2020 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: <https://www.tryskani-piskovani.cz/>
- [17] WENINO, Pat. Mechanical Finishing Q&A: Blasting Steel Parts to Clean and Profile for Coating Adhesion Specifications. GARDNER BUSINESS MEDIA, INC. *Products Finishing* [online]. 2016 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.pfonline.com/articles/mechanical-finishing-qa-blasting-steel-parts-to-clean-and-profile-for-coating-adhesion-specifications->
- [18] HESTON, Tim. The basics of wheel blasting: The fundamentals of wheel blasting for part cleaning and paint prepariton. *The Fabricator* [online]. 2013 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/finishing/the-basics-of-wheel-blasting>
- [19] *Manufacturingguide.com: Wheel blasting* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/wheel-blasting>
- [20] *Wheelebratorgroup.com: Innovation and Technology: Universal blast wheel. Wheelbratorgroup.com* [online]. c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.wheelebratorgroup.com/en-gb/innovation-and-technology/wheel-technology/universal-wheel>
- [21] *Trytech.cz: Tryskání metacími koly* [online]. 2017 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/o-tryskani/tryskani-metacimi-koly/>
- [22] *Forman-Beneš.cz: Tryskání* [online]. c2008 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.forman-benes.cz/tryskani>
- [23] *Graco.com: WHAT IS WET / VAPOR ABRASIVE BLASTING* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.graco.com/us/en/contractor/solutions/articles/what-is-wet-vapor-abrasive-blasting.html>
- [24] *Pressurejet.com* [online]. c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://pressurejet.com/>
- [25] *Chemwork.cz: Čištění vysokotlakým vodním paprskem* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.chemwork.cz/cisteni-vysokotlakym-paprskem>
- [26] *Ecostation.eu* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.eco-stations.eu/princip-metody/>
- [27] Výroba suchého ledu. In: *Suchy-led.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.suchy-led.cz/blog/vyroba-suchoho-ledu/>
- [28] *Pískování.cz: Technologie* [online]. c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://piskovani.cz/technologie/>
- [29] *Hammelman.cz: Vysokotlaký vodní paprsek* [online]. c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://hammelmann.cz/vysokotlaky-vodni-paprsek/>
- [30] *Industrielle Hochdruck-Anwendungssysteme*. Oelde: Hammelman, 2015, 64 s. Katalog produktů pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem.

- [31] Aqpumpy.cz: Rotační a přímé trysky [online]. c2000-2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.aqpumpy.cz/produkty/standardni-prislusenstvi/rotacni-a-prime-trysky>
- [32] Karcher-satter.cz [online]. c2017 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.karcher-satter.cz/e-shop/hobby/vysokotlake-cistice>
- [33] SEATTLE, G.S. a S. GARG. A Scientific View of The Productivity of Abrasive Blasting Nozzles. *Journal of Thermal Spray Technology*. 1996, **5**(1), 35-41. DOI: 10.1007/BF02647515.
- [34] Gamin.cz: Trysky [online]. c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/trysky-1/>
- [35] NEVĚČNÝ, Petr. Stupně přípravy ocelového podkladu dle ČSN ISO 8501-1 a podobných norem. *Povrchové úpravy* [online]. 2012, **2012**(2), 2-5 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: http://povrchoveupravy.cz/PDF/Nevecny_PU2.pdf
- [36] ČSN ISO 8501-1: Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu-Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků. Český normalizační institut, 1998.
- [37] GEIPLOVÁ, Hana. Mezinárodní normalizace v oboru povrchových úprav. *Povrcháři* [online]. 2008, **2008**(8), 8-12 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200808_povrchari.pdf
- [38] RYJÁČEK, Pavel, Jan KUDLÁČEK, Michal ZOUBEK a Jakub SVOBODA. Experimentální ověření metod tryskání a odstranění koroze na mostě pod Vyšehradem. Praha, 2019
- [39] POLAZHEV, Yury V. Nozzles. *Thermopedia* [online]. 2011 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://www.thermopedia.com/content/988/>
- [40] E-konstrukter.cz: Unifikovaný palcový závit UNF [online]. 2014 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/unifikovany-palcovy-zavit-unf>
- [41] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro pro školy technického zaměření*. 3. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.

8. Seznam obrázků

Obrázek 1 Jehlový oklepávač [8].....	12
Obrázek 2 Benjamin Chew Tilghman [9].....	13
Obrázek 3 Schéma injektorového způsobu tryskání pro pískovací zařízení [14].....	16
Obrázek 4 Schéma tlakového způsobu tryskání pro pískovací zařízení[14]	16
Obrázek 5 Tryskací box [14].....	17
Obrázek 6 Mobilní tryskací zařízení Spritzboy [14].....	17
Obrázek 7 Schéma tryskacího stroje pro tryskání zvlhčeným abrazivem [13].	18
Obrázek 8 Schéma tryskací kabiny pro tryskání zvlhčeným abrazivem [13].	19
Obrázek 9 Schéma metacího kola [19]	20
Obrázek 10 Tryskací stopa při různém nastavení rozvaděče abraziva [18]	21
Obrázek 11. B Sa 2 (důkladné otryskání). Písmeno B označuje stupeň zrezivění otryskávaného materiálu [35].	22
Obrázek 12 Rotační tryska Masterjet HPS od společnosti HAMELMANN [30].....	24
Obrázek 13 Přímá tryska [31]	25
Obrázek 14 Rotační tryska od společnosti KARCHER [32]	
Obrázek 15 Rotační tryska a tryskové vložky od společnosti HAMMELMAN [30].....	26
Obrázek 16 Lavalova tryska pro plynné médium [39]	26
Obrázek 17 Porovnání konstrukce přímé a Venturiho trysky [33]	27
Obrázek 18 Demoliční tryska Hyjet od společnosti FALCH	31
Obrázek 19 Trysky s různými úhly vývodů, zleva: 15°, 30°, 45°, 60°.....	32
Obrázek 20 Tryska se třemi vývody, zobrazení v pohledu.....	33
Obrázek 21 Tryska se třemi vývody, zobrazení v řezu	33
Obrázek 22 Dlouhá tryska, monolitní	34
Obrázek 23 Výkres dlouhé trysky v řezu.....	34
Obrázek 24 Trysková sestava, zeleně: trysková část, šedivě: redukční část.....	35
Obrázek 25 Výkres redukční části	35
Obrázek 26 Výkres tryskové části	36
Obrázek 27 Sestava, 1-redukční část, 2-trysková část.....	36
Obrázek 28 Profil unifikovaného palcového závitu [40]	37

9. Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry unifikovaného palcového závitu [40]	37
Tabulka 2 Vlastnosti zvolených ocelí [41]	38

10. Přílohy

Příloha č.1 -experimentální ověření metod tryskání a odstranění koroze na mostě pod Vyšehradem - tryskání vodním paprskem [38]

Fotografie neprůchozí štěrbiny v diagonále



Fotografie neprůchozí štěrbiny v diagonále s těžkým přístupem



Fotografie štěrbiny nad dolním pasem



Fotografie zkušebního místa č.1, zleva: před a po tryskání



Fotografie vnitřku štěrbin zkušebního místa č.1 po tryskání. Fotografie pořízená z videoskopu IPLEG G Lite.



Fotografie zkušebního místa č.2, zleva: před a po tryskání



Fotografie vnitřku štěrbinu zkušební místa č.2 po tryskání. Fotografie pořízená z videoskopu IPLEG G Lite.



Fotografie zkušební místa č.3 před tryskáním



Fotografie zkušební místa č.3 po tryskání



Příloha č.2 -Návrhový výkres trysky pro vysokotlaké tryskání.

1 2 3 4

A

A

B

B

C

C

D

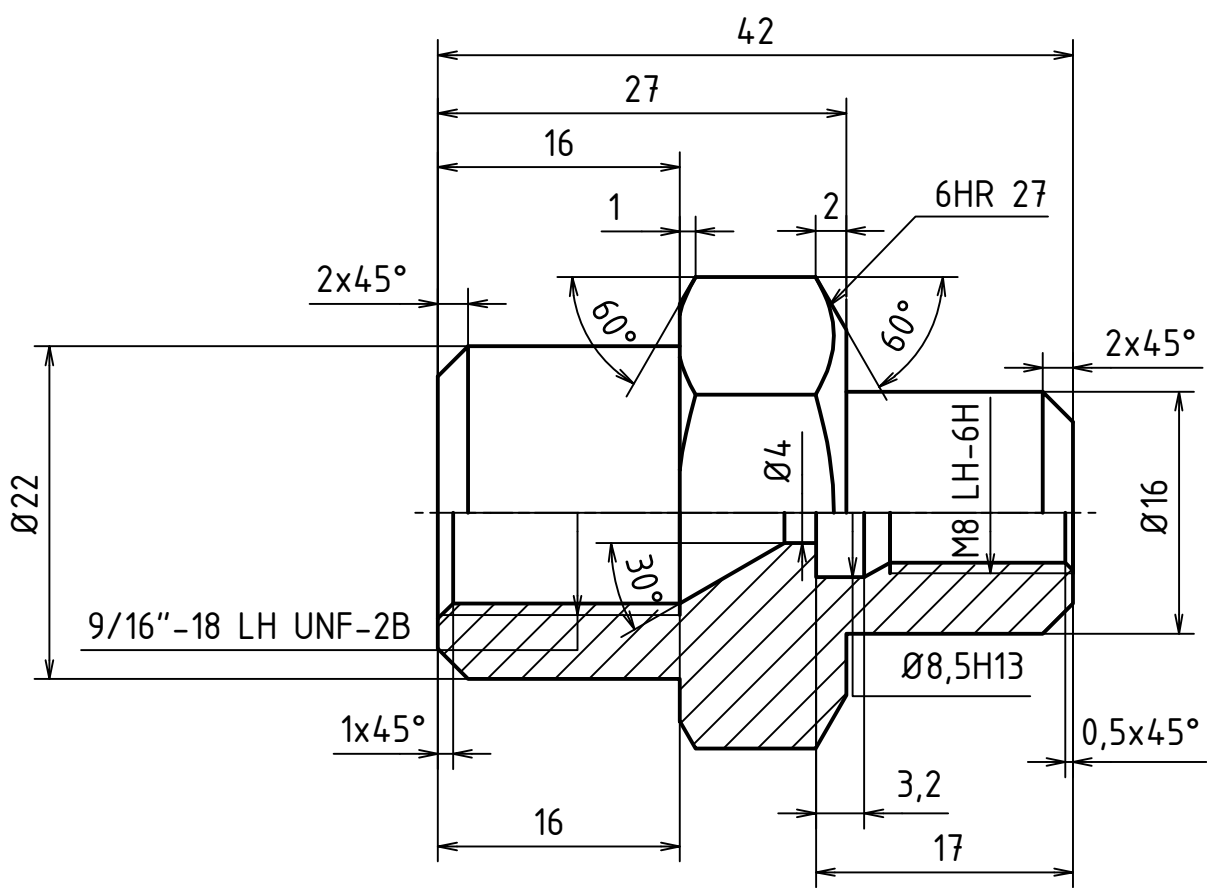
D

E

E

F

F



NAVŘHL	Autor Šinágl Viktor	Datum 27.6.2020	SCHVÁLIL	Podpis	Datum	HMOTNOST 0,100 kg	MĚŘITKO 2:1
--------	------------------------	--------------------	----------	--------	-------	-------------------	----------------

 <p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</p>	<p>FAKULTA STROJNÍ</p>	NÁZEV TRYSKA - redukční část	TYP:
		ČÍSLO VÝKRESU	

1 2 3 4

