



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ODSÁVACÍ ZAŘÍZENÍ MULTIPROFESNÍ HLAVY

EXHAUSTING DEVICES USED FOR MULTI PURPOSE MACHINING HEAD

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Stanislav Bajza

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Stanislav Bajza
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Odsávací zařízení multiprofesní hlavy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte in-procesní odsávací zařízení pro přímou a úhlovou multiprofesní hlavu s vestavným pohonem pro svislá obráběcí centra. Požadavky:

- odsávací zařízení musí odsávat z místa řezu,
- odsávání je určeno pro trvalý provoz,
- je určeno pro prach z kompozitů a další,
- musí být zohledněna nutnost automatické výměny nástrojů a hlav,
- celé zařízení musí zajistit, aby v pracovním prostoru byly dosaženy normované limitní hodnoty nečistot ***,
- nesmí omezovat pracovní rozsah stroje,
- navrhněte způsob a umístění potrubí vedoucí nečistoty,
- zástavbový prostor odsavače a vedení nečistot nejlépe nepřesahuje šířku smykadla,
- odsávací zařízení musí být nezávislé na orientaci nástroje (svisle/vodorovně),
- proveďte návrh konstrukčního řešení
- navrhněte výkon a parametry typy filtrace v závislosti na obráběném materiálu,
- přímá a úhlová multiprofesní hlava je související diplomovou prací.

*** parametry se mohou v průběhu řešení DP měnit.

Cíle diplomové práce:

Proveďte studii zadaného úkolu a navrhněte několik variant řešení. Vypracujte technické a technicko-ekonomické porovnání navržených variant, a proveďte výběr nejvýhodnější varianty. Proveďte nezbytné technické výpočty, simulace proudění atd. Dále pak vytvořte výkresy sestav vybrané varianty odsávacího zařízení a detailní výkresy dvou stěžejních součástí. Zpracování výkresů odpovídá normám a obecným požadavkům na technickou dokumentaci.

Postup činnosti:

- seznámení se se studovanou problematikou a literární rešerše zaměřená na studovanou problematiku,
- analýza současného stavu v oblasti procesního odsávání nečistot,
- realizace průzkumu mezi odbornou veřejností, praxe, prodejců hardware a dalších,
- vytvoření systému třídění a hodnocení parametrů, vytvoření tabulek dosažených parametrů (účinnost, čistota prac. prostoru atd.),
- vyhodnocení získaných poznatků,
- konstrukční zpracování,
- zpracování diplomové práce,
- diplomová práce obsahuje podrobný popis použitých strojních, mechanických a pneumatických komponent rovněž použitých metod a postupů,
- interpretace získaných podkladů a závěry, výkresová dokumentace.

Seznam literatury:

Janiček, P., Ondráček, E.: Řešení problémů modelováním. Téměř nic o téměř všem. FS VUT, Brno, 1998.

Marek, J. a kol: konstrukce obráběcích strojů III. MM Spektrum, 2014.

Dobřický J., Marek J., Novotný L.: Řízení podnikových znalostí. Brno: Akademie Sting, 2013. ISBN 978-80-87482-12-4

Dokumentace výrobců komponent obráběcích strojů.

Firemní podklady zadavatele diplomové práce.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh odsávacího mechanismu stroje TOSHULIN a.s. Zařízení je určeno k odsávání prachu vznikajícího při obrábění materiálů z uhlíkových vláken. Hlavním úkolem je návrh kinematického schématu vedení potrubí od filtrační věže na čelo smykadla tak, aby nebyly omezeny obráběcí schopnosti stroje. Dále návrh hubice, která bude sloužit k uzavření prostoru nad obrobkem.

ABSTRACT

This thesis deals with a design of exhaust mechanism used for a machine tool made by TOSHULIN a.s. The device itself is designed to extract dangerous dust that is produced while machining composite materials out of machine workspace. The main task lies in the design of kinematic scheme for tubing from filtration unit to the front of the ram without compromising the abilities and workspace of the machine. Following that it deals with the design of the end-nozzle used to seal the workspace around the workpiece.

KLÍČOVÁ SLOVA

Odsávací zařízení, multikriteriální analýza, odsávání z místa řezu.

KEYWORDS

Exhausting devices, multicriteria decisional analysis, exhausting from the cutting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BAJZA, S. Odsávací zařízení multiprofesní hlavy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě této diplomové práce. Zvláště pak vedoucímu práce panu Ing. Lubomíru Novotnému, Ph.D., za vstřícný přístup a cenné rady, které mi poskytl. Také bych rád poděkoval přítelkyni, rodičům a přátelům za podporu během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lubomíra Novotného, Ph.D., a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25.5.2016

.....

Bajza Stanislav

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	VÝROBCI NABÍZEJÍCÍ ODSÁVÁNÍ Z MÍSTA ŘEZU	18
3	HLAVNÍ ČÁSTI ODSÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ	19
3.1	Hubice odsávacího zařízení	19
3.2	Potrubí odsávacího zařízení	20
3.3	Sací ventilátor	22
3.4	Filtrace	22
4	ROZDĚLENÍ ODSÁVACÍCH JEDNOTEK.....	23
4.1	Odsávání mlhy procesní kapaliny	23
4.2	Odsávání prachu	24
5	OBRÁBĚNÝ MATERIÁL	25
6	VÝROBCI ODSÁVACÍCH JEDNOTEK.....	28
6.1	Nederman.....	28
6.2	Wemac	29
6.3	Ringler (Kärcher group).....	29
6.4	Urban technik.....	30
6.5	Extrot	31
7	PATENTOVÁ ŘEŠERŠE.....	33
8	NÁVRH POTRUBÍ	35
8.1	Návrh potrubí v ose Z	36
8.2	Návrh v ose X	42
8.3	Multikriteriální metoda hodnocení navrhovaných variant.....	46
8.3.1	Bazická bodovací metoda	46
8.3.2	Aplikace metody	48
8.4	Vybraný návrh potrubí.....	51
9	NÁVRH HUBICE.....	57
9.1	Volba používaných nástrojů	57
9.2	Hubice přímé hlavy.....	58
9.2.1	Flexibilní hubice přímé hlavy	58
9.2.2	Pevná hubice přímé hlavy	61
9.3	Hubice úhlové hlavy	63
9.3.1	Flexibilní hubice úhlové hlavy	64
9.3.2	Pevná hubice úhlové hlavy	66
9.4	Výběr hubice	67
10	VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT V POTRUBÍ	68
10.1	Volba filtrační věže.....	72
10.2	Množství odsátého prachu	74
11	ZÁVĚR.....	77
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
13	SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A ROVNIC	82
13.1	Seznam tabulek	82
13.2	Seznam obrázků	82

13.3	Seznam rovnic	85
14	SEZNAM PŘÍLOH.....	87
14.1	Seznam tištěných příloh	87
14.2	Seznam elektronických příloh	87

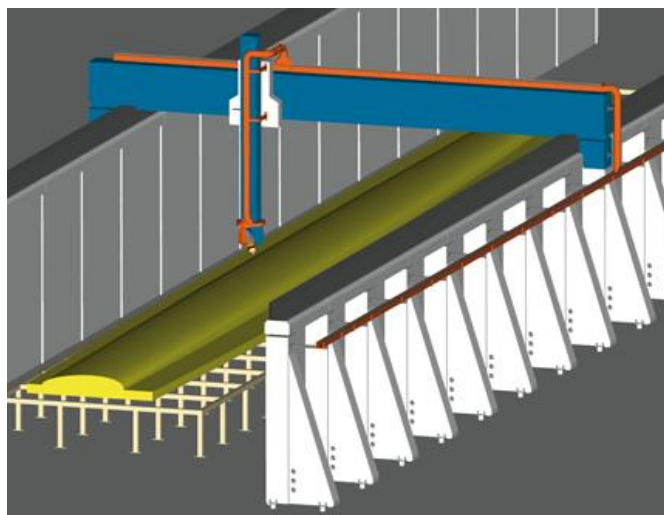
1 ÚVOD

Při obrábění materiálu dochází ke znečištění pracovního prostoru. Pokud je k obrábění používána procesní kapalina, může vznikat olejová mlha. K tomu dochází především při užití vysokotlakého chlazení. Olejová mlha se nachází při víření v celém pracovním prostoru. Snahou výrobců strojů je pracovní prostor uzavřít. Ovšem při otevření dveří se mlha vyskytuje i mimo uzavřený prostor a je zdraví nebezpečná. Cílem odsávání je tuto mlhu odsát z pracovního prostoru než dojde k otevření dveří. V dnešní době se používá odsávání z určitého místa pracovního prostoru (vybraný roh stroje). V případě, že je pracovní prostor velký a samotné odvádění by nedokázalo odsát celý prostor, využívá se vzduchových clon k řízenému proudění vzduchu (Obr. 1)[1].



Obr. 1) Vzduchová clona [1]

Další skupinou je odsávání třísek, prachu, pilin aj. vzniklých při obrábění materiálů. V tomto případě se pak již nedá, nebo jen velmi omezeně, odsávat z určitého bodu pracovního prostoru. Je tedy nutné se dostat s místem odsávání co nejblíže k místu řezu. V případě malého obrobku se může přiložit hubice, která je přichycena k obráběcímu stolu tak, aby neomezovala danou technologii obrábění. Tuto metodu využívá např. firma VALENDYN spol. s.r.o. při obrábění grafitových elektrod na svém tříosém stroji. V případě, když je obrobek velký, se hubice připojí k vřetenu stroje. Snahou je navrhnout vedení potrubí po stroji způsobem, který neomezuje kinematiku a rozjezdy stroje.



Obr. 2) Potrubí odsávání portálového stroje [2]

Cílem této práce, zadané firmou TOSHULIN, a.s., je navrhnout odsávací zařízení pro odsávání prachu vzniklého při obrábění materiálu z uhlíkových vláken. Při obrábění vzniká prašná tříska, proto je nutné odsávat přímo z místa řezu, aby byl pracovní prostor co nejméně znečištěn. Prach vzniklý při obrábění je potenciálně výbušný a zdraví nebezpečný, zejména při vdechnutí. Vzhledem k tomu, že se jedná o stroj s upínací deskou průměru 1600mm, je nutné vyřešit odsávání pomocí hubice umístěné na obráběcí hlavě. Danou problematikou se zabývá relativně málo firem, případně řeší odsávání způsobem popsaným výše, a to odsáváním z daného místa pracovního prostoru. Zbylé nečistoty se poté odsávají pomocí příručního odsavače.



Obr. 3) Odsávání pracovního prostoru z určeného místa [3]

Stěžejní část práce pak spočívá v návržení kinematického řetězce a koncové hubice odsávání. Odsávání se musí navrhnout tak, aby byly co nejméně omezeny pracovní schopnosti stroje. Řetězec by měl být navržen s ohledem na použití u všech řad strojů TOSHULIN a.s. V další části pak bude nutné navrhnout koncovou hubici, která by měla co nejlépe uzavřít prostor mezi nástrojem a obrobkem. Návrh bude proveden jak pro přímou obráběcí hlavu, tak i pro úhlovou. Bude se jednat o obráběcí hlavy připojené na smykadlo rozměru 240 mm x 240 mm. Snaha bude dodržet automatickou výměnu hlav a nástrojů. V poslední části pak bude proveden analytický výpočet ztrát v potrubí. Na základě toho se potom vybere vhodná odsávací jednotka.

2 VÝROBCI NABÍZEJÍCÍ ODSÁVÁNÍ Z MÍSTA ŘEZU

Na trhu najdeme několik firem, které nabízí podobnou variantu odsávání pracovního prostoru. Jedná se jak o výrobce celých obráběcích strojů, tak dodavatele jejich komponentů a jiných strojních součástí. Všechna nalezená řešení se relativně podobají. Většinou se jedná o stroje určené k odsávání prachu. Odsávání prachu z místa řezu je realizováno pomocí hubice, která při samotném obráběcím procesu uzavře prostor nad obráběným materiálem a odsává většinu prachu vzniklého při obrábění (Obr. 4). Vzhledem k faktu, že se jedná o poměrně ojedinělá zařízení, bude nutná patentová řešerše.

Název firmy	Stát
Breton	Itálie
Datron	USA
Jobs	Itálie
Belotti	Itálie
Bornemann	Německo
KraussMaffei	Německo

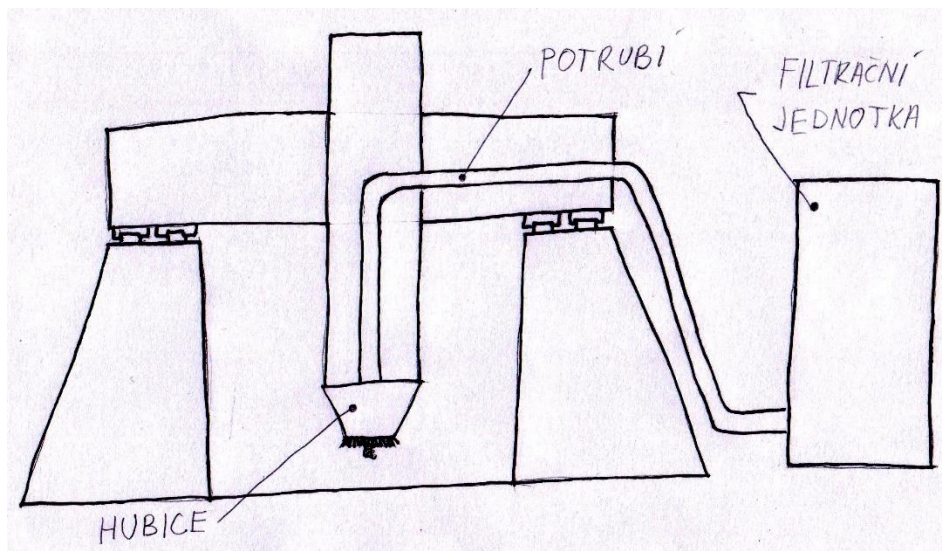
Tab 1) Výrobci nabízející odsávání z místa řezu



Obr. 4) Konstrukce hubice odsávání[4]

3 HLAVNÍ ČÁSTI ODSÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Celé odsávací zařízení je složeno z několika hlavních částí. Důležitou částí práce bude návrh hubice, která by měla zajistit odsávání z místa řezu, nesmí překážet při obrábění tvarových ploch a musí být zohledněna automatická výměna nástrojů a hlav. Další částí je potrubí vedené od hubice k filtrační jednotce nebo ventilátoru. Potrubí by nemělo omezovat pracovní prostor. Filtrační jednotka je poslední částí celého systému. Skládá se ze sacího ventilátoru a skupiny filtrů. Na obrázku 5 je náčrt uspořádání jednotlivých částí odsávání.



Obr. 5) Části odsávacího zařízení

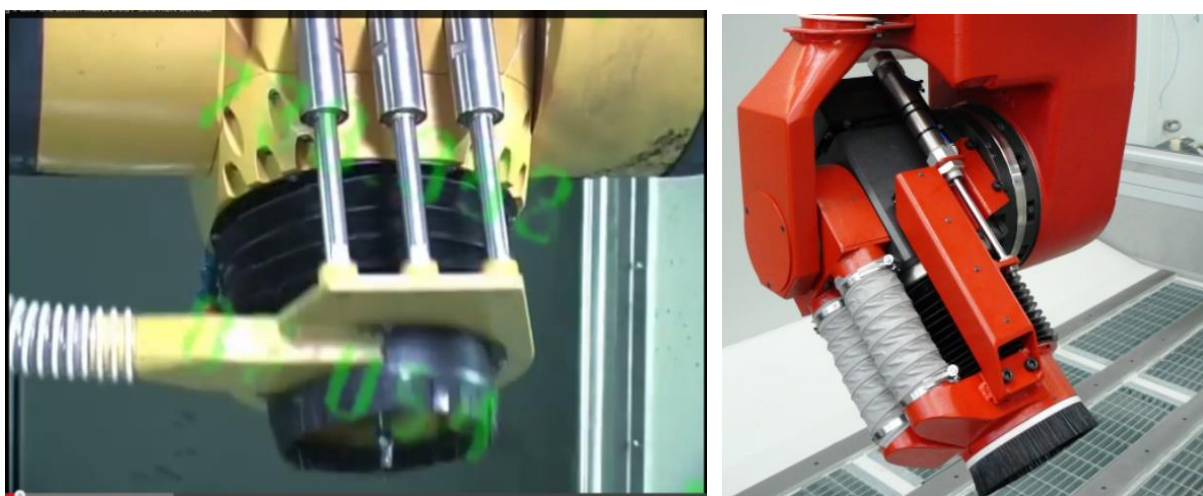
3.1 Hubice odsávacího zařízení

Na obrázcích jsou vidět návrhy různých zahraničních firem. Touto technologií disponují zpravidla více-osé obráběcí hlavy. Při konstrukčním návrhu této části je důležité, aby byla provedena patentová rešerše. Hubice by se měla přizpůsobovat obráběné ploše. Toho je možné dosáhnout pasivními prvky (přítlak pružinami) nebo aktivními (řízení elektronicky). Dalším požadavkem je automatická výměna hlav a nástrojů. Při obrábění není možné najet s plechovou hubicí přímo nad materiál, např. kvůli profilovanému povrchu. Proto bývá hubice na konci osazena kartáčem, který by měl uzavřít prostor mezi hubicí a materiálem, aniž by došlo k poškození povrchu obrobku.



Obr. 6) Ukázky hubic odsávání [5;6]

Na obrázku je vidět příklad řešení firmy Breton a Belotti, kdy dochází k odsávání přímo z místa řezu. Celá odsávací příruba se pohybuje pomocí válců (na obrázku 7 stříbrné písky). Prostor nad nástrojem je uzavřen pomocí manžety. Tímto řešením je umožněna i automatická výměna nástrojů. V obou případech se jedná o hlavy s řízenou osou naklápění.



Obr. 7) Hubice úhlových hlav [7;8]

3.2 Potrubí odsávacího zařízení

Potrubí u odsávacího zařízení by mělo vyhovovat danému prostředí. Pokud nebude krytované, jak je patrné z předešlých obrázků, může s ním dojít ke kolizi. Proto bude nutné potrubí navrhnout z odolného materiálu. Ovšem vzhledem k tomu, že nebudou v prostoru žhavé třísky, nemusí být z pancéřové hadice. Potrubí je nutno navrhnout tak, aby v něm nedocházelo k velkým ztrátám sacího výkonu, a aby někde nezůstávaly zachyceny nečistoty.



Obr. 8) Hadice odsávání: vlevo GREYFLEX, vpravo PVC hadice [9]

Na obrázku 8 je zobrazena flexibilní hadice GREYFLEX, zpevněná spirálovitě vinutou kostrou z ocelového drátu, která je určená pro mechanické větrací a klimatizační potrubí. Hadice slouží pro odtahy prachu a kouře. Je silně mechanicky odolná, dodávaná v šedé barvě. Standardní délka v balení je 10 m stlačeno na 1,15 m. Povrch hadice je tvořen z PVC vyztužen polyamidovou tkaninou[9].

V případě, že není nutné hadici axiálně stlačovat nebo natahovat a dá se napojit na stroj tak, aby neomezovala pracovní prostor, je výhodné použít levnější variantu hadic na obrázku vpravo. PVC hadice je ohebná a odolná vůči otěru i UV záření. Vysoká pružnost dává hadici velký potenciál mechanického využití, odolná proti atmosférickým vlivům a širokému spektru chemických látek[9].

Do další skupiny se dá zařadit pevné ocelové potrubí. Nejčastěji se používá tzv. spiro potrubí nebo válcované potrubí. To bývá vyrobeno i v hladkém provedení, nedochází v něm tedy k zachytávání nečistot jako je tomu u flexibilního potrubí. Potrubí se zpravidla zinkuje. Pokud není nutné jakákoli pohyblivost, používá se toto potrubí, protože je odolnější a levnější[10].



Obr. 9) Spiro-potrubí [10]

3.3 Sací ventilátor

Každý systém odsávání a filtrace musí mít ventilátor, který dopravuje vzduch s nečistotami k filtrům. Jedná se o lopatkové kolo, poháněné zpravidla asynchronním motorem. Kolo je uloženo ve spirálové komoře. Tvar komory a kola určuje vzniklý sací výkon. Firma Nederman disponuje obrovskou škálou ventilátorů a dmýchadel pro aplikace odsávání a filtrace. Používá se pro odsávání jednotlivých strojů nebo pro centrální systémy v továrnách o stovkách odsávacích míst.



Obr. 10) Odsávací ventilátor firmy Nederman [11]

3.4 Filtrace

Poslední částí celého odsávacího systému je filtrace a odloučení drobných třísek nebo prachu přes filtry. K tomu účelu je nutné použít skupinu filtrů. Nejprve jsou uloženy vícepropustné filtry a následně je vzduch čištěn jemnějšími filtry. Jako poslední skupina se používá tzv. hepafiltrů. Jsou to speciální filtry, které propustí částí min. velikosti $0,3\mu\text{m}$. HEPA filtr je jakési náhodné uspořádání vláken, z nichž některá jsou uhlíková. Podstatným parametrem je šířka těchto vláken, jejich vzájemná vzdálenost a tloušťka celého filtru.



Obr. 11) Různé typy filtrů [12]

4 ROZDĚLENÍ ODSÁVACÍCH JEDNOTEK

První rozdělení je na základě toho, jak odsávání probíhá. Zda se bude odsávat celý pracovní prostor z určitého bodu, nebo požadovaná varianta použitá na frézovací hlavě, kdy bude odsávání zprostředkováno přímo z místa řezu. Předpoklad tedy je, že konec odsávacího zařízení bude přímo na frézovací hlavě.

Odsávací jednotky lze dále rozdělit do dvou skupin podle toho, co potřebujeme z pracovního prostoru odsávat. Pro různé typy filtrace jsou určena různá zařízení podle toho, na jakém principu fungují a k čemu jsou určeny. Není možné vybrat univerzální jednotku pro odsávání jak prachu, tak mlhy z procesní kapaliny.

4.1 Odsávání mlhy procesní kapaliny

Jedná se o odlučovače olejových a emulzních aerosolů. Olejová mlha je odsávána z prostředí a přiváděna do odlučovače. Srdcem odlučovače je pak rotující buben s přesně navrhnutým tvarem lopatek, ve kterém dochází k odloučení kapek od vzduchu. Odloučené médium se shromažďuje ve sběrné nádrži. Proudící vzduch se vrací zpět do prostoru [13].



Obr. 12) Odlučovač olejových emulzí FiltermistXcel [13]

Pro náročnější operace a větší pracovní prostory se používají celé filtrační vícestupňové jednotky. Odsávaný vzduch je nasáván ve spodní části jednotky. V první části filtrace se zachytí většina odpadu. Po nasycení filtru začne médium stékat na dno, které je uzpůsobeno jako sběrná nádoba. Odpad buď samovolně oteče, nebo je odčerpán čerpadlem. Vzduch proudí dál přes druhý stupeň filtrace, kde se zachytí další větší částice. Posledním stupněm je již dříve zmiňovaný HEPA filtr. Poté je čistý vzduch vrácen zpět do prostředí [13].



Obr. 13) Vícestupňová filtrační jednotka Absolent [13]

4.2 Odsávání prachu

Jedná se o odsávání suchého materiálu, prachu z broušení, nebo jako v tomto případě odsávání prachu z uhlíkového kompozitu. Prach je nasáván pomocí ventilátoru přes jednu nebo více filtračních patron, přičemž ulpívá na jejich povrchu. Aby byla udržena průchodnost filtru, dochází pravidelně k jejich automatickému čištění, a to pomocí tlakového vzduchu z tlakové nádoby přímým silným zpětným profukem nebo pomocí výkonné rotační trysky. Cyklus profuku lze programovat. Tím se uvolní nanesený prach, který spadá do sběrné nádoby [13].



Obr. 14) Princip odsávání jednotky Oscar určené pro grafitový prach [13]

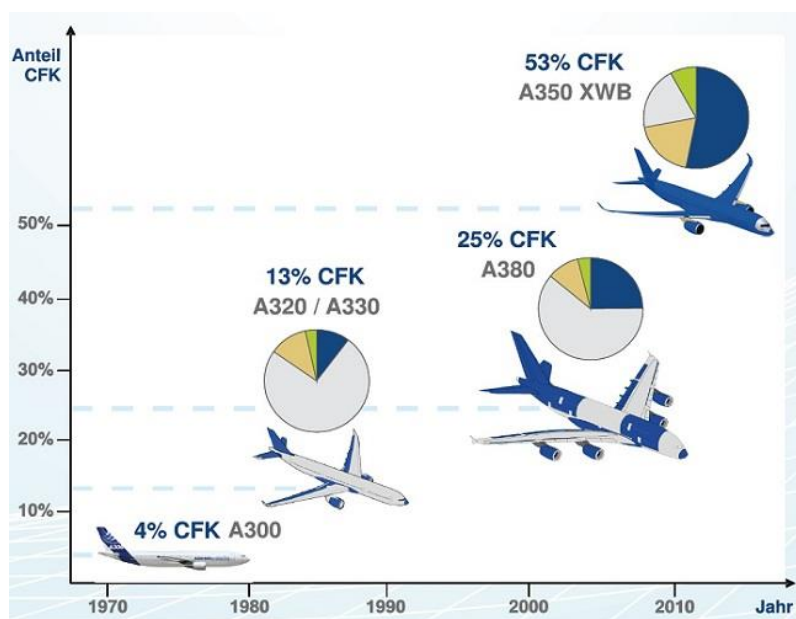
5 OBRÁBĚNÝ MATERIÁL

Frézovací hlavy mají být použity pro obrábění materiálů používaných v leteckém průmyslu. V letectví se nárokuje trend snižování hmotnosti a tím pádem používání nových materiálů. Důležitý faktor v tomto průmyslu je jakost povrchu. Díky tomu jsou na výrobce nástrojů kladeny velké nároky. Nástroje mají speciální povlaky i geometrii břitu [14;15].

Zaměříme se na materiál z plastu a uhlíkového vlákna (CFK). Při obrábění tohoto materiálu vzniká prашná, potenciálně výbušná tříska. Tento prach je při vdechnutí zdraví nebezpečný, proto musí být odsáván. Výbušnost materiálu se dělí do 3 skupin St1 – St3. Prach vznikající při obrábění uhlíkového vlákna, se řadí do skupiny St 2. Rozhodujícím faktorem řazení do skupin je hodnota K_{ST} . K_{ST} udává maximální přírůstek rychlosti nárůstu tlaku v počáteční fázi výbuchu (neboli $(dp/dt)_{max}$). Tuto složitě znějící definici lze za cenu určitého zjednodušení popsat též jako rychlost, jakou narůstá tlak při explozi (exploze má v počátcích zhruba tvar hyperboly). K_{ST} pak udává strmost této křivky. Čím vyšší je parametr K_{ST} , tím je prach nebezpečnější, protože jeho výbuch probíhá rychleji, razantněji a zpravidla (nikoliv vždy) dosahuje vyššího maximálního výbuchového tlaku [16].

SKUPINA VÝBUŠNOSTI	HODNOTA K_{ST} (Bar*m/s)
St 1	0 - 199
St 2	200 – 300
St 3	> 300

Tab 2) Skupiny výbušnosti materiálů [16]



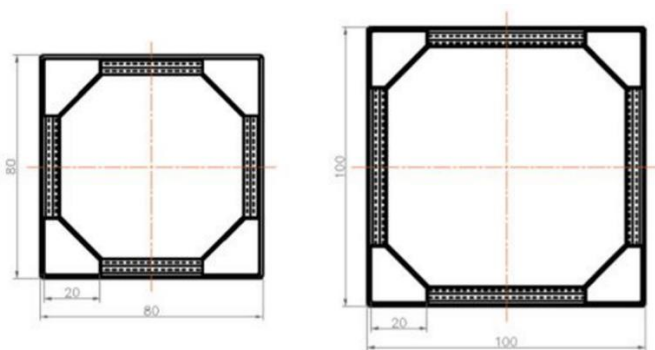
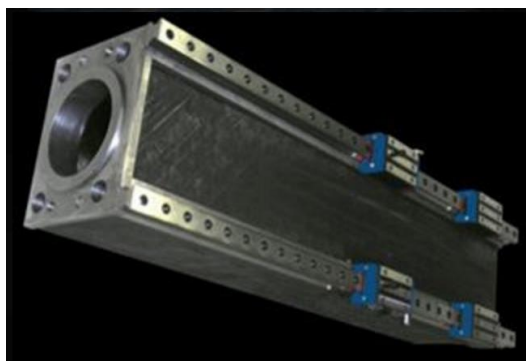
Obr. 15) Konstrukční podíl CFK ve vývoji letadel [16]

Uhlíková vlákna můžeme zatěžovat pouze tahovým napětím ve směru vláken. Proto se materiál skládá z matrice (platí aj.), do které se vkládají vlákna ve více vrstvách a pod různým úhlem, aby materiál odolával obecnému zatížení. Pro hospodárné a výkonné obrábění CFK byly vyvinuty a zkonstruovány speciální PKD nástroje. Jejich důmyslná konstrukce především zabraňuje delaminacím, vydírání a tepelným poškozením. Vlákná jsou velice lehká, snadno a čistě odřezána, nedochází k nežádoucím otřepům. Tyto frézy mají zcela novou geometrii a v kombinaci s deponovanou diamantovou tenkou vrstvou zaručují spolehlivé obrábění těchto materiálů. Chlazení kompozitu je ve většině případů nemožné z důvodu nasáknutí materiálu. Kompozitní materiály, jako například karbon, jsou velmi porézní. Olejové emulze zasychají a zůstávají v pórech kompozitu a následné lepení materiálů není možné. Pokud obráběcí proces vyžaduje chlazení v místě řezu, například z důvodu snížení pevnosti matrice v místě řezu, je možné použít chlazení vodou, speciálními roztoky, nejčastěji pak vzduchem [15].

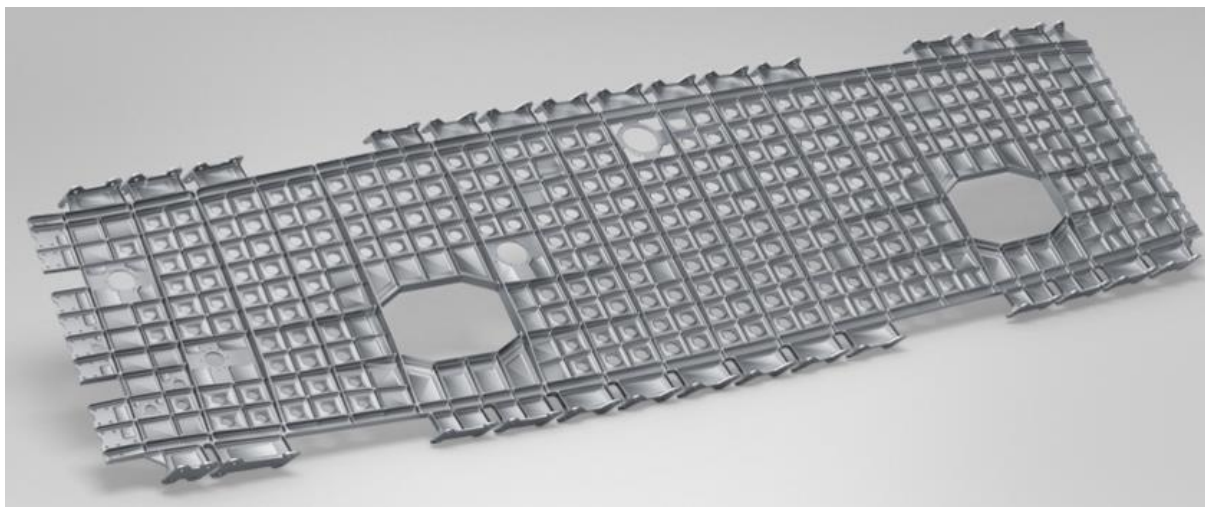


Obr. 16) Výroba výsledného materiálů díky spojování vláken a matrice [18]

Při výrobě polotovarů se výrobce vyhýbá plným průřezům, ale volí se různé tenkostěnné profily. Tělesa jsou tedy spíše skořepinového charakteru. Nedochází tedy k žádnému hloubkovému vrtání. Pro obrábění se používají frézy menších průměrů při vysokých otáčkách a malém úběru třísky. Compotech je českou firmou, která se zabývá výrobou kompozitových součástí v různých odvětvích. Jednou z nich je výroba nosných konstrukcí obráběcích strojů. Výhoda spočívala ve snížení hmotnosti, tím pádem ke zlepšení dynamiky a vlastností pasivního tlumení. Z obrázku 17 je patrné, že z kompozitu je nosná část smykadla, do kterého se vrtají otvory pro připevnění vodících lišt a jiných připojovacích součástí, které jsou již z oceli. V leteckém průmyslu jsou díly tvarově složitější, ovšem výsledný tvar se neobrábí, nýbrž se tvaruje do finální podoby již ve formě. Do hotového dílu se opět pouze vrtají připojovací díry a frézují dna kapes. Z důvodu nestability materiálu při frézování kapes a tvarů záleží na maximální procesní spolehlivosti. Na obrázku 18 je žebro křídla [19;20].



Obr. 17) Smykadlo z kompozitního materiálu firmy TOSHULIN a.s. [19]



Obr. 18) Žebro křídla letadla [20]

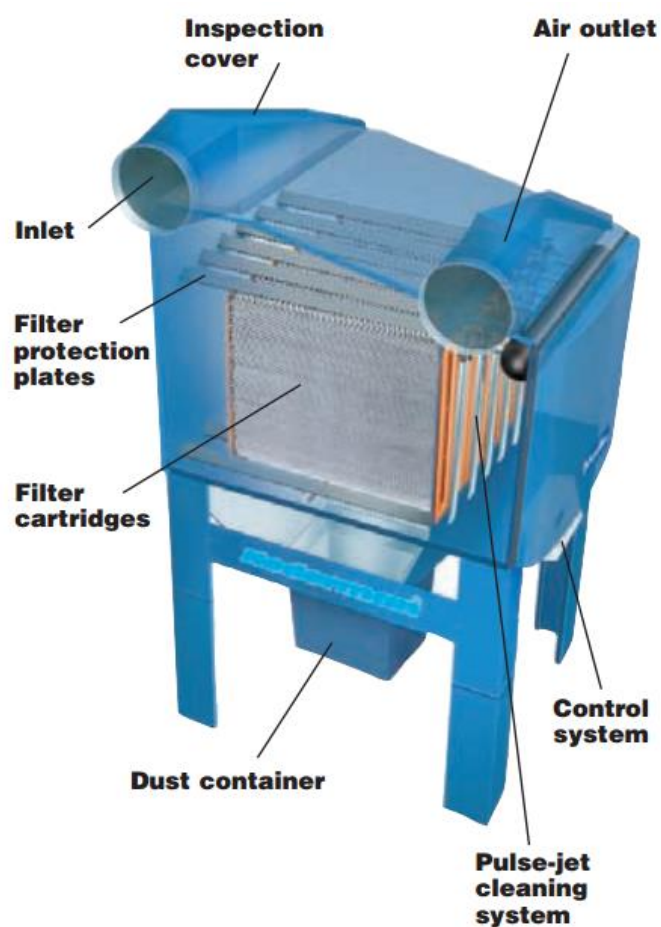
6 VÝROBCI ODSÁVACÍCH JEDNOTEK

I když málo výrobců obráběcích strojů neudává v nabídce možnost odsávání pracovního prostoru přímo z místa řezu, relativně hodně firem nabízí odsávací jednotky a různé příslušenství. Filtrační jednotky bývají patřičně rozměrné podle požadovaných výkonů. Ovšem přibližná výška všech je kolem 2-4 metrů.

6.1 Nederman

Jedná se o jednu z největších světových firem díky zastoupení v 60 světových zemích. Společnost byla založena ve Švédsku roku 1944 a stala se brzy světovou špičkou v oboru. Díky této dlouholeté tradici a zkušenostem se firma drží na světovém trhu stále vysoko [21].

Na obrázku je filtrační jednotka FilterMax DF 40 vhodná pro použití při odsávání prachu a nevýbušných látek. Dále je z obrázku zřejmé, jak vzduch s nečistotami prochází filtrační jednotkou. Díky patentové ochraně systému Pulse-jet dochází k automatickému čištění filtračních vložek. Dále jednotka obsahuje systém řízení, který obsluhu varuje v případě, když už jsou filtrační vložky poškozené a prochází přes ně velké množství prachu. Jednotka dosahuje v nejvyšší řadě s 18 filtračními kazetami hodnot průtoku vzduchu až $13000\text{m}^3/\text{hod}$. Další řešení je s 6 nebo 12 filtry. Ovšem s počtem filtrů se zvětšuje i velikost celé odsávací věže [21].



Obr. 19) Filtrační jednotka nederman FilterMax DF 40 [21]

6.2 Wemac

Je tuzemská firma zabývající se hlavně strojírenským průmyslem. V posledních letech ale rozšířili nabídku i o odsávací zařízení použité v chemickém průmyslu a při odsávání par. Firma nabízí, jak již bylo zmíněno dříve, více typů odsávacích zařízení, jak už pro odloučení emulze od vzduchu až po odsávací věže, které jsou schopny odsávat nevýbušný prach, páry a speciálně odsávání grafitu [22].

Na obrázku 20 jsou právě odsávací věže tohoto typu. Modulární koncepce systému umožňuje vytvářet sestavy pro libovolné množství vzduchu, a to i po určité době provozu. Kapacitu instalované jednotky lze snadno zvětšit přidáním dalšího modulu a výměnou ventilátoru. Filtrační věže jsou v řadách pro průtoky od 2000 m³/hod při výkonu ventilátoru 2,2kW, až po 20000 m³/hod, kdy je výkon ventilátoru 30kW. Díky tomu, že lze jednotku „vrstvit“ vedle sebe, může být v každé sekci použit jiný filtr, např. předfiltr pro odsávání horkých jisker, dále pro odsání zbylého prachu již jemnější filtrační kazety. Každá jednotka obsahuje frekvenční měnič pro řízení otáček ventilátoru a je robustně odhlučněna pro pohodlí obsluhy u stroje. Princip činnosti je následující – prach je pomocí ventilátoru se zvýšeným výkonem nasáván přes filtrační patrony. Ty se periodicky čistí, a to pomocí tlakového vzduchu z tlakové nádoby silným zpětným profukem. Tím se uvolní nanesený prach, který spadá do sběrné nádoby [22].



Obr. 20) Filtrační věže FPM [22]

6.3 Ringler (Kärcher group)

Firma Ringler spadá pod světovou firmu Kärcher se sídlem v Německu. Hlavní myšlenkou prvotních návrhů bylo „vyčistění“ pracovního prostoru od par vznikajících při svařování a třísek u obrábění. V dnešní době má firma svoji vlastní zkušební místnost kde simuluje dané podmínky pro odsávací zařízení [23].

Jednotka funguje na podobném principu jako předešlé, také je speciálně určena k odsávání prachu vzniklého při obrábění uhlíkového vlákna a jiných jemných částic. Čili dokáže odsávat výbušný materiál. Filtrační vložky obsahují hliníkové zábrany. Systém každých 20 sekund v provozu čistí vibracemi kazety. Prach padá do připravené nádoby o objemu 100l. Předními dvířky viditelnými na obrázku se vyměňují filtrační kazety. Bohužel se mi nedařilo dohledat sací výkon dané jednotky, ale výkon motoru je 11 kW a hluk dané jednotky 75dB [23].



Obr. 21) Odsávací jednotka RE 301 D 11 [23]

6.4 Urban technik

Firma se zpočátku zabývala čištění prostředí v dřevozpracujícím průmyslu. Dnes se ovšem věnuje i jiným větvím průmyslu, výrobě stálých i mobilních zařízení [24].

Filtrační jednotky firmy URBAN Technik jsou určeny pro odsávání mechanických nečistot, třísek, prachů, vznikajících při třískovém obrábění nebo broušení kovů, slitin, umělých hmot, skelného laminátu, desek na bázi cementu, přírodního i umělého kamene, keramiky a dalších podobných materiálů bez příměsí chladících nebo mazacích kapalin, uplatnění najdou také v potravinářských provozech a dalších odvětvích [24].

Vzhledem k tomu, že se mi nepodařilo dopátrat k informacím, na jakém principu fungují odsávací věže ani výkony, nebudu o produktech této firmy při návrhu uvažovat.

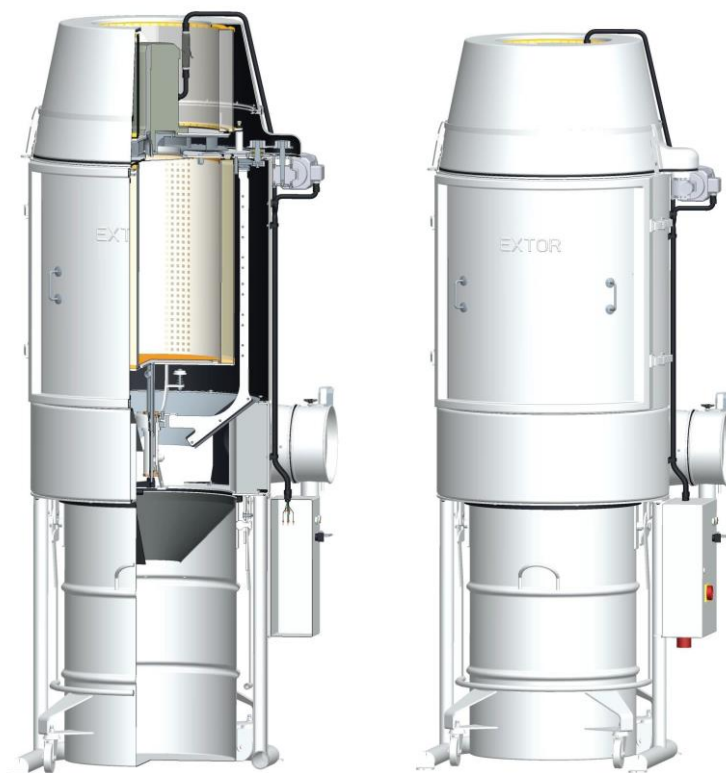


Obr. 22) Filtrační jednotka firmy Urban-technik [24]

6.5 Extrot

Extor je finskou firmou, zaměřenou výhradně na filtraci a čistotu prašného prostředí. Patří mezi velké výrobce a dodává filtraci k obráběcím strojům největších a nejznámějších výrobců jako jsou Cortini, Datron, DMG Mori, Fanuc, Haas, Hermle, Ibarmia aj. [25].

Výrobce nabízí 3 typy filtračních věží. Nejmenší Extor 2100 s průtokem 2100/2800 m³/hod a příkonem ventilátoru 3kW. Největší Extor 4100 s příkonem motoru 5,5 kW, průtokem 4100/4800m³/hod. Přístroj vyvine vacuum o hodnotě 3600/4800 Pa v závislosti na průtoku. Střední cestou je Extro 3500. Tato věž dosahuje průtoku 3000/3200 m³/hod, disponuje příkonem 4kW, vyvine vacuum 3600/4000 Pa a váží 229 kg [25].



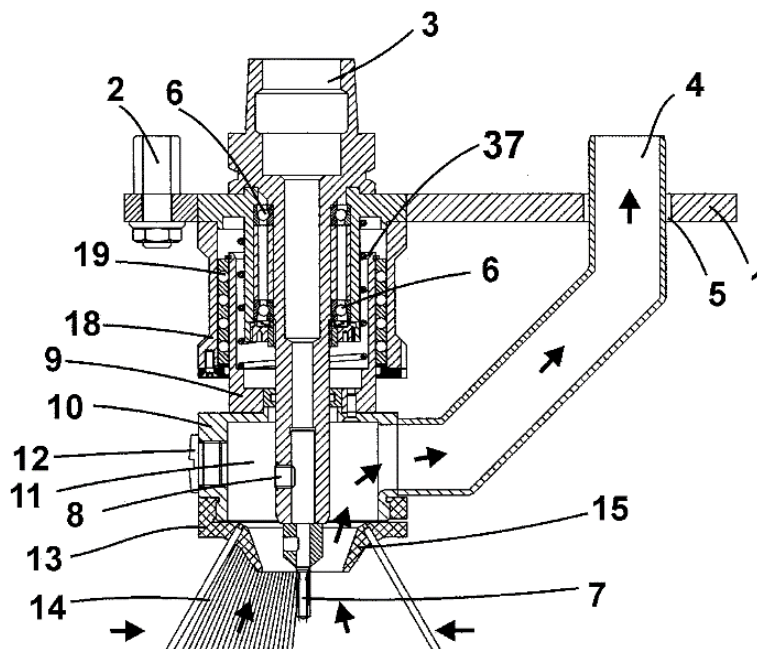
Obr. 23) Filtrační věž extor 3500 [25]

Problémem je, že většina odsávacích jednotek není určena k odsávání výbušného prachu. Firmami, které v základní nabídce mají odsávání výbušného prachu, jsou Nederman a Ringler. Firma Wemac se takovým aplikacím snaží vyhýbat.

7 PATENTOVÁ ŘEŠERŠE

Při návrhu musí být proveden průzkum, aby nedošlo k porušení patentové ochrany návrhu. Při průzkumu patentů odsávacích zařízení, určených k odsávání prachu z pracovního prostoru, jsem narazil na několik patentů, které se zabývaly problematikou odsávání prашného materiálu při obrábění. Zde zmíním 3, které by mohly představovat největší problém při samotné konstrukci nového návrhu.

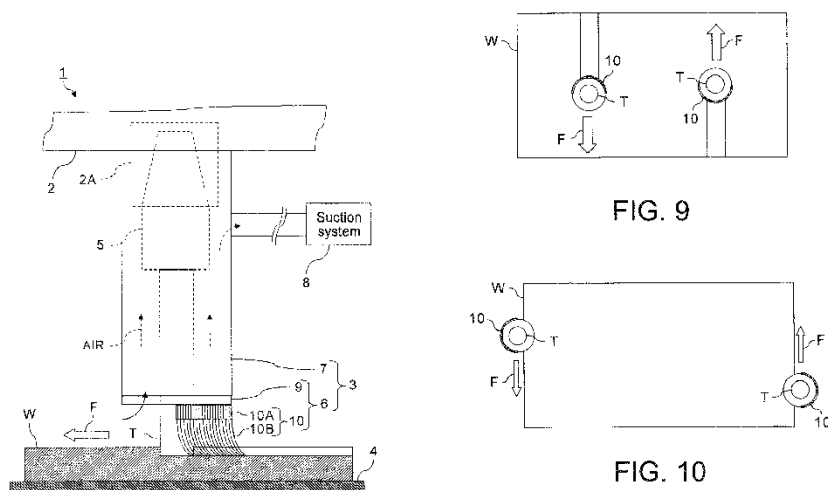
Jeden z prvních patentů, na které jsem narazil, zabývající se přímo odsáváním z místa řezu, vynalezl Julian Baigorri Hermoso v roce 2005[25].



Obr. 24) Hubice řízená pomocí pružiny [25]

U tohoto systému je zajištěn jeden stupeň volnosti v axiálním směru nástroje pomocí vedení (19). Hubice je stlačována k povrchu obráběného materiálu pomocí pružiny (37). Na konci hubice (13) jsou umístěny štětiny, které se uzpůsobí obráběnému povrchu. Díky stálému stlačování hubice „dolů“ by byla komplikovaná automatická výměna nástroje a nebylo by zajištěno odsávání při obrábění obvodu součásti [25].

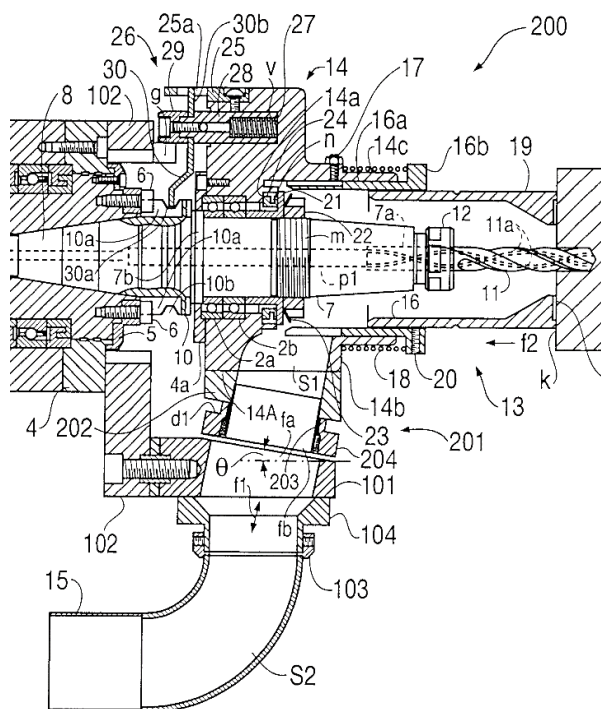
Další patent, který by mohl způsobovat komplikace, se zabývá tvarem hubice. Je od japonských vynálezců z roku 2013 [26].



Obr. 25) Hubice určená pro tvarové frézování [26]

Hubice se otáčí na patentem chráněném mechanismu kolem nástroje. Tím umožňuje odsávání i při frézování obvodu součásti jak je zřejmé z obrázku 25. Ovšem hubice není pohyblivá axiálně a tím pádem by nedošlo k výměně nástroje [26].

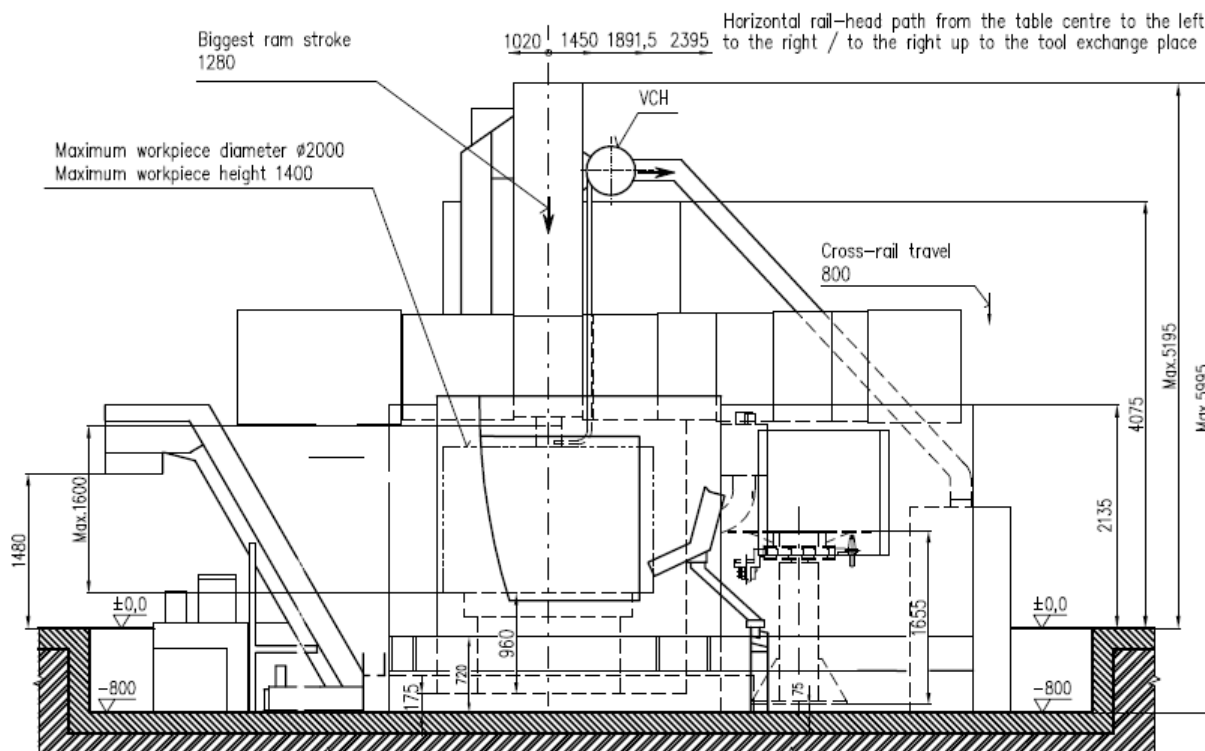
Na třetím patentu je odsávání ze zcela uzavřeného prostoru, takže není možná výměna nástroje. Ovšem je zde řešení napojení odsávací hubice (S1) k centrální hadici pro odsávání třísek (S2). Je realizováno pod daným úhlem 60 nebo méně stupňů. Jedná se o patent z roku 2002[27].



Obr. 26) Zcela uzavřená odnímatelná hubice [27]

8 NÁVRH POTRUBÍ

V této kapitole se budu zabývat problematikou vedení potrubí od filtrační věže na čelo smykadla. Na stroji jsou 2 pohyblivé osy X a Z. Na těchto osách nemůže být potrubí statické, je tedy nutné navrhnout mechanismy, které umožní pracovní činnost stroje s co nejmenším omezením. Základní vstupní parametry jsem sepsal do tabulky 3. Návrh a vstupní parametry jsou stanoveny ze stroje EXPERTURN 1600 C (Obr. 27).



Obr. 27) Layout stroje EXPERTURN 1600C [28]

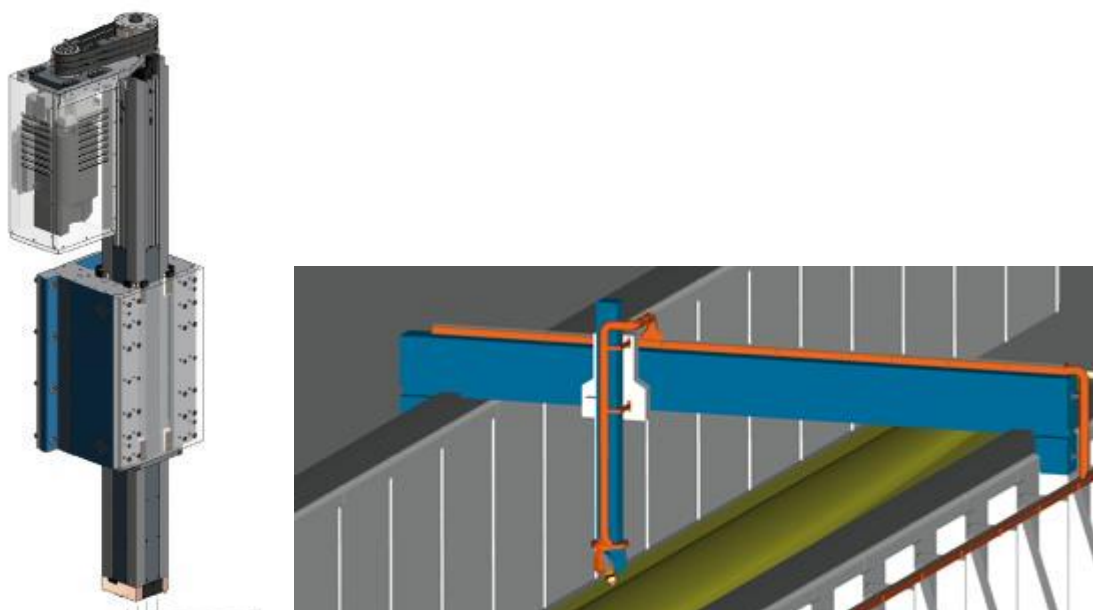
Předběžnou světlost potrubí volím 120-150mm. Je důležité ji brát na vědomí, abych věděl, kudy je dostatek prostoru. V případě poddimenzování světlosti bych se poté mohl dostat do situace, že v daném místě již není dostatek místa pro zvětšení světlosti a tím činné plochy odsávání.

Popis parametru	Jednotky [mm]
Vzdálenost čela smykadla od saní: max. min. osa Z	50 - 1600
Rozjezd v ose X od osy stolu max. vlevo-vpravo do výměny	1020 - 2395
Celkový rozjezd v ose X	3415
Rozměr smykadla	240x240
Předběžná světlost potrubí	120 - 150

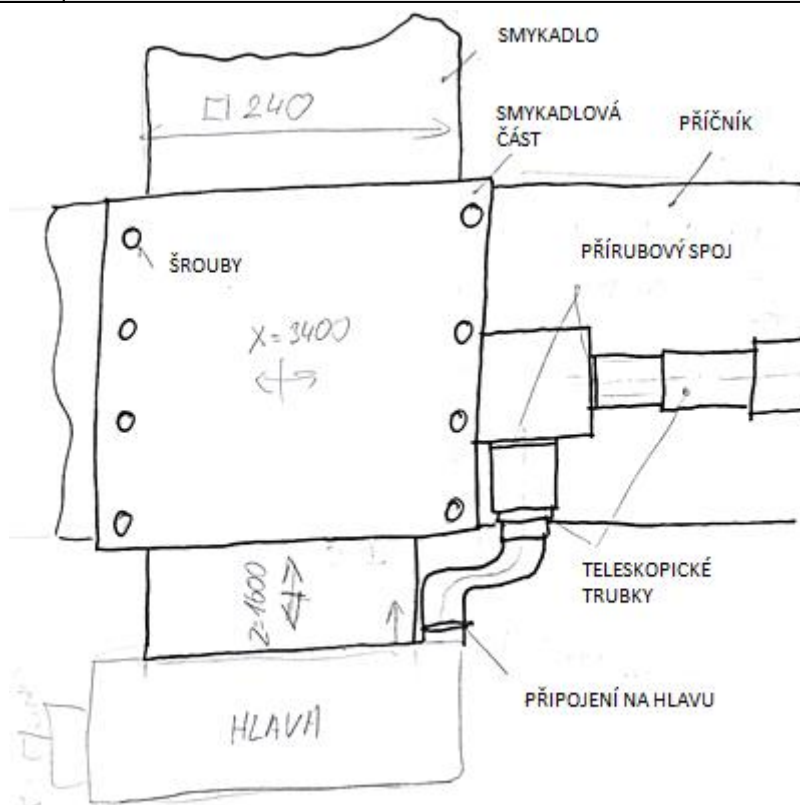
Tab 3) Vstupní parametry stroje

8.1 Návrh potrubí v ose Z

V této kapitole se zabývám návrhem potrubí v ose Z. Jedná se o svislou osu soustruhu. Limitující se jeví především parametr vzdálenost čela smykadla od smykadlové části. Po prohlídce strojů jsem hned vyloučil variantu vedení potrubí skrz smykadlo. Smykadlem je vedena náhonová hřídel, která nebude v případě elektro-vřetena nutná. I přesto ale není ve smykadle dostatečný prostor. Odsávání musí být ale navrženo univerzálně pro různé řady strojů. Bude tedy nutné vést potrubí „bokem“ smykadla. Smykadlová část stroje je ovšem uzavřena a smykadlo je vedeno ze všech 4 stran, jak je patrné z obrázku 28 na levé straně. Není tedy možné hadici připevnit pouze na smykadlo, což je vidět v pravé části obrázku 28. První podmínka tedy byla dostat se z čela smykadla na bok smykadlové části. V tomto bodě bude zařazen do systému odsávání spojovací prvek, který poté naváže na osu X.

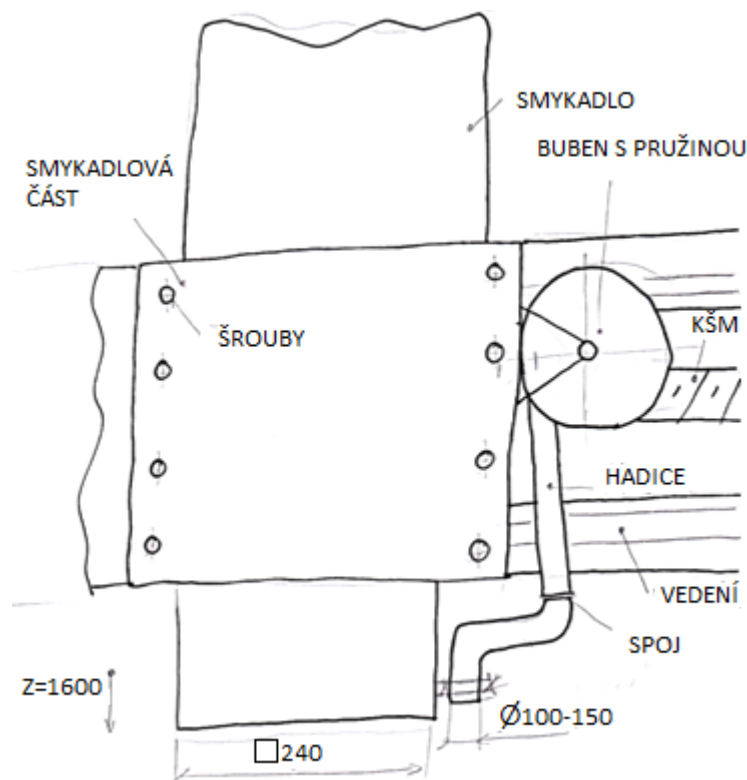


Obr. 28) Vlevo smykadlo stojů TOSHULIN, vpravo odsávání portálového stroje [29;2]



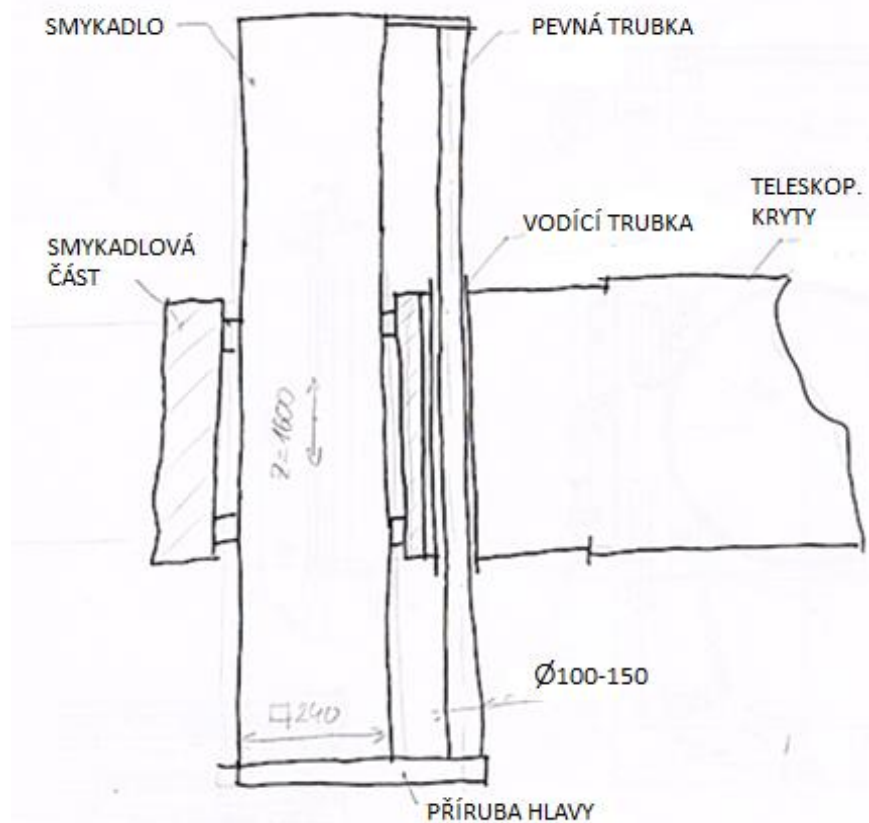
Obr. 29) Návrh s použitím teleskopických trubek firmy Wemac

Při pátrání různými firmami a návštěvou MSV2015 v Brně jsem narazil na tuzemskou firmu Wemac, která shodou okolností úzce pracuje s firmou TOSHULIN a.s. V sortimentu firmy jsem našel různé typy odsávacích věží, ale i potrubí nutné k odsávání. Na prvním návrhu je uvedeno teleskopické potrubí. O tomto potrubí jsem uvažoval i v ose X. Bohužel obráběný materiál bude suchý prach a mám obavu, že by se dané potrubí vydřelo, následně netěsnilo a možná se i rozdělilo. Dalším limitujícím parametrem v ose X je délka potrubí. Potrubí by bylo náročné vést a je pravděpodobné, že by v délce 3000 docházelo k velkému průhybu. Toto byly pádné důvody, proč se tomuto řešení vyhnout, proto jsem už nezjišťoval, zda by bylo vůbec možné potrubí instalovat na základě rozjezdu a požadavku v ose Z.



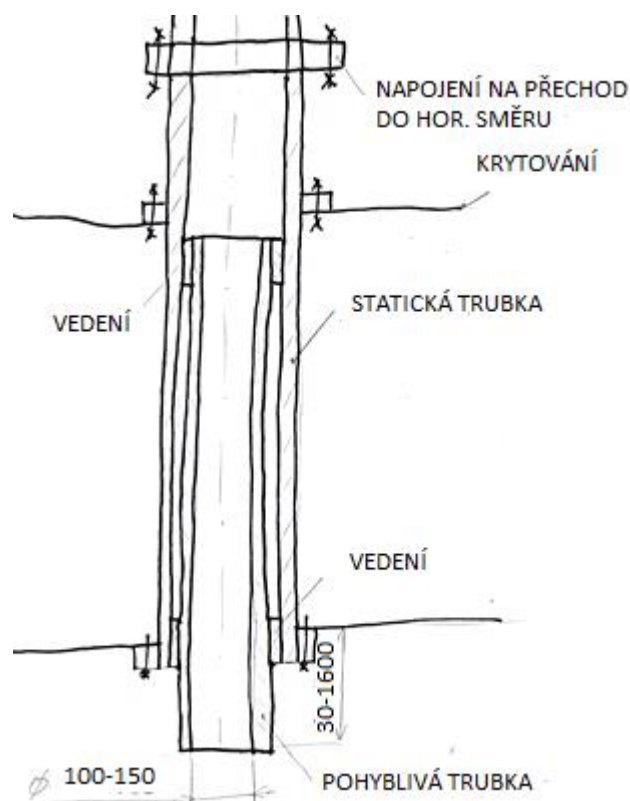
Obr. 30) Návrh pomocí bubnu navíjeného pružinou

Ve druhém návrhu jsem uvažoval o pasivním prvku ve formě pružiny a bubnu, na který by se namotávala hadice s pohybem smykadla vzhůru. Při pohybu smykadla dolů by se hadice sama odvíjela. Ovšem vzhledem k tomu, že navrhuji světlost potrubí kolem 150 mm a rozjezd v Z je přibližně 1600 mm, byl by bubem příliš velkých rozměrů a nedal by se umístit na žádnou část stroje. Navíc na buben by bylo nutné připojit hadici z osy X, což by bylo možné do jeho středu (viz. zahradní bubny), čili by bylo nutné volné místo i ve směru kolmém na buben. Rádus nemůže být moc malý, aby nedocházelo k velkým ztrátám při odsávání a lámání hadice. Na základě toho i toto řešení pravděpodobně zamítnu.



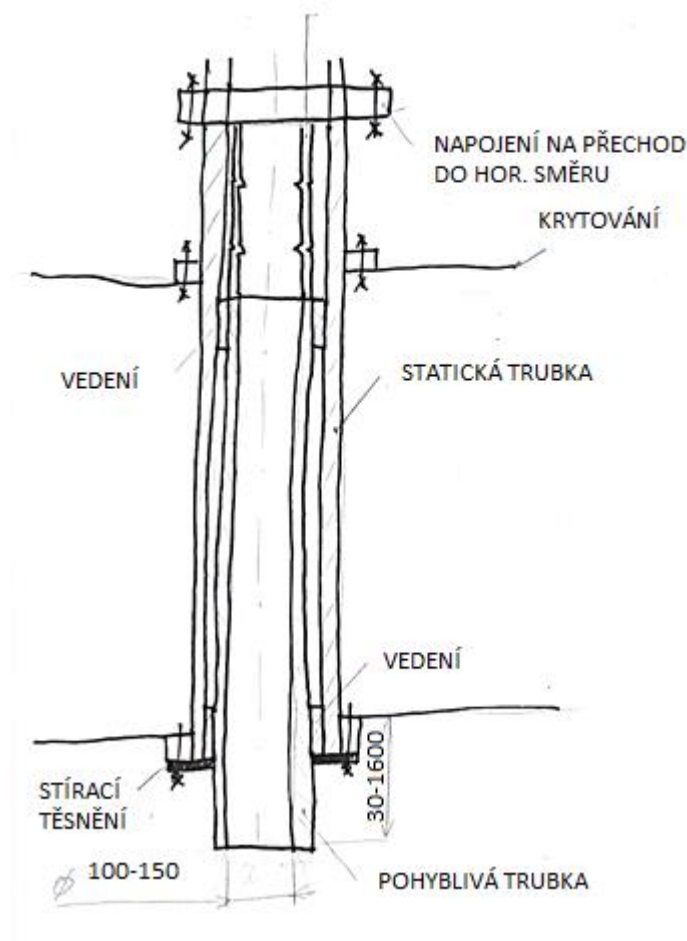
Obr. 31) Návrh řešení trubkou vyvedenou na horní stranu smykadla

K tomuto návrhu mě vedla myšlenka přivedení hadice ze směru X na horní stranu smykadla. Propojení se spodní stranou by bylo uskutečněno pevnou trubicí procházející skrz krytování stroje. Do krytování by se přidala další, vodící trubka. Toto řešení se zdá relativně jednoduché. Nevýhodou by byla relativně velká montážní přesnost vodící trubky v krytování stroje. Dalším problémem by mohl nastat při volbě vedení, protože odsávaný prach by mohl způsobit brzké vydrhnutí vedení. Na spodní straně smykadla je uvažována příruba hlavy, která přechází průřez smykadla o požadovanou délku. Tato příruba by byla součástí každé hlavy, pokud by na stroji byla uvažována tato technologie odsávání. Také by se muselo vyřešit, jakým způsobem svést potrubí z horní strany smykadla, aby nepřekáželo poté ve vodorovném směru.



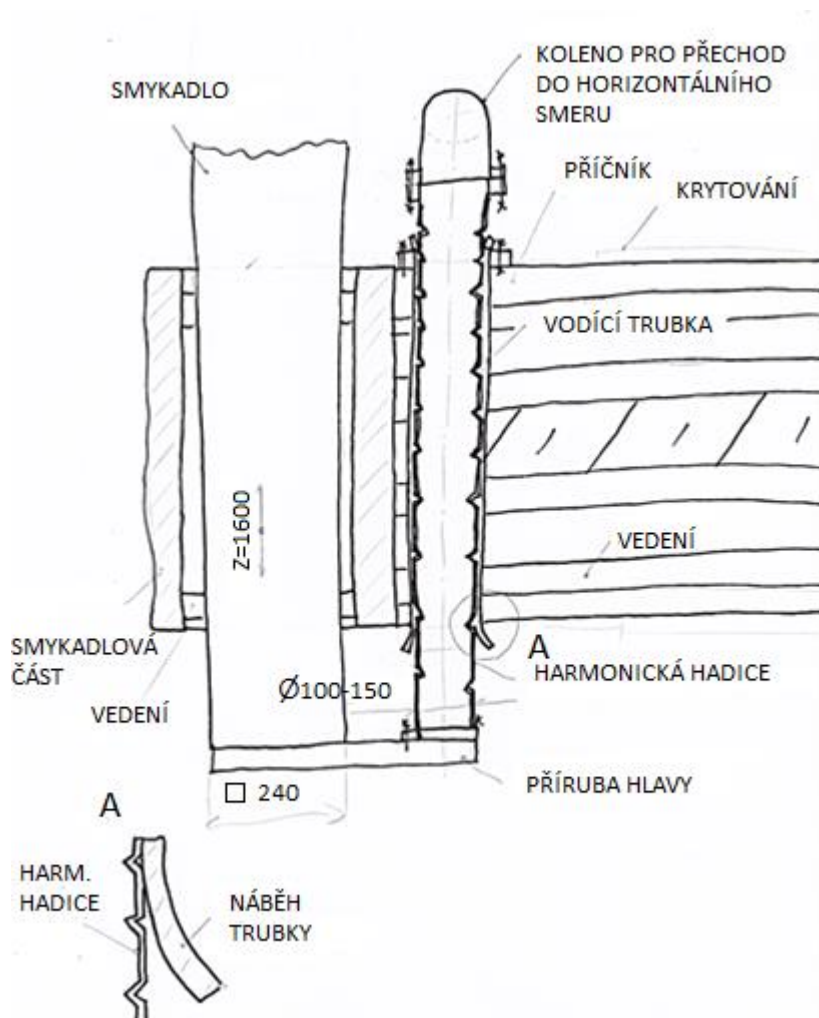
Obr. 32) Návrh uložení pohyblivé trubky ve statické trubce

Při tomto návrhu jsem vycházel z myšlenky předchozího. Rozdíl je v tom, že neuvažuji odsávání z osy X na horní stranu smykadla, ale do prostoru nad smykadlo, kde tento bod zůstává vůči smykadlu statický. Pevná trubka skrz krytování stroje zůstane zachována. Podmínkou je pouze délka trubky. Musí být delší než trubka pohyblivá, aby se do ní při maximálním zdvihu dokázala celá zasunout. Jsou myšleny 2 plastové kroužky jako vedení. Mohlo by ovšem opět docházet k vydírání plastových vodících kroužků i samotné trubky. Navíc by ve statické trubce musel být přesný vnitřní průměr a v pohyblivé zase broušený vnější průměr, aby nedocházelo k velkému tření při pohybu smykadla. Dále je nutné dodržet opět souosost trubek.



Obr. 33) Návrh uložení pohyblivé trubky ve statické trubce v izolaci vedení od prachu

Zde na obrázku je zobrazen totožný princip, pouze je vyřešen problém se zadíráním vedení. Nad horním kroužkem je harmonická hadice, která je flexibilní a zabrání vnikání prachu do vedení. Prach sice zůstane v záhybech trubky, ovšem při pohybu smykadla „dolů“ by se prach uvolnil a byl znovu odsán, čili by nezůstával v hadici. Ze spodní strany je uvažováno stírací těsnění, např. filcové. V těsnění by bylo na trubce s přesahem, čili by dobře stíralo prach z trubky. Prostor vedení by byl tedy od prachu izolován a nedocházelo by tedy vůbec ke vnikání prachu do vedení a prodloužila by se životnost mechanismu.

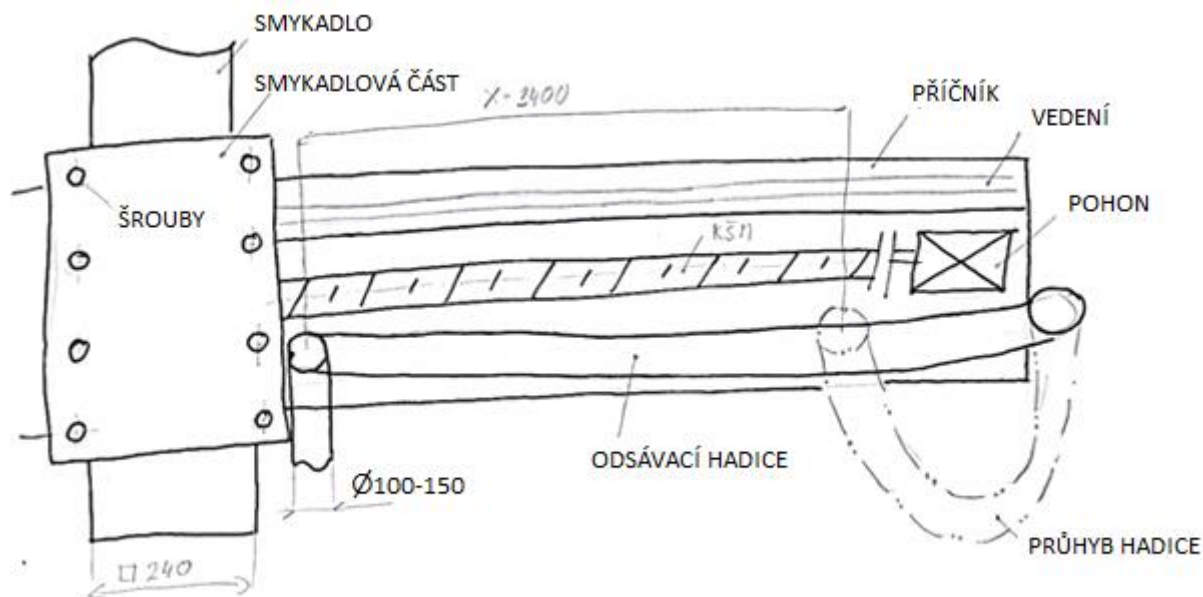


Obr. 34) Návrh pomocí stlačitelné hadice

V posledním návrhu jsem zachoval statickou trubku skrz krytování stroje. Pohyblivou trubku jsem nahradil harmonickou hadicí. Tato hadice by byla vedena v trubce bez vedení a spojovala by přímo čelo příruby hlavy se statickým bodem nad krytováním, ve kterém se přechází na vedení v X směru. Trubka by měla mít ze strany stroje udělaný náběh, jak je zobrazeno na detailu A, aby nedocházelo k roztrhnutí nebo jinému poškození harmonické hadice. Díky tomuto řešení odpadáva problém výběru a řešení vedení, které by odolávalo prachu. Jak již bylo zmíněno dříve, prach se záhybů se vlivem gravitace uvolní a bude odsán při pohybu smykadla k desce stolu. V horizontálním směru by tento problém byl závažnější, protože prach by zůstával i při natáhnutí hadice na spodní stěně hadice, kde je nižší rychlost proudění vzduchu, a možná by ani poté nebyl odsán.

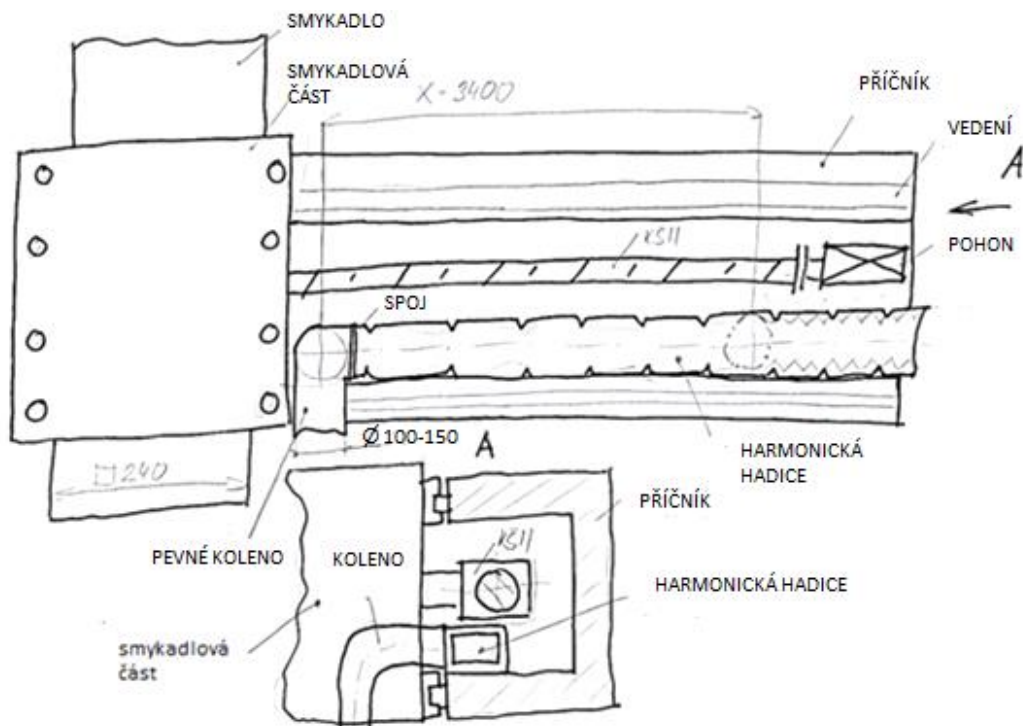
8.2 Návrh v ose X

Jak již bylo zmíněno, potrubí je nutné vést od odsávací věže na čelo smykadla, kde bude připojena frézovací hlava. Je nutné navrhnout, jak vést potrubí přes pohyblivé osy Z (svislý směr) a X (vodorovný směr). Bod spoje těchto dvou os jsem si stanovil na smykadlové části. Odsávací věž stojí vedle stroje a je nutné tedy přivést potrubí do tohoto spojovacího bodu.



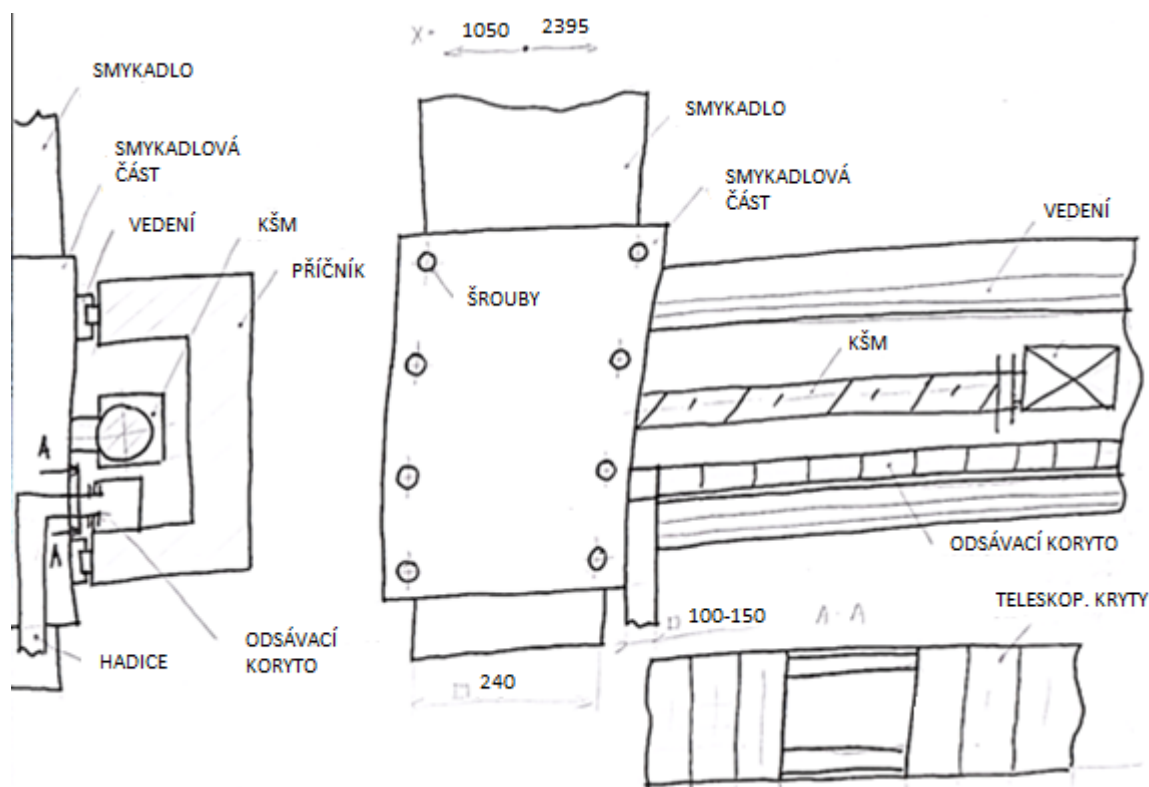
Obr. 35) Návrh průvěsu hadice

V prvním návrhu je uvažovaná hadice, která se s pojezdem v ose X svěsí. Bohužel při posuvu 3400mm v ose, by byl průhyb hadice relativně velký a mohlo by docházet ke kolizi se zásobníkem nástrojů nebo jinými částmi stroje. Realizace by nebyla možná z několika důvodů. Do teleskopických krytů by se hadice umístit nedala, protože kryty nejsou volně rozebíratelné, a mezi kryty a dveřmi je velmi málo místa. Také by mohlo docházet k zaháknutí hadice o obrobek, nebo jiné části stroje. Také by se svěšením hadice zvýšila zátěž posuvu a mohlo by se zhoršovat polohování stroje. Tyto důvody jsou dostatečné k tomu, abych toto řešení zavrhnul.



Obr. 36) Návrh se stlačitelnou hadicí

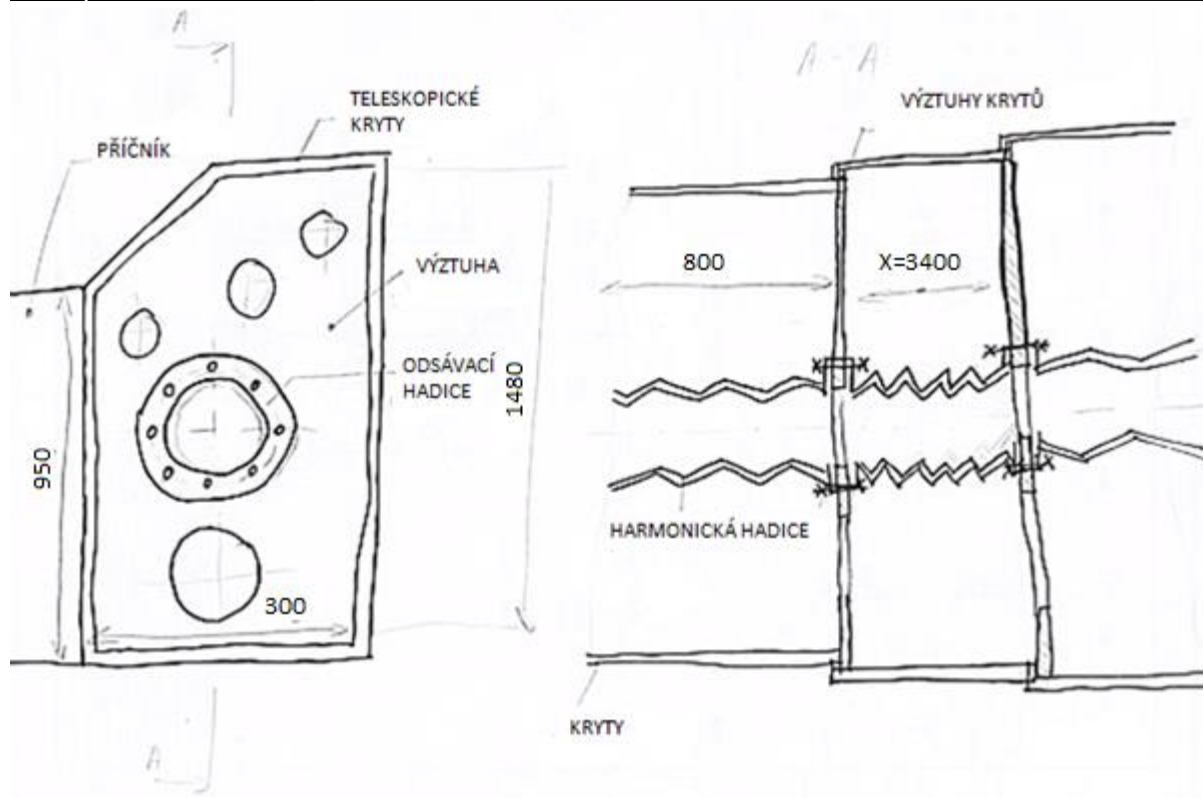
Na dalších dvou návrzích jsem chtěl využít prostoru v odlitku příčnicku. V jednom případě jsem uvažoval stlačitelnou hadici čtvercového průřezu, aby dobře seděla na odlitku. V případě použití stlačitelné hadice ve vodorovném směru by docházelo k usazování nečistot. Odsáby by byly jediné při úplném natažení, a to nemůžeme předpokládat. Mohlo by poté dojít k napěchování nečistoty v záhybech a následnému poškození hadice.



Obr. 37) Návrh s plechovým korytem

V druhém případě by hadici nahradilo plechové koryto ve tvaru U. V tomto korytě by bylo vedeno koleno pro přechod do Z směru, jak je patrné z obrázku 37. Toto koleno by bylo uloženo v korytě kluzně. Ostatní prostor koryta by zakrývaly teleskopické kryty. Úskalí tohoto návrhu je jeho složitost a také to, že by se koryto vydíralo. Bylo by nutné vedení udělat valivé pro zvýšení životnosti, tím by se ovšem zvětšovaly zástavbové prostory.

Obě řešení by zřejmě bylo možné vyřešit, ovšem ne v prostoru příčnicku. Po návštěvě a prozkoumání se ukázalo, že v odlitku příčnicků není další prostor, pouze na kuličkový šroub s maticí. Bylo by tedy nutné vést hadice nebo koryto jinou cestou po stroji.



Obr. 38) Stlačitelná hadice umístěna v teleskopickém krytovaní

Po prozkoumání teleskopických krytů byl další návrh vést flexibilní hadici skrz teleskopické kryty. Teleskopické kryty mají každý výztuhu, ve které jsou ovšem otvory, kterých by se dalo využít k vedení hadice. Nevýhodou by bylo spojování hadic na každém přechodu krytu a také instalace hadice mezi kryty. Po jistém čase se také může stát, že by se hadice poškodila a byla by náročná údržba této větve odsávání. Dále by ve flexibilní hadici v horizontálním směru zůstal prach v ohybech a mohlo by i na základě tohoto dojít k poškození hadice při jejím stlačování.



Obr. 39) Umístění PVC hadice na energetickém řetězu [30]

V tomto návrhu bylo využito energetického řetězu, na který je hadice zachycena spojkami. Hadice je mezi spojkami volně. Je to z důvodu, kdy en. řetěz je v ohybu a rovná se. Na horní části je konzola, na kterou je řetěz přišroubován. Kabely dále přes konzolu vedou do stojanu stroje. Z řetězu vede kabeláž přes smykadlovou část. Hadice bude vyvedena na horní část stojanu. S využitím konzoly se navede na řetěz, ze kterého poté přes smykadlovou část, kde bude spojovací koleno na vertikální směr potrubí. Využití tohoto návrhu je výhodné hlavně z toho důvodu, že se nemusí nic vyrábět a spojky jsou běžně v sortimentu firem dodávající energetické řetězy (Igus, Brevetti...).

8.3 Multikriteriální metoda hodnocení navrhovaných variant

Při výběru nového zařízení, výrobku či obecně technického objektu stojíme před otázkou, který návrh vybrat a zda jsme vybrali správně. Pro náš případ použijeme systematických a racionálních metod práce využívající objektivizující matematický aparát. Můžeme pak provádět výběr z množství několika variant řešení [31].

Cílem hodnocení například nabídkových projektů je souhrnně vyjádřit technicko-ekonomickou (dále jen TE) úroveň jednotlivých návrhů a určit pořadí jejich výhodnosti. K tomuto účelu bylo vypracováno několik postupů, souhrnně označovaných jako metody multikriteriálního hodnocení. Cílem je vyjádřit TE úroveň jedinou hodnotou [31].

Každý předkládaný projekt má obvykle dvě stránky:

- Technickou, která vyjadřuje funkční vlastnosti projektu a její úroveň je definována stupněm plnění všech funkcí projektu $S F_j$
- Ekonomickou, která vyjadřuje náklady na zabezpečení těchto funkcí N

Zatímco náklady lze poměrně snadno zjistit, neboť jednotlivé nákladové položky mají stejné jednotky a jsou tedy sčitatelné, stupeň plnění funkcí je třeba určit právě pomocí některé metody multikriteriálního hodnocení [31].

Nejužívanější metody multikriteriálního hodnocení jsou:

- bazická bodovací metoda
- metoda pořadí
- metoda PATTERN

8.3.1 Bazická bodovací metoda

Protože se obvykle předkládané varianty posuzují na základě většího počtu různých kritérií, patří tato metoda mezi metody multikriteriálního hodnocení. Hodnocená hlediska jsou vyčíslitelná, a to významně zjednodušuje proces hodnocení [31].

Stručnou podstatu metody a postup při aplikaci lze uvést v následujících bodech:

- nejprve je třeba provést reprezentativní výběr parametrů (vlastností). Je třeba vyloučit vzájemně závislé parametry. Jejich počet by měl být omezen na podstatné a spolehlivě zjistitelné
- stanoví se bodovací stupnice, která hodnotí buď kvalitativní, nebo kvantitativní hodnoty parametrů
- určí se významnost (váha) parametrů
- provede se hodnocení

Technická hodnota τ

- A) Při identifikaci varianty se hodí celá řada faktorů, parametrů a vlastností, které označíme jako $T_1, T_2, \dots, T_n$, tj. $T(1, \dots, n)$
- kde: n = maximální počet faktorů, parametrů, vlastností
 - n = obvykle (1-100)

- B) Hodnotu každého faktoru, parametru a technické vlastnosti vyjádříme pomocí tříděníku $t_1, t_2, \dots, t_j$ se stanovenou (zvolenou) stupnicí, tj. $t(1, \dots, j)$
- kde: t_1 = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti
 - t_j = maximální hodnota
 - s kvantifikací a se slovním hodnocením: $t_1 = 0$ = nevyhovující (min)
 - $t_2 = 1$ = velmi slabé
 - $t_3 = 2$ = vyhovující
 - $t_4 = 3$ = dobré
 - $t_5 = 4$ = velmi dobré
 - $t_6 = 5$ = výborné (tj. vzorové, ideální, 100%), (max.)

- C) Hodnocený faktor, parametr, vlastnost lze vyjádřit i procentuálně:

$$\bullet \quad p_\tau = \frac{100}{t_j} [\%] \quad (1)$$

- D) Relativní technická hodnota n -tého faktoru, parametru, vlastnosti je pak:

$$\bullet \quad T_n * t_j \quad (2)$$

- E) Význam (váhu) jednotlivých faktorů, parametrů, vlastností pak dle důležitosti rozlišíme koeficienty $g_n (\leq 1)$, tedy:

$$\bullet \quad 0 \leq g_n \leq 1 \quad (3)$$

- F) Technický stav hodnocené varianty dle a různých hledisek je pak:

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n) = (g_1 * t_1, g_2 * t_2, \dots, g_j * t_j, \dots, g_n * t_n)$$

G) Konečná technická hodnota varianty je pak vyjádřena:

$$\bullet \quad \tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j * t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j * t_{max}} = \frac{g_1 * t_1 + g_2 * t_2 + \dots + g_n * t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) * t_j} \leq 1 \quad (4)$$

- kde: g_j = koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
- t_j = hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti
- n = počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
- V procentuálním vyjádření: $\tau \leq 100 \%$
- Konečná technická hodnota (např. zcela nového, továrně vyrobeného produktu) činí: $\tau = 100 \%$

8.3.2 Aplikace metody

Osa Z:

VLASTNOST	OZN.	V1			
		t_j	g_n	p_T	τ_n
Jednoduchost konstrukce	T1	3	0,9	33,333	2,7
Těsnost	T2	2	0,4	50	0,8
Ekonomičnost	T3	2	0,7	50	1,4
Životnost	T4	1	0,6	100	0,6
Aplikace na jiných strojích	T5	3	0,5	33,333	1,5

Tab 4) Varianta 1 – teleskopické hadice firmy Wemac

VLASTNOST	OZN.	V2			
		t_j	g_n	p_T	τ_n
Jednoduchost konstrukce	T1	1	0,9	100	0,9
Těsnost	T2	4	0,4	25	1,6
Ekonomičnost	T3	2	0,7	50	1,4
Životnost	T4	2	0,6	50	1,2
Aplikace na jiných strojích	T5	2	0,5	50	1

Tab 5) Varianta 2 – odvíjecí buben

VLASTNOST	OZN.	V3			
		t _j	g _n	p _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	4	0,9	25	3,6
Těsnost	T2	5	0,4	20	2
Ekonomičnost	T3	3	0,7	33,333	2,1
Životnost	T4	4	0,6	25	2,4
Aplikace na jiných strojích	T5	3	0,5	33,333	1,5

Tab 6) Varianta 3 – pevná trubka vedena na horní stranu smykadla

VLASTNOST	OZN.	V4			
		t _j	g _n	p _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	3	0,9	33,333	2,7
Těsnost	T2	4	0,4	33,333	1,2
Ekonomičnost	T3	3	0,7	25	2,8
Životnost	T4	4	0,6	25	2,4
Aplikace na jiných strojích	T5	4	0,5	25	2

Tab 7) Varianta 4 – trubka v trubce s užitím ochranné hadice proti vydírání

VLASTNOST	OZN.	V5			
		t _j	g _n	p _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	5	0,9	20	4,5
Těsnost	T2	5	0,4	20	2
Ekonomičnost	T3	4	0,7	25	2,8
Životnost	T4	3	0,6	33,333	1,8
Aplikace na jiných strojích	T5	5	0,5	20	2,5

Tab 8) Varianta 5 – flexibilní hadice

τ	V _n
0,312258065	V1
0,294354839	V2
0,620967742	V3
0,562903226	V4
0,737096774	V5

Tab 9) Vyhodnocení v ose Z

Po užití metody nám nejvýhodněji vychází varianta s užitím flexibilní hubice. Největší výhoda je v jednoduchosti konstrukce a ekonomičnosti. Otázkou zůstává její životnost. Snahou bude vytvořit připojení jednoduše, aby mohlo dojít případně k rychlé výměně.

Osa X:

VLASTNOST	OZN.	V1			
		tj	g _n	p _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	2	0,9	50	1,8
Těsnost	T2	4	0,4	25	1,6
Ekonomičnost	T3	4	0,7	25	2,8
Životnost	T4	2	0,6	50	1,2
Aplikace na jiných strojích	T5	2	0,5	50	1

Tab 10) Varianta 1 – prověšení hadice

VLASTNOST	OZN.	V2			
		tj	g _n	p _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	1	0,9	100	0,9
Těsnost	T2	3	0,4	33,333	1,2
Ekonomičnost	T3	2	0,7	50	1,4
Životnost	T4	3	0,6	33,333	1,8
Aplikace na jiných strojích	T5	2	0,5	50	1

Tab 11) Varianta 2 – užití hadice nebo plechového koryta v příčniku stroje

VLASTNOST	OZN.	V3			
		tj	g _n	p _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	3	0,9	33,333	2,7
Těsnost	T2	4	0,4	25	1,6
Ekonomičnost	T3	4	0,7	25	2,8
Životnost	T4	2	0,6	50	1,2
Aplikace na jiných strojích	T5	5	0,5	20	2,5

Tab 12) Varianta 3 – hadice mezi teleskopickými kryty

VLASTNOST	OZN.	V4			
		t _j	g _n	p _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	5	0,9	20	4,5
Těsnost	T2	4	0,4	25	1,6
Ekonomičnost	T3	5	0,7	20	3,5
Životnost	T4	4	0,6	25	2,4
Aplikace na jiných strojích	T5	5	0,5	20	2,5

Tab 13) Varianta 4 – využití energetického řetězu a užití PVC hadice

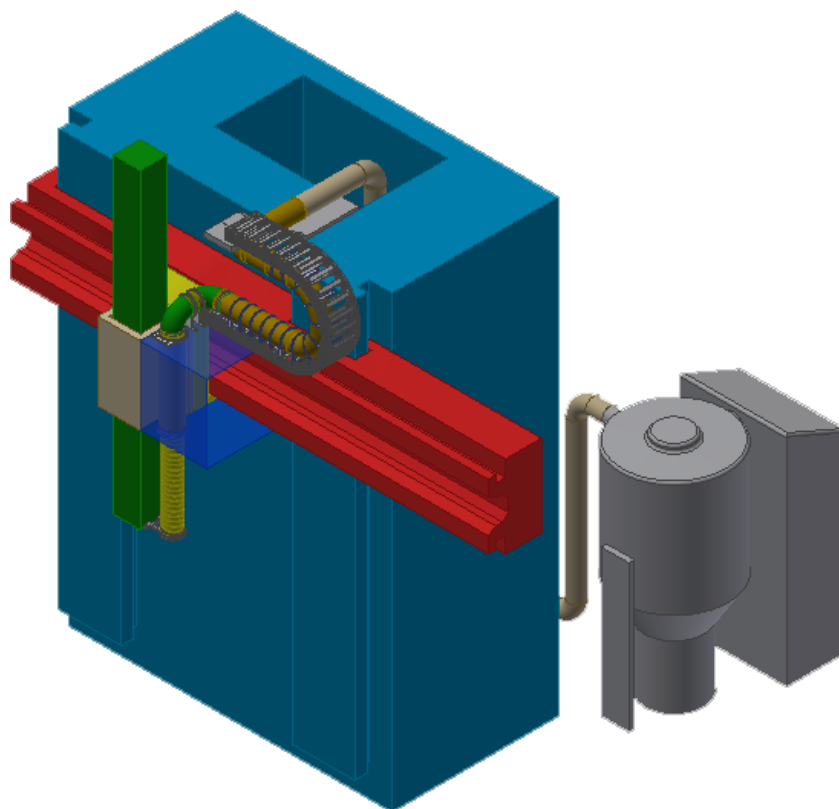
τ	V _n
0,350967742	V1
0,310483871	V2
0,564516129	V3
0,792741935	V4

Tab 14) Vyhodnocení v ose X

Varianta 4 vychází nejlépe, hlavní výhoda je jednoduchost a opět cena řešení. Není zde nutný zásah do stroje, pouze se nakoupí spojky na en. řetěz.

8.4 Vybraný návrh potrubí

Po zvážení jistých faktorů, bylo vybráno vedení potrubí pomocí energetického řetězu v ose X. Je to z důvodu, že tato varianta je relativně levná. Energetický řetěz musí být součástí stroje. Nakupované části budou spojky na řetězu. Do směru Z jsem se rozhodl vybrat řešení s flexibilní hadicí a průchozí trubicí. V případě dvou trubek v sobě by trpělo vedení, protože prach by jej vydíral. Flexibilní hadice je odolná vůči prachu. Prach, který se zachytí v hadici při jejím stlačení, bude odsán při natažení hadice. Tato varianta má pouze 2 díly a to hadici a vodící trubku vedenou přes ochranné kryty stroje. Pro převod potrubí ze směru X do Z bude užito 2 kolen otočených vůči sobě o 90°. V potrubí bude tím pádem co nejméně přechodů a nemělo by docházet k velkým ztrátám.



Obr. 40) Celkový pohled na vedení potrubí po stroji

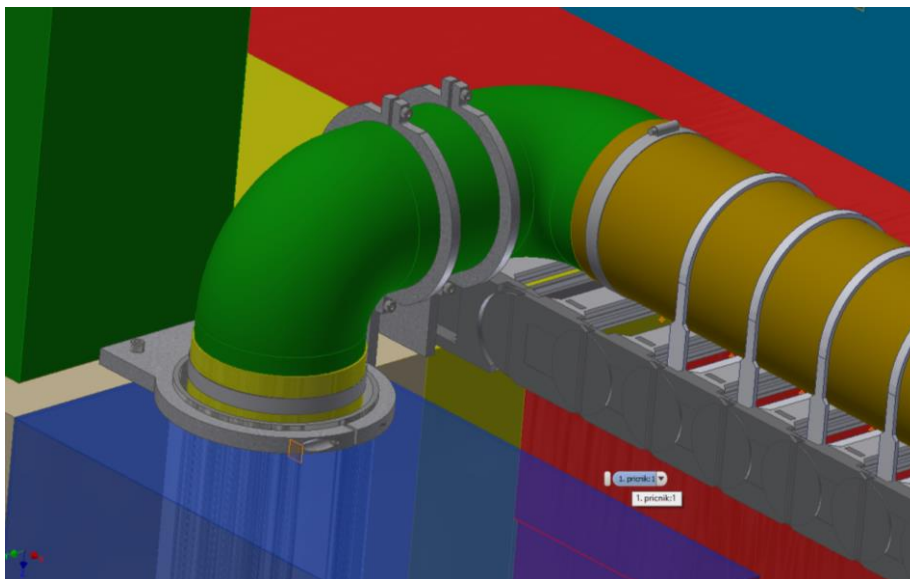
Je nutné ověřit, zda vybrané potrubí dané světlosti 150mm snese podtlak, který vyvíjí filtrační věž. Dále je nutné u flexibilního potrubí kontrolovat rychlost proudění, které potrubí snese, aby nedocházelo k jejímu stahování rychlostí v potrubí. Z teoretického hlediska je možné, že v potrubí dosáhneme až nekonečných rychlostí. Z experimentálních zkušeností zjištěných od firmy Wemac je ovšem maximální vhodná rychlost v potrubí do 25m/s. Pro zvolený průměr potrubí mi bylo doporučeno zvolit objemový průtok kolem 1000m³/hod. Zvolil jsem tedy předběžně pro další výpočty 1200m³/hod. Rychlost proudění podle vzorce $Q=S \cdot v$ vychází **19m/s**.

Typ hadice	Dovolená rychlost proudění	Dovolený podtlak	Cena za metr
GREYFLEX 152	25 m/s	neuvedeno	565 Kč
PVC lehká	neuvedeno	900 000 Pa	332 Kč

Tab 15) Přehled použitých hadic [9]

Z tabulky je patrné, že zvolené potrubí snese vysoký podtlak. Kritická bude flexibilní hadice díky její nižší tuhosti a pevnosti. Hadice z PVC je i odolnější vůči abrazivu, čili slabé místo bude zřejmě právě flexibilní hadice i vzhledem k opotřebení odsávaným materiálem. V případě, že by byla tato hadice nevhodně zvolena a docházelo k jejímu vychylování z přímého směru nebo jiným problémům, je možné použít například hadici používající na zametací vozy STREETMASTER PRESS PROFI. Tato hadice lze stlačit sice jen 1:3,5, ovšem snese podtlak

70 000 Pa a poloměr ohybu je 580mm. Bylo by ale vhodné vyzkoušet hadici GREYFLEX, protože je podstatně levnější a také lehčí.



Obr. 41) Přechod odsávání ze směru Z do X

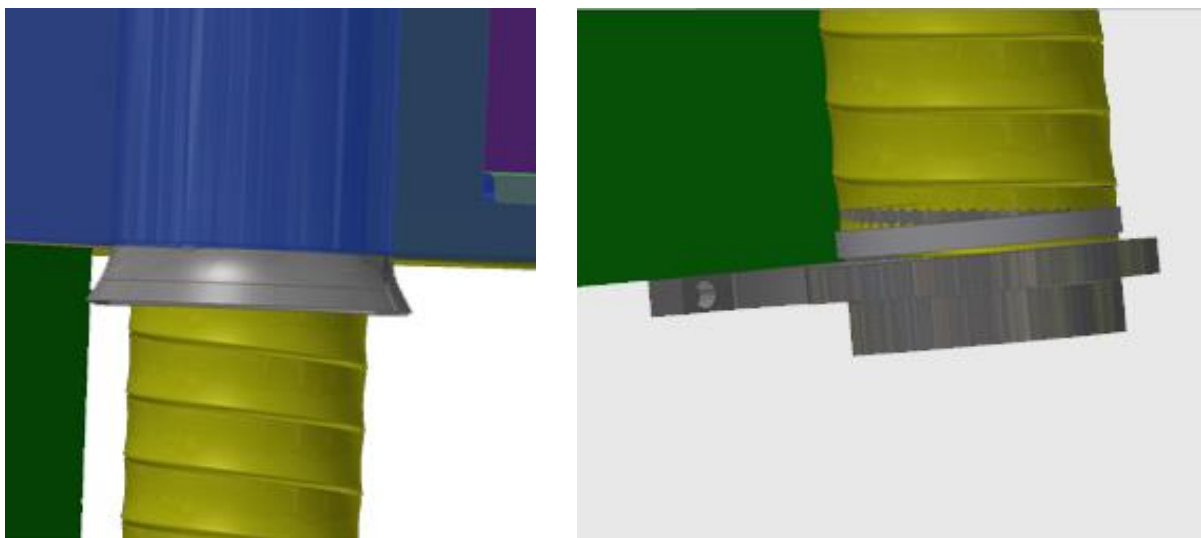
Na obrázku 39 je zobrazen přechod z osy X do osy Z. Kolena jsou spojena ocelovou převlečnou spojkou SN 150 (Obr. 42). Spojka bude s koleny stažena vyráběnou spojkou vypálenou laserem. Následně do ní budou dovtřeny díry pro stažení. Spojky jsou vyráběné, protože jsou zároveň přišroubovány ke smykadlové části stroje a drží tak polohu kolen pevně.



Obr. 42) Spojka SN 150 [32]

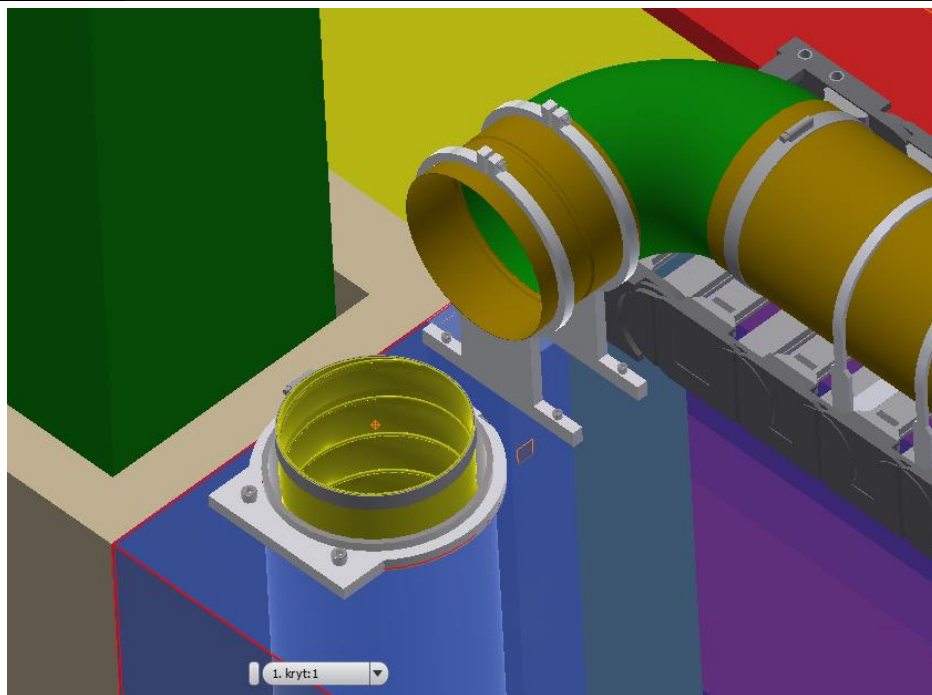
Na obrázku 41 je viditelný kroužek, který je také přišroubován ke smykadlové části stroje a drží v pevné poloze svěrným spojem trubku procházející skrz krytování stroje. Jak již bylo zmíněno, tato trubka je použita kvůli vedení flexibilní hadice v daném směru a aby nedocházelo k jejímu poškození.

Na dalších obrázcích je vidět zakružený konec vodící trubky. Trubka se dotlačí na doraz v díře krytů stroje. Zakružený konec se zarazí o vyřezaný otvor. Polohu bude držet již zmíněný kroužek v horní části krytů. Další důvod zakružení je kvůli náběhu hadice do vodící trubky, aby nedošlo i k jejímu roztržení při případném vsouvání do trubky. Na obrázku vpravo je svařená příruba, která bude buď součástí hlavy nebo, pokud to bude možné, bude k hlavě pouze přišroubována, jak je to myšleno zde. Příruba je svařena z krátké trubky, na kterou bude nasazena hadice a stažena sponou. Na druhé straně bude taktéž hadice vedena do odsávací hubice umístěné kolem nástroje a ta bude součástí obrábění hlavy. Příruba bude také vypálena a budou dodělány otvory pro přišroubování.



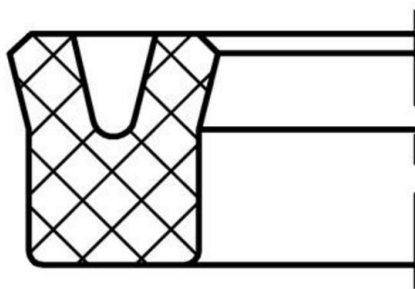
Obr. 43) Vlevo zakružený konec vodící trubky, vpravo příruba obráběcí hlavy

Po zhodnocení řešení byly provedeny ještě drobné změny. Bylo přehodnoceno uchycení ocelové vodící trubky a držáků spojovací části kolen v přechodu potrubí ze směru Z do X. Na smykadlové části je již dostatek kabeláže a jiných věcí, tak je vhodné pro přišroubování držáků využít teleskopických krytů. Kryty mají dostatečnou tloušťku plechu, aby do nich mohly být tyto držáky přišroubovány. Dalším důvodem byl tvar krytů, které nejsou vždy tvarově stejné, a nebylo by vždy možné takto držáky přišroubovat. Řešení je patrné z obrázku 44.

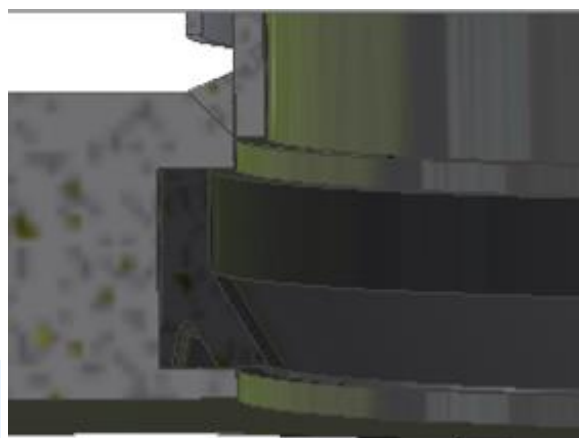


Obr. 44) Přechod odsávání ze směru Z do X po přehodnocení

Jako další bylo nutné upravit přírubu na čele smykadla. Aby bylo možné provést automatickou výměnu hlav, není příruba součástí hlavy ale smykadla. Dále navařená trubka přesahuje přírubu pouze z horní strany, kde je sponou stažena hadice. Ze spodní strany ovšem bude nasunuta hlava s hubicí do otvoru a tento spoj bude těsněn manžetou. Tyto manžety se také používají jako stírací kroužky u přímočarých hydromotorů. Řez manžety na obrázku 45 zobrazuje její profil. Jedná se o typ MA25 od firmy Rubena. Manžeta od firmy Trelleborg (TSS) snese dané podmínky a má menší rozměry. Manžeta je vsunuta do zápichu v přírubě a hubice se nasouvá do těsnění. Na hubici je patřičná náběhová hrana, aby nedocházelo k poškození manžety.[55][56]



MA 25



Obr. 45) Vlevo manžeta MA25, vpravo umístění v přírubě rozhraní [33]

Do tabulky byly sepsány informace o manžetách od daných dvou výrobců. I když cenu manžety TSS se nepodařilo dohledat, její montážní rozměry mě vedly k její aplikaci. V případě, že by byla cena příliš vysoká, příruba by se upravila tak, že by se dala vyrobit i širší drážka pro manžetu od firmy Rubena. Tomu bych se chtěl vyhnout, protože příruba by musela být větší a tím pádem i těžší.

Název	D1 [mm]	dH [mm]	L [mm]	Cena bez DPH [Kč]
Manžeta AU 95 – RUBENA	170	150	16	166,50
Polypac Euroseal MU/P- TSS	160	150	13+0,2	---

Tab 16) Parametry těsnících kroužků [33;34]

9 NÁVRH HUBICE

Po zvoleném řešení vedení potrubí po stroji je nutné udělat návrh koncové hubice. Tato hubice by měla uzavírat prostor kolem nástroje co nejtěsněji k obrobku, aby byly úniky nečistot co nejmenší a odsávání co nejefektivnější. Hubice musí být navržena tak, aby došlo k automatické výměně hlavy a nástroje. Je nutné navrhnout hubici jak pro úhlovou, tak i přímou hlavu s tím, že rozhraní mezi smykadlem a hlavou musí být totožné pro obě hlavy. Materiál pro výrobu hubic jsem zvolil dle ČSN 11373.1. Kdyby odsávání sloužilo k odsávání olejové mlhy, bylo by vhodné udělat hubici z nerez. Ovšem zde předpokládáme pouze prašné prostředí, čili poškození hrozí pouze od výměny nástrojů a nešikovnosti obsluhy. Hubice bude lakována.

9.1 Volba používaných nástrojů

Dále je nutné si pro návrh hubice stanovit, jaké budou na stroji použity nástroje a k jakým bude docházet operacím. Polotovár obráběného materiálu již často mívá výsledný požadovaný tvar a obrábí se pouze malé kapsy a připojovací otvor, velmi výjimečně pak rovinné plochy. Předpoklad tedy je, že nejčastější operace bude vrtání.

Při vrtání kompozitů je vzhledem k odlupování první a poslední vrstvy, tj. delaminaci, důležitý výběr vhodného vrtacího nástroje. V dnešní době je využíváno především nástrojů z PKD, které mají speciální geometrii přizpůsobenou k vrtání do kompozitních materiálů. Nástroje byly vybrány od firmy Sandvic Coromant [35;36].

Technologie	Nástroj	Ø nástroje [mm]
Vrtání	Rada 85:CD10,N20C a H10F	3-16
Frézování kapes	CoroMill® Plura S215	8-16
Frézování rovinných ploch	CoroMill 590	40 a více

Tab 17) Vybrané nástroje [36]

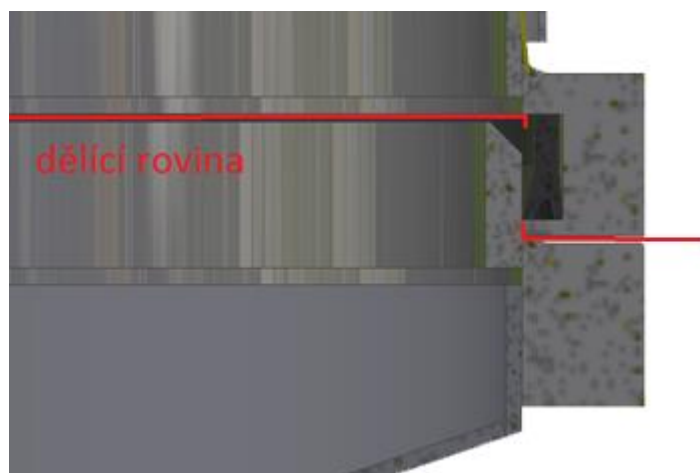


Obr. 46) Vybrané nástroje, vlevo vrtání, uprostřed frézování kapes, vpravo frézování rovinných ploch [36]

Vrtáky a frézy pro frézování kapes budou upnuty do kleštinového upínače. Při aplikaci nástroje k obrábění rovinných ploch bude nástroj upnut do kuželu. V závislosti na navržené hubici pak bude možné vybírat vhodné délky nástrojů[35].

9.2 Hubice přímé hlavy

Při návrhu hubice jsem se snažil dodržet automatické výměny. U automatické výměny hlav je nutné napojení do příruby smykadla. Z toho důvodu je součástí hlavy velmi podobná příruba. Při výměně hlavy (pick-up) dojde k nasunutí. Na trubce musí být patřičně velké sražení, aby kroužek v pořádku těsnil a nedocházelo k jeho přehnutí nebo jiné deformaci.



Obr. 47) Rozhraní odsávání na čele smykadla

Automatická výměna nástrojů je problém složitější. Mohlo by se využít řízeného pohybu hubice dle délky nástroje, jak bylo uvedeno dříve u jiných firem. V tomto případě by bylo nutné zrealizovat pohon (elektricky, pneumaticky) což by znamenalo přivést na čelo smykadla další kabel nebo hadici.

Další variantou je vymyslet pevnou hubici tak, aby nástroj mohl být vyměněn. Výměna nástroje je realizována opět pomocí metody pick-up. Na konci každé hubice je použit kartáč. Protože hubice nesmí poškodit materiál, dojde tak k částečnému uzavření prostoru mezi hubicí a materiálem alespoň pomocí kartáče. Toto bude mít opodstatnění zejména u pevné hubice, kdy mohou být kartáče tak dlouhé, aby nedocházelo k namotání na nástroj při najetí nad povrch a použití krátkého nástroje, ale aby zároveň vymezily co nejefektivněji mezeru při použití nástroje dlouhého. Budou užity kartáče používané u krytování strojů k vymezení pohyblivých částí např. od firmy Kartáčovna Koloveč.

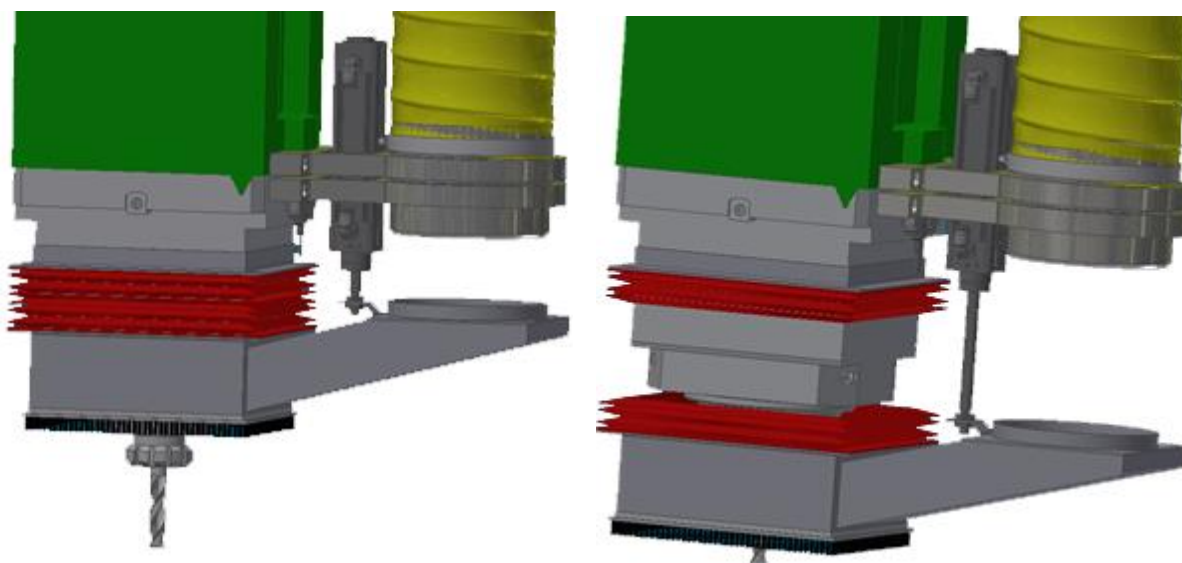
9.2.1 Flexibilní hubice přímé hlavy

Největší výhoda flexibilní hubice spočívá v najetí nad obráběnou plochu a tím uzavření prostoru. Při poloze hubice nejbližší smykadlu byla hubice navržena tak, aby bylo možné vyměnit nástroj.



Obr. 48) Pohled na polohu hubice při automatické výměně

Tím, že hubice vyjíždí tak vysoko je nutné, aby kopírovala tvar frézovací hlavy. Jedná se o svarek z plechu tloušťky 2mm. Všechny části se nechají vypálit laserem. Flexibilní pohyb je zajištěn pomocí pneumatického válce a svázání pohyblivých součástí s pevnými pomocí stlačitelné hadice (použita podél smykadla, na obrázku 49 chybí) a krycího měchu čtvercového průřezu používaných u krytování strojů (červená barva v obrázku 49). Na základě zvolených nástrojů byla vybrána délka zdvihu hubice na 100mm. Pohyb měl vykonávat pneumatický válec. Problém byl v umístění válce tak, aby nebyl omezen rozsah stroje.

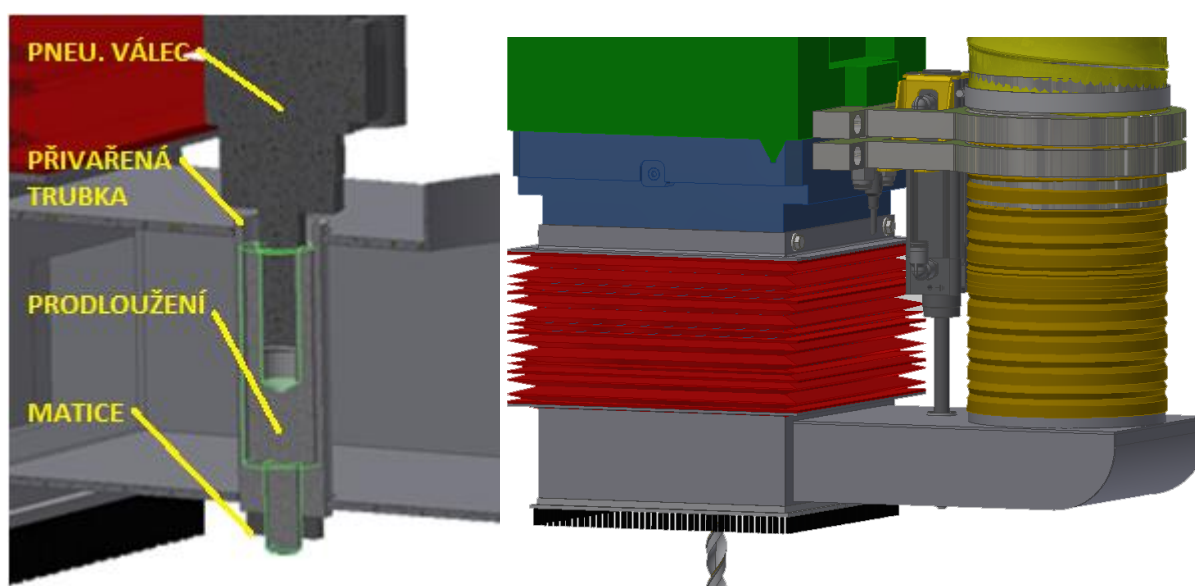


Obr. 49) Vlevo hubice ve zdvižené poloze, vpravo v poloze při najetí nad obrobek

Tento problém se nepodařilo vyřešit, tak se muselo přistoupit ke snížení zdvihu válce ze 100mm na 70mm. Bylo nutné i změnit tvar hubice. Válec je spuštěný níže a neomezuje rozsah osy Z. Na obrázku 50 je viditelné, jak je válec spojen s hubicí. Bylo nutné prodloužit pístní tyč. Na obrázku je patrné, že válec je v poloze, kdy je hubice kousek od čela válce. Nebylo možné válec k hubici přišroubovat, proto jsem se rozhodl udělat v hubici otvor. Do otvoru se přivaří trubka a na pístní tyč udělat prodloužení, které je zároveň v trubce uloženo s malou vůlí. Tím zaručuje po stáhnutí ze spodní strany i směr vedení hubice a nebude docházet k jejímu vychýlení z přímého směru, protože směr by měl udržet pneumatický válec. Je ovšem otázkou

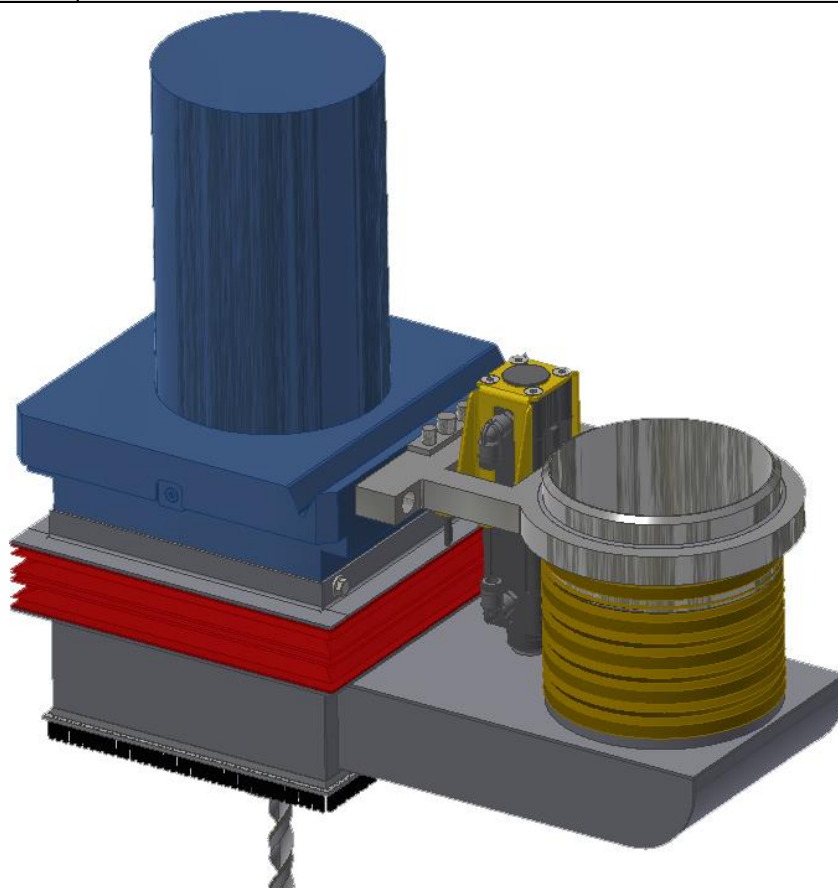
experimentu, zda takové vedení bude dostatečné a nebylo by nutné ještě přidat vodící tyč na protější stranu hlavy.

V případě výběru tohoto řešení bude nutné, jak jsem již zmiňoval, přivést média na čelo smykadla, konkrétně 2 pneumatické hadice Ø8 mm a jeden elektrický kabel pro řízení polohy válce. Napojení by bylo provedeno pomocí spojek použitých na rozhraní hlavy užívané pro elektronické a pneumatické obvody. Po prohlídce smykadla ve firmě jsem ovšem zjistil, že pokud je na stroji použito naháněných nástrojů, je smykadlo 240 mm x 240 mm takřka plné hadic, trubek, kabelů a není již místo umístit žádné médium. Bylo by tedy nutné změnit tvar smykadla a těsnění ve smykadlové části stroje, což je už celkem velký zásah do stěžejních stávajících komponentů stroje.



Obr. 50) Vlevo uložení pneumatického válce, vpravo celkový pohled na flexibilní hubici

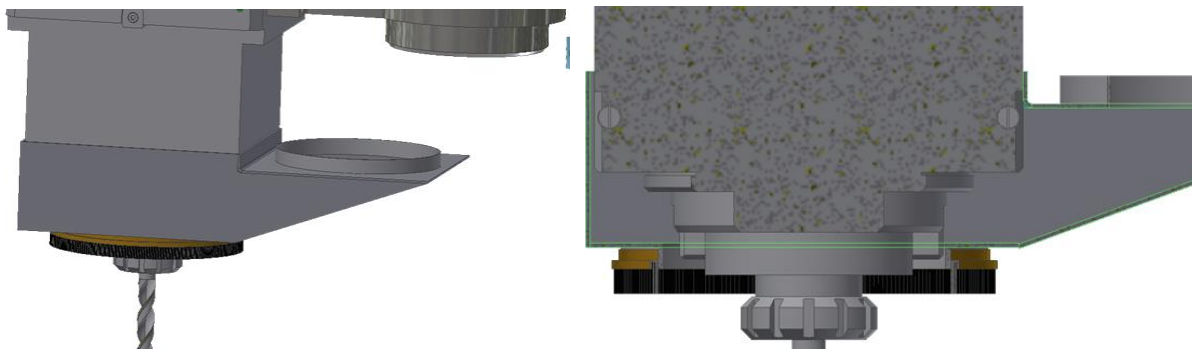
Při výměně hlavy dochází k odpojení včetně pneumatického válce i hubice, jak je patrné z obrázku 51. Dále je viditelné rozšíření smykadla a připojovací rozhraní na přírubě. Příruba je na hlavě přišroubovaná a polohu zaručují dva kolíky. Válec je přišroubován pomocí plechového držáku k přírubě hlavy. Dále bylo nutné respektovat ukládání hlav do zásobníku na odkládací „kameny“ hlavy, tzn. nic nesmí překážet při najíždění do zásobníku hlav, což bylo dodrženo. Hubice váží přibližně 4kg, čili přišroubování pomocí 4 šroubů M5 k frézovací hlavě je dostatečné.



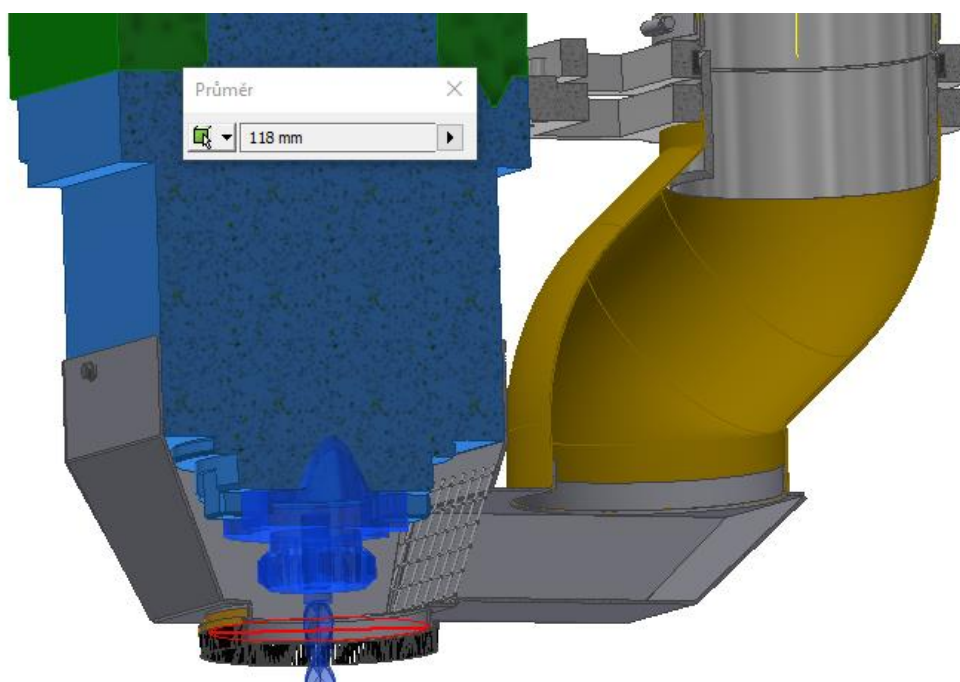
Obr. 51) Celkový pohled na flexibilní hubici včetně hlavy

9.2.2 Pevná hubice přímé hlavy

Velká přednost pevné hubice spočívá v tom, že není nutné k ní přivádět žádné z medií. Jedná se o jednoduchý svařenec z několika plechů, spojený následně hadicí k přírubě hlavy. Dále je velmi lehký a zabírá relativně málo prostoru. Hubici jsem se snažil vymyslet tak, aby bylo možné vyměnit automaticky nástroj. Jak je z obrázků patrné, k výměně by ale nedošlo a odsávací prostor z hubice je z větší poloviny překrytý hlavou. Od špičky nástroje je tedy velmi vzdálený. Navíc otevřený prostor je blízko rotačních částí s labyrintovým těsněním a mohlo by docházet k vysávání maziva z hlavy. Další nevýhodou by bylo nasazování hadice k propojení hubice a příruby. Vývod z hubice by bylo nutné prodloužit a zabíral by více prostoru.

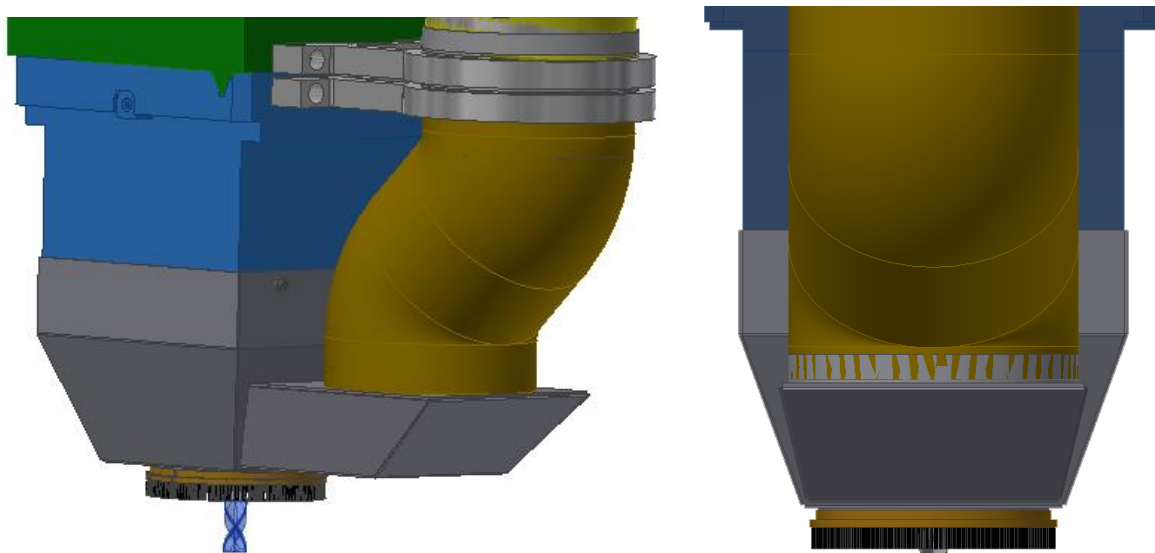


Obr. 52) Návrh hubice pro automatickou výměnu nástrojů



Obr. 53) Řez pevnou hubicí přímé hlavy

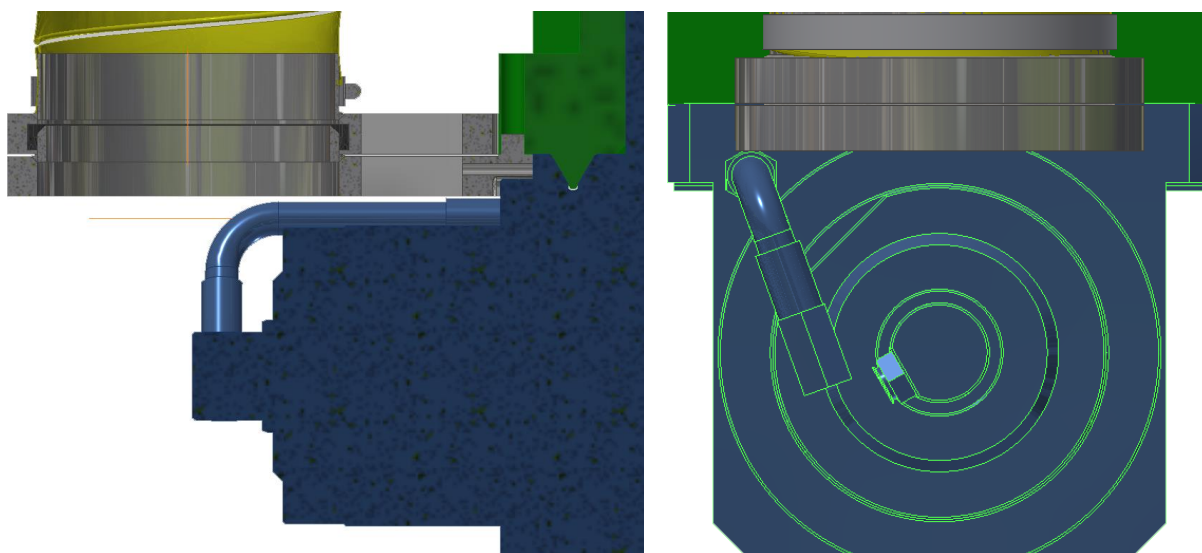
Vzhledem k tomu, že automatická výměna u pevné hubice nepřipadá v úvahu, došlo k úpravě hubice tak, aby bylo odsávání efektivnější. Hubice byla prodloužena, aby se uzavřel prostor co nejtěsněji nad nástrojem. Úhlové zúžení hubice má opodstatnění v úspoře prostoru kolem hlavy, a také zmenšení odsávaného prostoru kolem nástroje. Ústí hubice má průměr 118mm, což je dostačující, aby obsluha manuálně vyměnila nástroj a mohly být použity vybrané nástroje k daným aplikacím. Opět byla snaha co nejvíce pak minimalizovat okolní rozměry hubice. Z toho důvodu je vývod co nejbližší u hubice a je patrné i úhlové skosení. Při návrhu bylo také snahou vyhýbat se přechodům a pokud možno je dělat co nejplynulejší, aby nedocházelo k velkým ztrátám v potrubí. Poslední návrh nevyžaduje skoro žádný zásah do stroje. Pouze bude nutné vyvrtat 4 závitové otvory M5 ve frézovací hlavě jako u flexibilního návrhu. Do hubice bylo umístěné síto o rozměrech oka 12,5mm x 12,5mm. Toto síto je zde z důvodu, aby nedošlo k nasátí například opomenutého ručníku. Došlo by k ucpání systému a bylo by náročné zjišťovat, kde ručník zůstal. Na obrázku 54 je pohled na hubici přímé hlavy. Příruba s hubicí je spojena pomocí PVC hadice. Z pohledu na hlavu v pravé části obrázku 54 je patrné, že nebude nic překážet v ukládání hlavy do zásobníku hlav.



Obr. 54) Pohled na konečný návrh pevné hubice přímé hlavy

9.3 Hubice úhlové hlavy

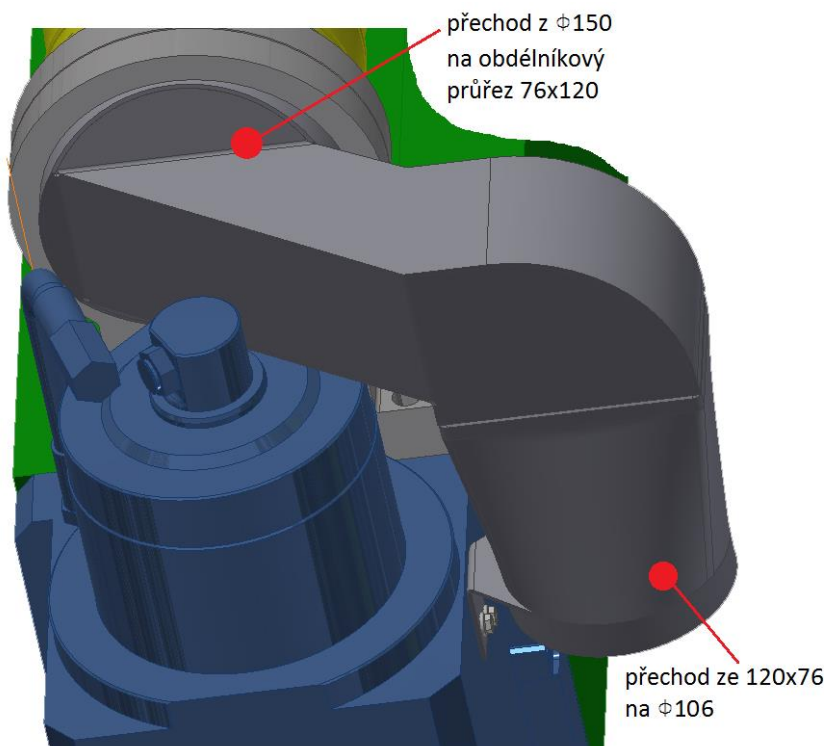
Rozhraní mezi smykadlem a hlavou zůstává totožné, což je pochopitelné, protože na stroji je možné používat jak úhlovou, tak přímou hlavu. Musí být umožněna automatická výměna těchto hlav. Máme opět 2 příruby, které budou do sebe najíždět. Nastává zde ovšem problém s prostorem pod přírubou hlavy. Dochází zde k tomu, že úhlová hlava přesahuje průřez smykadla, je tedy nutné z příruby udělat nějaké zúžení na požadovaný tvar, který je možné zde navést od čela vřetena.



Obr. 55) Pohled na prostor mezi úhlovou hlavou a rozhraním

Nástroj je orientován na opačné straně smykadla než přivedená hadice. Potrubí tedy bude vedeno po boku hlavy. Musí být ale vedeno tak, aby došlo ke vložení hlavy do zásobníku hlav. Řešení pro přechod z příruby na vodorovný směr podél hlavy, kde se připojí posléze hubice, bylo řešeno pomocí svařence z vypálených a ohýbaných plechů (Obr. 55). Bude zde

docházet k tlakovým ztrátám, ovšem plynulé řešení zde není možné. Snahou tedy bylo dělat přechody z průřezů opět co nejjednodušší. Tento přechodový díl byl navržen tak, aby mohlo dojít k uložení hlavy do zásobníku hlav. Hadice vedená podél hlavy by také neměla uložení překážet.

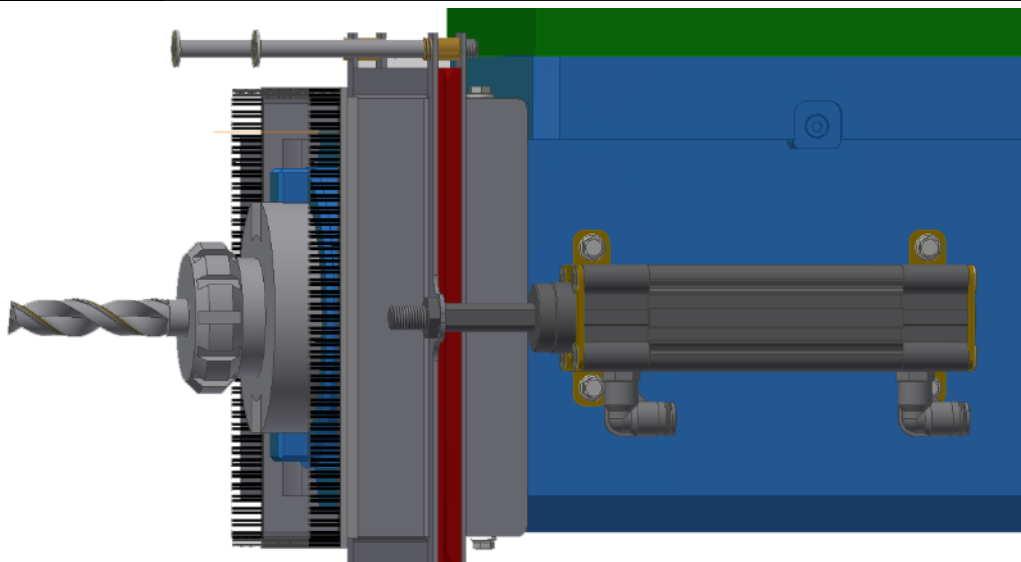


Obr. 56) Svařenec rozhraní pro úhlovou hlavu

Přechod z obdélníkového průřezu 120 mm x 76 mm na $\phi 106$ mm, je vyroben z trubky $\phi 110$ mm tl. 2mm a jejím přetvoření na obdélníkový průřez.

9.3.1 Flexibilní hubice úhlové hlavy

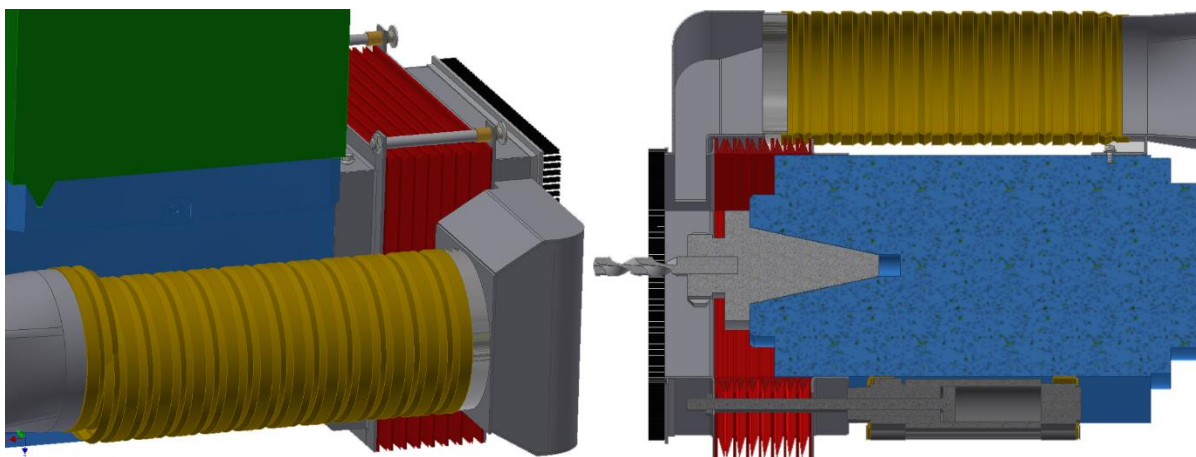
Tak jako u přímé hlavy je hubice navržena k automatické výměně nástroje. V principu funguje hubice totožně jako u přímé hlavy. K polohování je použit stejný pneumatický válec. Díky vodorovnému uložení hlavy bylo možné využít obou stran hlavy. Jedna k vedení potrubí, druhá k upevnění pneumatického válce.



Obr. 57) Pohled ze strany pneumatického válce

Problém nastává s vedením hubice, protože ve vodorovném směru by se vychylovala z přímého směru. U přímé hlavy gravitace zajistila přímost vedení spolu s čepem na pneumatickém válci. U úhlové hlavy bylo využito dvou vodících broušených tyčí $\varnothing 8$ mm. V pohyblivé části jsou pak našroubována mosazná nebo teflonová samomazná pouzdra. Aby nedocházelo k vyjetí z vedení, je pak na konci každé tyče navařena podložka. Pouzdro by mělo být mimo prашnou oblast. Ovšem i v případě vydrhnutí by bylo pouzdro jednoduché vyměnit.

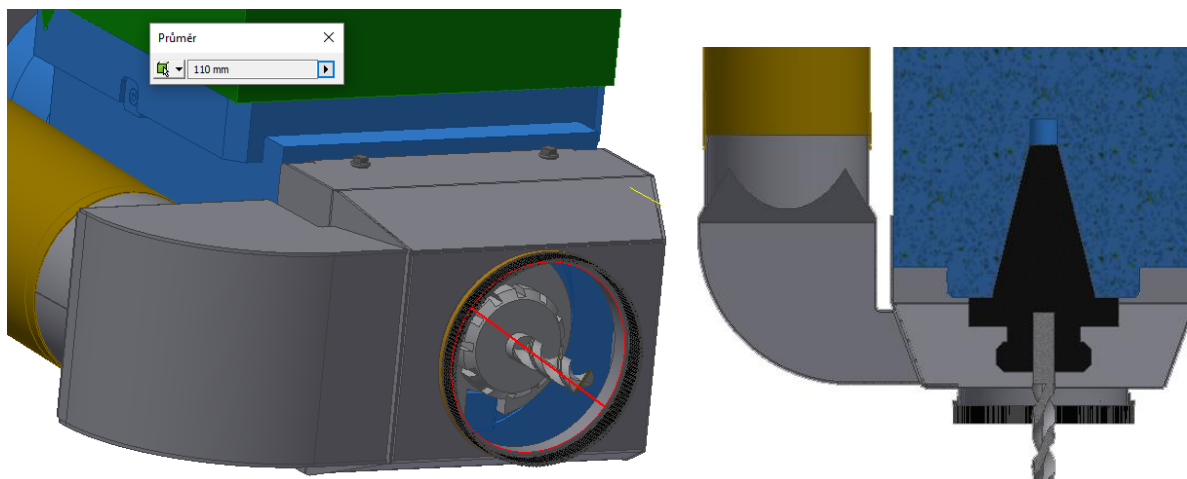
Z druhé strany hlavy bude vedeno potrubí. Hubice navazuje na dříve popsanou přírubu flexibilní hadicí $\varnothing 110$ mm. Snaha při tvoření přechodové části bylo opět dělat přechody z jednotlivých průřezů co nejplynuleji. Hubice je opět přišroubována pomocí 4 šroubů M5 k hlavě a vyrobena z plechu tl. 2mm. Díly jsou vypáleny laserem a po ohnutí svařeny. Bohužel u úhlové hlavy bude sací výkon nižší, což je způsobeno tvarovými přechody v potrubí. Další úskalí by mohlo nastat u použití flexibilní hadice mezi hubicí a přírubou, kde by mohl zůstat usazený prach z obrábění. Bylo by tedy nutné jednou za čas hubici vysunout a odsát tyto nečistoty. Opět je celý systém odsávání na hlavě navrhnut s možností uložení hlavy do zásobníku hlav.



Obr. 58) Vlevo pohled ze strany stlačitelné hadice, vpravo pohled v řezu

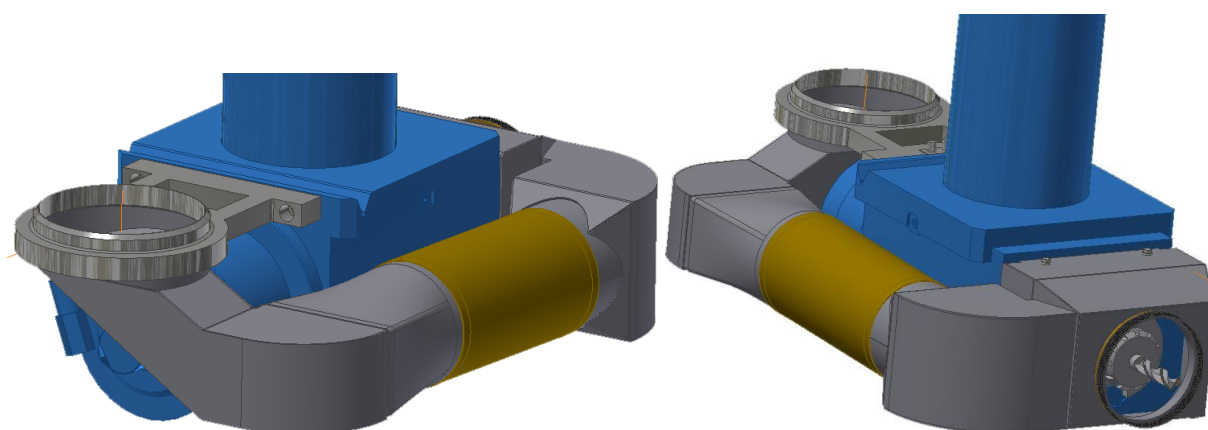
9.3.2 Pevná hubice úhlové hlavy

Pevná hubice úhlové hlavy byla navržena podobně jako hubice hlavy přímé. Opět se jedná o svařenec z plechů a je snaha vytvořit plynulé přechody kvůli snížení tlakových ztrát. Ústí hubice má $\varnothing 110$ mm oproti 120 mm u hlavy přímé. Je to z toho důvodu, že průřez hlavy, ve kterém je hubice přišroubována, není čtvercový 200 mm, ale obdélníkový 200 mm x 160 mm. I tento průměr je ale dostačující k tomu, aby obsluha manuálně vyměnila nástroj. Zkosení plechu je opět kvůli snížení zástavbového prostoru.



Obr. 59) Vlevo pevná hubice úhlové hlavy, vpravo řez pevnou hubicí úhlové hlavy

Hubice je přišroubována 4 šrouby M5 k úhlové hlavě. Spojena se svařencem příruby je pak pomocí PVC hadice $\varnothing 110$ mm. Výhoda této hadice proti flexibilní spočívá v tom, že vnitřní průměr je hladký, nedochází zde tedy k usazování nečistot, a proudění je plynulejší. Na obrázku 60 je zobrazena úhlová hlava určena pro odsávání. Bude opět uložena do zásobníku hlav na odkládací kameny včetně hubice. Vzhledem k eliminaci pohyblivých částí se snižuje riziko poškození hubice, resp. natržení pohyblivé hadice.



Obr. 60) Úhlová hlava určená pro stroj s odsáváním z místa řezu

9.4 Výběr hubice

K vyhodnocení byla použita opět Bazická bodovací metoda. Vyhodnocení je provedeno pouze mezi pevnou nebo flexibilní hubicí, na obou hlavách tedy bude použita stejná hubice.

VLASTNOST	OZN.	V1			
		tj	g _n	P _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	3	0,8	50	1,6
Uzpůsobení obrábění	T2	5	0,6	20	3
Ekonomičnost	T3	3	0,7	33,333	2,1
Životnost	T4	3	0,5	33,333	1,5
Zásahy do stroje	T5	2	0,7	50	1,4

Tab 18) Varianta 1 – flexibilní hubice

VLASTNOST	OZN.	V2			
		tj	g _n	P _T	τ _n
Jednoduchost konstrukce	T1	4	0,8	25	3,2
Uzpůsobení obrábění	T2	1	0,6	100	0,6
Ekonomičnost	T3	4	0,7	25	2,8
Životnost	T4	4	0,5	25	2
Zásahy do stroje	T5	4	0,7	25	2,8

Tab 19) Varianta 2 – pevná hubice

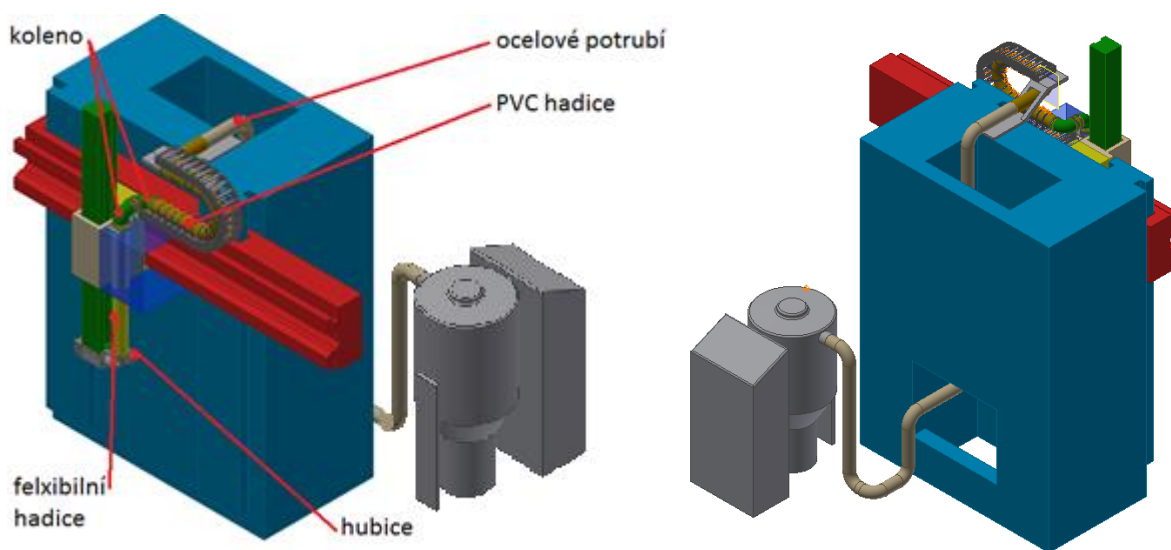
τ	V _n
0,419393939	V1
0,475151515	V2

Tab 20) Vyhodnocení

Dle hodnoticí metody vyšla výhodněji hubice pevná. Je to především kvůli jednoduchosti řešení a malým zásahům do stávajících součástí stroje. Jak již bylo řečeno u aplikace flexibilní hubice, bylo by nutné upravit tvar smykadla a případně rozhraní mezi hlavou a smykadlem, protože by přibýly 2 pneumatické konektory a jeden elektrický. Dále by hubice byla náchylnější na poškození kvůli použití flexibilních měchů. Dá se tedy akceptovat to, že na stroji nebude možná automatická výměna nástroje. Jedná se především o vrtání připojovacích děr a předpoklad je takový, že nebude nutné nástroj měnit v krátkých časových intervalech. Vzdálenost hrany hubice od čela vybraného kleštinového upínače, pro průměry nástroje do 18 mm, je 24 mm. To je pak třeba brát v úvahu při volbě délky nástroje.

10 VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT V POTRUBÍ

V celém systému je několik přechodů, kolen, a je také nutné brát v úvahu délkové ztráty. Vzhledem k tomu, že neznáme umístění filtrační věže vůči stroji, není možné přesně odhadnout ztráty ve vedení k PVC hadici umístěné na energetickém řetězu. Délka PVC hadice se také mění spolu s konkrétním strojem a jeho rozjezdy, a to se týká i flexibilní hadice osy Z. Vycházelo se tedy z rozmístění, jak je zobrazeno na obrázku 61. Ztráty budou počítány při užití jak úhlové hlavy, tak i přímé. Hubice úhlové hlavy je tvarově složitější než u hlavy přímé a ztráty budou tím pádem větší.



Obr. 61) Pohled na stroj včetně popisu odsávání

V ocelovém potrubí je 8 kolen a 9,2m přímého potrubí. PVC hadice pro výpočet bude uvažována v délce 4m a flexibilní hadice 2m. Dále jsou zde další 2 ocelová kolena pro spojení flexibilní hadice a PVC hadice na horní straně teleskopického krytu. Poté bude nutné spočítat ztráty v hubici úhlové hlavy. Vzhledem k tomu, že nejsem schopen říct, kolik bude potřeba odsát materiálu a jaké technologické operace se na stroji přesně provádí, přistoupil jsem k výpočtu obráceně. Zvolil jsem si objemový průtok $1200\text{m}^3/\text{hod}$. Po spočítání ztrát v potrubí vyberu vhodnou jednotku s tímto průtokem a spočítám, kolik by daná jednotka odsála prachu. Při nedostatečném výkonu by se vybrala výkonnější jednotka.

Při výpočtu délkových ztrát jsem použil rovnici:

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \cdot \frac{z \cdot R \cdot T \cdot |Q_M| \cdot Q_M}{S^2 \cdot D} \cdot L$$

(1) Výpočet tlakových ztrát

Molární plynová konstanta	Rm	8,3143	J/k/mol
Vzduch	Mm	28,96	kg/kmol
Specifická plynová konstanta	R	287,096	J/kg/K
Teplota	t	20	°C
Kritická teplota	Tkr	-140,7	°C
Kritický tlak	pkr	3,6	Mpa
	T/Tkr	2,213288	
	p/pkr	0,025	
	Z	1	
Hmotnostní průtok	Qm	0,2258	kg/s
Průměr potrubí	D	0,15	m
Průřez potrubí	S	0,017671	m ²

Tab 21) Hodnoty vzduchu pro výpočet délkových ztrát

Část potrubí bude z ocelového potrubí. V ocelovém potrubí je $\lambda=0,018$. V PVC hadici $\lambda=0,018$ a ve flexibilní hadici $\lambda=0,192$. Drsnost povrchu v ocelovém a PVC potrubí je velmi podobná, výpočet je v rovnicích vlevo. Pro stlačitelnou hadici jsou rovnice uvedeny vpravo.

$$u_1 := 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_1 := 3.2 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}$$

$$r_1 := 0.075 \text{ m}$$

$$d_1 := 0.150 \cdot \text{m}$$

$$v_1 := 1.5 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Re}_1 := \frac{u_1 \cdot r_1}{v_1} = 1 \times 10^5$$

(2) Výpočet Reynoldsova čísla

$$B_1 := \left(\frac{37530}{\text{Re}_1} \right)^{16}$$

(3) Výpočet koeficientu B

$$A_1 := \left[-2.457 \cdot \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{\text{Re}_1} \right)^{0.9} + 0.27 \cdot \frac{k_1}{d_1}} \right] \right]^{16}$$

(4) Výpočet koeficientu A

$$\lambda_1 := 8 \cdot \sqrt[12]{\left(\frac{8}{\text{Re}_1} \right)^{12} + \frac{1}{(A_1 + B_1)^3}} = 0.018$$

(5) Výpočet ztrátového součinitele λ

$$u_2 := 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_2 := 40 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}$$

$$r_2 := 0.075 \text{ m}$$

$$d_2 := 0.150 \cdot \text{m}$$

$$v_2 := 1.5 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Re}_2 := \frac{u_2 \cdot r_2}{v_2} = 1 \times 10^5$$

$$B_2 := \left(\frac{37530}{\text{Re}_2} \right)^{16}$$

$$A_2 := \left[-2.457 \cdot \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{\text{Re}_2} \right)^{0.9} + 0.27 \cdot \frac{k_2}{d_2}} \right] \right]^{16}$$

$$\lambda_2 := 8 \cdot \sqrt[12]{\left(\frac{8}{\text{Re}_2} \right)^{12} + \frac{1}{(A_2 + B_2)^3}} = 0.192$$

u: průměrná rychlost proudění
r: poloměr potrubí
v: kinematická viskozita

Re: Reynoldsovo číslo
k: drsnost povrchu
d: průměr potrubí

	Délkové ztráty[Pa]
ocelové potrubí	92
PVC hadice	46
flexibilní hadice	196
celkem	333

Tab 22) Délkové ztráty v potrubí

Pro výpočet místních ztrát jsem poté využil internetové stránky www.qpro.cz, kde se nachází výpočtář pro proudění vzduchu v potrubí. Jsou zde i moduly pro výpočet místních ztrát v různých typech kolen, tvarových přechodů a jiných.

Vzhledem k tomu, že nevím, na jakém principu funguje výpočet na stránce, ověřil jsem si jeho přesnost s analytickým výpočtem při výpočtu délkových ztrát v ocelovém potrubí. Výsledkem bylo 28 Pa/m. Na délku ocelového potrubí 9,2m poté ztráty vycházejí 258Pa. Je tedy zřejmé, že výpočet na stránce probíhá s bezpečností skoro tři.

Obr. 62) Výpočet délkových ztrát pomocí stránky www.qpro.cz [37]

V potrubí je 10 ocelových kolen a dva ohyby na PVC hadici při kopírování tvaru energetického řetězu. Těmto ohybům přiřadím stejnou hodnotu ztrát jako v ocelovém kolenu.

Obr. 63) Výpočet ztrát v ocelovém kolenu pomocí stránky www.qpro.cz [37]

Celková ztráta v kolenech a PVC hadici je 684 Pa.

V první řadě počítám s hubicí úhlové hlavy, která je tvarově dost složitá a je zde několik přechodů a čtyřhranných kolien.

Přechod $\varnothing 150 \text{ mm} \rightarrow 120 \text{ mm} \times 76 \text{ mm}$

	Vstupní profil index 1	Výstupní profil index 2	
Rozměr A (nebo průměr D):	150	120	mm
Rozměr B (nebo 0 pro kruh):	0	76	mm
Průměrná rychlost (w_1 a w_2):	18.9	36.5	m/s
Souměrnost přechodu:	☐ Souměrný ☒ Nesouměrný		
Délka přechodu:	15	mm	
Průtok vzduchu:	1200	m ³ /h	
Hustota vzduchu:	1.23	kg/m ³	
Součinitel místního odporu:	0.0935	(-)	
		VYPOČÍTAT VYMAZAT	
Tlaková ztráta - výsledek:	76.8	Pa	

Obr. 64) Výpočet přechodu pomocí stránky www.qpro.cz [37]

Koleno 120 mm x 76 mm 45°

Nastavení typu tvarovky:	Koleno čtyřhranné		
Rozměr A (D):	120	mm	
Rozměr B:	76	mm	
Poloměr R (r):	4	mm	
Úhel:	45	[°stupně]	
Hustota vzduchu:	1.23	kg/m ³	
Rychlost proudění:	36	m/s	
Průtok:	1185	m ³ /h	
Součinitel místního odporu:	0.347	(-)	
		VYPOČÍTAT VYMAZAT	
Tlaková ztráta - výsledek:	192	Pa	

Obr. 65) Výpočet čtyřhranného kolena pomocí stránky www.qpro.cz [37]

Koleno 120 mm x 76 mm 45°

192 Pa

Koleno 120 mm x 76 mm 90°

680Pa

Přechod 120 mm x 76 mm $\rightarrow \varnothing 106 \text{ mm}$, souměrný přechod; délka přechodu 110mm

11 Pa

Přechod $\varnothing 106 \text{ mm} \rightarrow 120 \text{ mm} \times 116 \text{ mm}$, souměrný přechod; délka přechodu 35mm.

118 Pa

Koleno $120 \text{ mm} \times 116 \text{ mm } 90^\circ$ + souměrný přechod $\rightarrow 120 \text{ mm} \times 76 \text{ mm}$

442 Pa

Při výpočtu hubice hlavy přímé je zde jen jeden přechod a spojení pomocí PVC hadice.

Ztráty v PVC hadici díky dvou ohybům, počítáno jako hladké koleno pod úhlem 45° .

Oblouk hladký $\varnothing 150 \text{ mm } 45^\circ$

185 Pa

Přechod $\varnothing 150 \text{ mm} \rightarrow 158 \text{ mm} \times 58 \text{ mm}$, nesouměrný přechod; délka přechodu 2mm.

174 Pa

Koleno $158 \text{ mm} \times 58 \text{ mm } 90^\circ$

723 Pa

Znázornil jsem formulář vždy každého typu místní ztráty jen jednou, poté už jsem zapsal pouze výsledky. **Celková hodnota místních ztrát v hubici úhlové hlavy je 2396 Pa. Celková hodnota ztrát v hubici hlavy přímé je 1267 Pa.**

Vzhledem k tomu, že délkové ztráty jsou přibližně 7x menší, je umístění Filtrační věže na hale celkem zanedbatelné, pokud se do systému nebude přidávat velký počet kolen nebo jiných tvarových elementů.

Celková hodnota tlakových ztrát v navrženém systému je 2729 Pa (úhlová hlava) nebo 1600 Pa (přímá hlava). Je dobré mít ale na paměti, že bezpečnost výpočtu je skoro 3 a ztráty budou tím pádem pravděpodobně menší.

10.1 Volba filtrační věže

Vzhledem k tomu, že bude odsávaný prach s hrozbou výbuchu, je nutné vybrat příslušnou filtrační věž. S firmou Wemac se mi dařilo zdárně spolupracovat ohledně teorie a bylo mně poskytnuto mnoho cenných rad. Tato firma se ovšem snaží vyhýbat odsávání potenciálně výbušného prachu, proto bylo nutné zvolit alternativu u jiné firmy. Vybral jsem filtrační věž FlexPAK od firmy Nederman, která se vyrábí i ve verzi pro odsávání výbušného materiálu. Jedná se o vysokopodtlakovou jednotku s velmi výkonným ventilátorem integrovaným do jednoho společného rámu s filtrační jednotkou. Zařízení dále obsahuje pokročilý startér, řídicí jednotku a frekvenční měnič, který řídí otáčky ventilátoru na základě požadavku na výkon jednotky. Zařízení je ideální pro odsávání všech typů znečištění, ať už se jedná o svařovací

dým, prach, špony, granulát. Samozřejmě je možné FlexPak použít také jako jednotku pro centrální úklid [38].

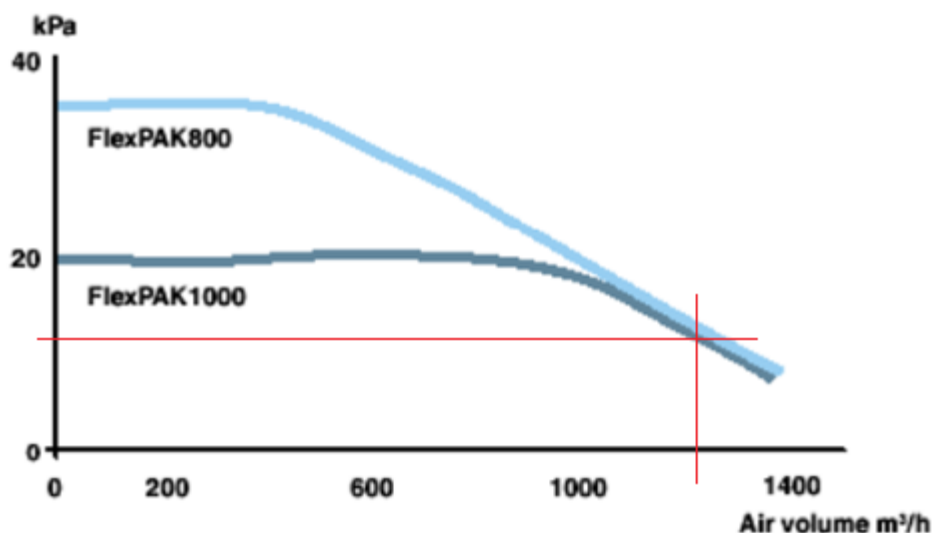
- funkce automatického startu a zastavení
- PLC ovladač a frekvenční měnič
- 70 l sběrná nádoba s kolečky

Model		FlexPAK 800	FlexPAK 1000
Příkon	kW	15	15
Maximální objemový průtok	m ³ /hod	1300	1300
Průtok při 15 kPa	m ³ /hod	-	1000
Průtok při 20 kPa	m ³ /hod	800	-
Filtrační oblast	m ²	6	6
Maximální podtlak	kPa	35	20
Objem kontejneru	l	70	70
Hlasitost dle ISO	dBA	70	70



Tab 23) Parametry filtrační jednotky FlexPAK [38]

Jednotka FlexPAK 800 je užívání převážně k odsávání větších částí znečištění jako jsou třísky z obrábění, šterk apod. Jednotka FlexPAK 1000 disponuje menším podtlakem a používá se k odsávání dýmu od svařování, k odsávání prachu a k aplikaci, kde nedochází k velkým výkyvům průtoku [38].



Obr. 66) Graf závislosti vyvinutého podtlaku na objemovém průtoku [38]

Byla vybrána jednotka FlexPAK 1000, protože je vhodná pro odsávání prachu a předpokládám, že nebude docházet k velkým výkyvům podtlaku, např. částečným ucpáním

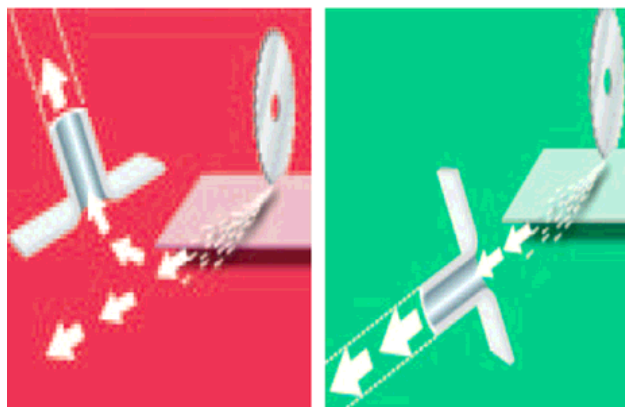
třískami apod. Již na začátku byl určen objemový průtok $1200 \text{ m}^3/\text{hod}$. Dosahovaná hodnota podtlaku, kterou vyvíjí filtrační jednotka je tedy přibližně $11,5 \text{ kPa}$. Při odečtení tlakových ztrát dosáhneme minimální hodnoty podtlaku (použití úhlové hlavy) **8771 Pa**.

10.2 Množství odsátého prachu

Na stroji se budou provádět dvě technologické operace. Při frézování bude docházet k velkému víření prachu. Naopak při vrtání bude prach vířen pouze v úvodní fázi, dokud nedojde k zapuštění špičky vrtáku do materiálu. Poté již bude materiál vytlačován na povrch pomocí šroubovice.

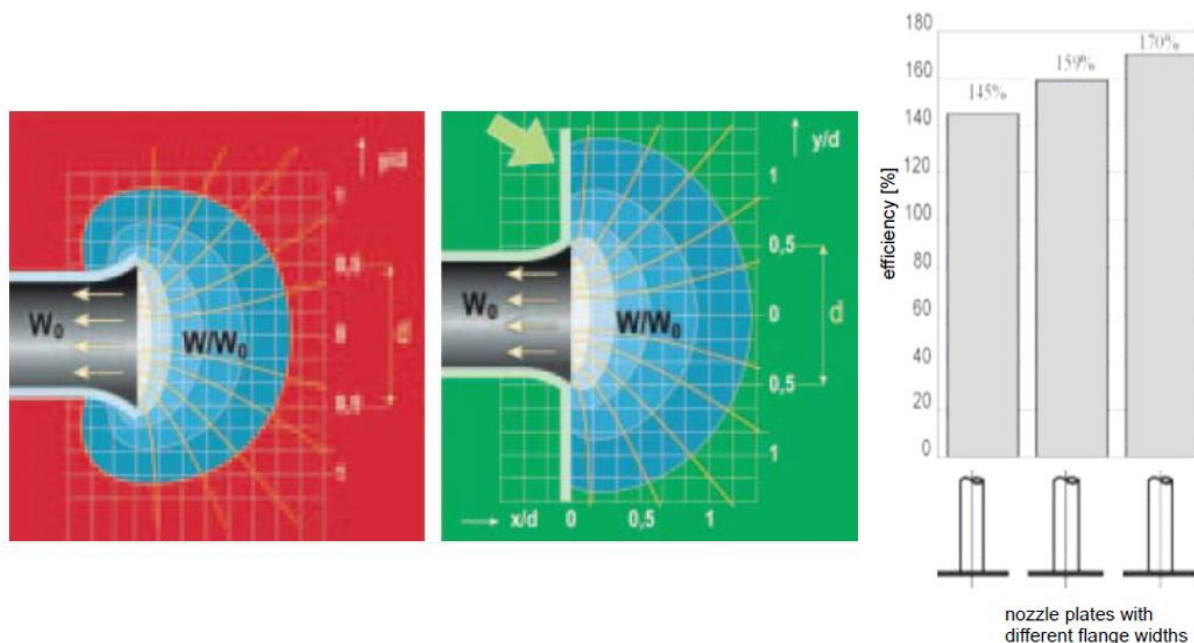
Jak již bylo zmíněno, při frézování bude docházet k velkému víření prachu. Vzhledem k tomu, že není známo, za jakých podmínek bude k frézování docházet, je výpočet bezpředmětný. Firmou Wemac mi bylo poskytnuto několik cenných informací a postupů, jakými se v takovém případě postupuje při návrhu potrubí.

V první řadě by měla být snaha potrubí umístit tak, aby směr odsávaných částic byl shodný s ústí hubice (Obr. 67) [39].



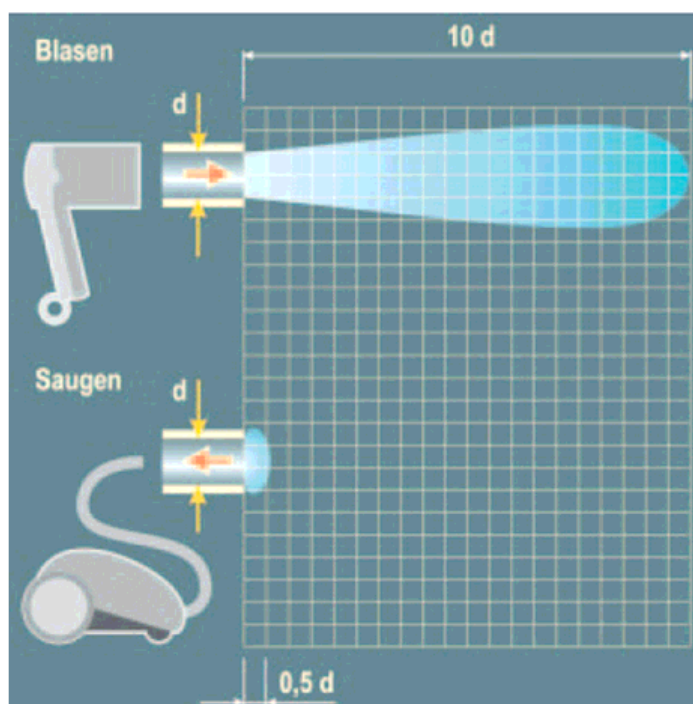
Obr. 67) Vhodné umístění hubice odsávání [39]

Dalším předpokladem vysoké efektivity odsávání je aplikace příruby kolem nasávací trubice. Při použití této příruby nedochází k víření prachu kolem trubky. Na základě velikosti užití příruby se pak efektivita mění [39].



Obr. 68) Zakončení hubice a její vliv na činnou oblast odsávání [39]

Dalším výchozím faktorem je určení činné oblasti odsávání. Hodnota určená v obrázku 69 0,5 d byla zjištěna na základě několika experimentálních měření [39].



Obr. 69) Činná oblast odsávání v porovnání s foukáním [39]

V této oblasti zobrazené na obrázku by mělo být odsáto až 100% prachu nebo jiného odsávaného materiálu. V případě užití úhlové hlavy, kde je potrubí zúženo na průměr 106 mm, je pak zcela čistá oblast do vzdálenosti 50 mm od ústí hubice. V případě užití hlavy přímé se tato vzdálenost zvýší na 75 mm, protože zde nedochází k redukci potrubí z průměru 150 mm.

Z této teorie tedy vyplývá, že operace frézování bude pro odsávání relativně příznivá, protože díky víření prachu dochází k jeho rozptýlení uvnitř hubice a přiblížení k odsávanému místu.

Při vrtání pak bude prach v případě užití úhlové hlavy volně padat tíhou gravitace, bude tedy také jistým způsobem ve vzduchu. Při použití hlavy přímé bude prach ležet na obráběné součásti. Při užití přímé hlavy jsou výrazně menší ztráty v potrubí a je zde větší činná oblast odsávání i vyvíjený podtlak, který dosahuje **9900 Pa**. Výrobky z kompozitu jsou většinou skořepinového tvaru. Předpokládali jsme max. průměr vrtáku 16mm. Na základě toho nebude množství prachu při vrtání díry tak velké. Díky tomu by daný podtlak měl být dostatečný k odsátí prachu.

Pro bližší určení spolehlivosti odsávání by bylo nutné provést numerický výpočet na základě konečných objemů (FEM). Toto ovšem převyšuje rozsah zadané práce. Vzhledem k tomu, že hubice je svařenec z vypálených plechů, nebude finančně nákladné vyrobit prototyp. Na základě výše zmíněné teorie od firmy Wemac by mělo být odsávání dostatečně dimenzováno. Na prototypu by se poté ověřilo, zda odsávání spolehlivě funguje.

11 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout systém odsávání pro obráběcí stroj EXPERTURN 1600C od firmy TOSHULIN a.s. Základní požadavky na zařízení jsou práce v trvalém provozu a odsávání z místa řezu. Odsávaným materiálem je prach vznikající při obrábění polotovaru z uhlíkového vlákna. Dále musí být zohledněna možnost automatického cyklu, tedy automatická výměna nástrojů a hlav. Zařízení by mělo co nejmenší mírou omezovat pracovní schopnosti stroje.

V první části práce je sepsána rešerše zabývající se problematikou odsávání. Je zde uvedeno, jak se dělí odsávání (mlha, prach), dále jsou popsány vlastnosti obráběného materiálu a aplikace použití.

V další části jsem se již věnoval samotnému řešení. V první řadě jsem se zabýval návrhem potrubí vedeného od odsávací věže na čelo smykadla. Stroj má 2 pohybové osy a to Z ve svislém směru (pojezd 1600 mm) a X ve vodorovném směru (pojezd 3400 mm). Potrubí bude přivedeno od filtrační věže na horní část stojanu stroje pomocí ocelového potrubí. Zde se na ocelové potrubí napojí PVC hadice, která bude svázaná s energetickým řetězem pomocí plastových spojek (viz. kap. 7.2). Pro svislý směr jsem se rozhodl použít stlačitelnou hadici Greyflex. Stlačitelnost hadice je 1:10. Hadice prochází skrz krytování stroje. V krytování stroje jsou vypáleny otvory, kudy prochází zakružená ocelová trubka jako vedení a ochrana této hadice. Přejít PVC hadice a stlačitelné hadice je realizovaný pomocí dvou ocelových kolen spojených spojkou SN150. Zvolené konstrukční řešení bylo vybráno na základě výsledku Bazické bodovací metody. Na čele smykadla je přišroubována příruba s těsněním. Tím vzniklo rozhraní pro napojení odsávání k hlavám.

Poté jsem navrhoval koncovou hubici odsávání umístěnou na hlavě tak, aby umožňovala odsávání z místa řezu. Navrhl jsem dvě varianty hubice. První byla flexibilní, kdy pohyb nad povrch obrobku zajišťuje pneumatický píst zdvihu 70mm. Druhým návrhem byla hubice pevná. Obě hubice jsou svařence z plechu tl. 2 mm materiálu 11373.1 dle ČSN. Následně bude hubice lakována do barvy stroje. Pro vyhodnocení jsem opět použil Bazickou bodovací metodu. Výhodněji vychází hubice pevná, i když zde nebude možná automatická výměna nástrojů. Hlavní výhoda je v jednoduchosti. Pro aplikaci flexibilní hubice by bylo nutné přivádět média pro její řízený pohyb. V případě úhlové hlavy pak docházelo ke komplikaci z hlediska prostoru mezi hlavou a navrženým rozhraním na čele smykadla. Navržený svařenec je tvarově složitější, ale to můžeme akceptovat, protože se skládá z vypálených a ohnutých plechů. Po svaření jsou pak příruby hlav obráběny do požadované přesnosti, aby nedocházelo ke kolizi při výměně.

V poslední části práce jsem provedl výpočet tlakových ztrát v navrženém systému. Pro výpočet délkových ztrát jsem použil analytického výpočtu. Pro výpočet místních ztrát jsem nedohledal v literatuře analytické výpočty, z toho důvodu jsem pro výpočet využil stránky www.qpro.cz. Správnost a přesnost výpočtu jsem si ověřil výpočtem délkových ztrát na dané stránce. Výsledky vycházely asi 3x větší než analytický výpočet. Dá se tedy předpokládat, že software uvažuje jistou bezpečnost. Po výpočtu ztrát jsem vybral filtrační jednotku FlexPAK od firmy Nederman. Jedná se o kompaktní vysoce podtlakovou jednotku určenou i pro odsávání výbušného prachu. Činná oblast odsávání pak byla určena na základě teorie poskytnuté firmou

Wemac. Je velmi náročné spočítat, kolik by daná jednotka s navrženým systémem odsála, protože neznáme technologii používanou na stroji.

Tato práce mě velmi obohatila po technické stránce, neboť práce byla zadána firmou TOSHULIN a.s. a mohl jsem využívat návštěvy firmy, kde jsem zjistil, jak stroje vypadají, kudy je možné vést potrubí a na co všechno je potřeba brát ohled.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Odsávání a filtrace v průmyslu: Wemac*. Praha, 2016
- [2] Suction from machinig space. *Erbo-gmbh* [online]. 2010 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.erbo-gmbh.com/sys/img/rotorbatt.jpg>
- [3] *Makino* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://www.makino.co.jp/en/product/graphite/images/v56i/v56i_kirikuzu_04.jpg
- [4] *Youtube* [online]. 2014 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=KqUzgsGd9dU>
- [5] *Jobs* [online]. 2013 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: [http://www.jobs.it/eng/speeder-grand-speeder?ct=1374688700952#!prettyPhoto\[gallery\]/1/](http://www.jobs.it/eng/speeder-grand-speeder?ct=1374688700952#!prettyPhoto[gallery]/1/)
- [6] Fibers well embedded. *Kraussmaffei* [online]. 2012 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://www.kraussmaffei.com/en/press-releases/d/thermoplastic_composites.html
- [7] 5-axis high speed machinig. *Breton* [online]. 2014 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://www.breton.it/machinetool/en/product/All/5-axis_high-speed_machining_centre_MATRIX_1000-1300/tab~Videos
- [8] *Brelotti* [online]. 2014 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.belotti.com/upload/fckeditor/image/foto%20cuffia%20prova.jpg>
- [9] Flexibilní potrubí-152mm. *Ventilatory* [online]. 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.ventilatory.net/flexibilni-potrubí/where/prumer-potrubí/152>
- [10] Spiro potrubí-150mm. *Ventilatory* [online]. 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.ventilatory.net/spiro-potrubí/ts-150-spiro-potrubí>
- [11] Ventilátory a dmychadla. *Nederman* [online]. 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.nederman.cz/products/fans-and-vacuum-pumps/medium-and-high-airflow-fans/combifab>
- [12] Filtry a komponenty pro vysoké nároky na čistotu. *KS klima-service* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/cz/filtry-a-komponenty-pro-vysoke-naroky-na-cistotu-hepa-ulpa-filtry>
- [13] *Odsávání a filtrace v průmyslu-WEMAC* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: www.wemac.cz
- [14] *Obrábění uhlíkového kompozitu-PRAMET TOOLS* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/>
- [15] Produktivní nástroje pro letecký průmysl a kosmonautiku. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/produktivni-nastroje-pro-letecky-prumysl-a-kosmonautiku.html>
- [16] Podíl CFK v konstrukci letadel. *CFK-Zeitlinie* [online]. 2014 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.risikoblog.de/wp-content/uploads/2011/10/CFK-Zeitlinie-k.jpg>
- [17] Výbuchy plynů a par hořlavých kapalin. *Igniscon* [online]. 2013 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.igniscon.cz/informace-o-vybuchu/vybuchy-plynu-a-par-horlavych-kapalin/>

- [18] An Inside Look at BMW's Carbon Fiber Manufacturing Process. *Youtube* [online]. 2011 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=kaoq8Mc4xxw>
- [19] *Compotech* [online]. 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://cz.compotech.com/vrobky_a_aplikace
- [20] *Walter-tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://www.walter-tools.com/cs-cz/industry_solutions/aerospace/structural_wing_assemblies/Pages/default.aspx
- [21] *Nederman Filtermax DF* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.nederman.cz/products/cartridge-filters/~media/ExtranetDocuments/PublishedCatalogue/CAT%C3%81LOGO%20FILTERMAX%20DF.ashx>
- [22] OSKAR AIR PRODUCTS. *Wemac* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.wemac.cz/produkty/filtrmistr/principy/oskar/crawlair/filtracni-veze-fpm>
- [23] Dust extractor system RE 301 D 11. *Ringler* [online]. 2015 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://www.ringler-gmbh.de/ringler_en/products/Dust_extractor_systems.htm
- [24] Filtrační jednotky. *Urban technik* [online]. 2014 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.urban-technik.cz/cz/af55-filtracni-jednotky.html>
- [25] BAIGORRI HERMOSO, Julian. *Tool Holder Comprising A Suction System*. 2008. US 11/916,745. Uděleno 28.7.2005. Zapsáno 28.8.2008.
- [26] HIDEITA, Morihiro, Koji SATO, Hisayuki OODE, Shinya MATSUO a Tatsuo NAKAHATA. *Attachment for dust collection for cutting machining, dust collecting duct for machine tools, tool holder for machine tools, and machine tool*. 2013. EP20130165296. Uděleno 25.4.2013. Zapsáno 27.11.2013.
- [27] SUGATA, Shinsuke a Yoshinori SEO. *Chip suction type machine tool*. 2002. US 09/889,785. Uděleno 9.2.2000. Zapsáno 28.5.2002.
- [25] Extor 3500. *Extor* [online]. 2012 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.extor.fi/en/Products/Extor%203500/>
- [28] STOKLÁSEK, Martin. *Layout ET1600C*. Hulín, 2015.
- [29] Přednášky z G1S, autor: Prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Feng.
- [30] Vodicí řetězy MURRPLASTIK. *Proelektrotechniky* [online]. 2013 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/kabelova-technika/4.php>
- [31] DOC. ING. KNOFLÍČEK, Radek, Dr. *Multikriteriální metoda hodnocení navrhovaných variant: Bazická bodovací metoda*. Brno, 2008.
- [32] *Vzduchotechnika* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.vzduchotechnika-eshop.cz/-p-1685.html?cPath=0>
- [33] *Rubena* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.rubena.cz/manzety/c-2205/?orderby=Default&iop=25&lngid=1&filters=#containerBody>
- [34] *Trelleborg* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.tss.trelleborg.com/ecatalog/index.php?pid=37386&pgid=1041&tgrpid=A1G030&chash=4cb7d4>
- [35] SÝKORA, R. *Obrábění kompozitních materiálů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2012. 73 s. Vedoucí bakalářské práce Ing Miroslav Zetek, Ph.D.
- [36] *Sandvik-Coromant* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/composite-solutions/Pages/default.aspx>
- [37] *Qpro* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/>

- [38] *FlexPAK, The leading extraction solution.* Německo, 2009.
- [39] *Air Pollution Control: Capture of air pollutants.* Frankfurt, Německo, 2006.

13 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A ROVNIC

13.1 Seznam tabulek

TAB 1) VÝROBCI NABÍZEJÍCÍ ODSÁVÁNÍ Z MÍSTA ŘEZU	18
TAB 2) SKUPINY VÝBUŠNOSTI MATERIÁLŮ [16]	25
TAB 3) VSTUPNÍ PARAMETRY STROJE	35
TAB 4) VARIANTA 1 – TELESKOPICKÉ HADICE FIRMY WEMAC	48
TAB 5) VARIANTA 2 – ODVÍJECÍ BUBEN	48
TAB 6) VARIANTA 3 – PEVNÁ TRUBKA VEDENA NA HORNÍ STRANU SMYKADLA	49
TAB 7) VARIANTA 4 – TRUBKA V TRUBCE S UŽITÍM OCHRANNÉ HADICE PROTI VYDÍRÁNÍ.....	49
TAB 8) VARIANTA 5 – FLEXIBILNÍ HADICE	49
TAB 9) VYHODNOCENÍ V OSE Z.....	49
TAB 10) VARIANTA 1 – PROVĚŠENÍ HADICE	50
TAB 11) VARIANTA 2 – UŽITÍ HADICE NEBO PLECHOVÉHO KORYTA V PŘÍČNÍKU STROJE	50
TAB 12) VARIANTA 3 – HADICE MEZI TELESKOPICKÝMI KRYTY	50
TAB 13) VARIANTA 4 – VYUŽITÍ ENERGETICKÉHO ŘETĚZU A UŽITÍ PVC HADICE.....	51
TAB 14) VYHODNOCENÍ V OSE X.....	51
TAB 15) PŘEHLED POUŽITÝCH HADIC [9]	52
TAB 16) PARAMETRY TĚSNÍCÍCH KROUŽKŮ [33;34]	56
TAB 17) VYBRANÉ NÁSTROJE [36].....	57
TAB 18) VARIANTA 1 – FLEXIBILNÍ HUBICE	67
TAB 19) VARIANTA 2 – PEVNÁ HUBICE	67
TAB 20) VYHODNOCENÍ	67
TAB 21) HODNOTY VZDUCHU PRO VÝPOČET DÉLKOVÝCH ZTRÁT	69
TAB 22) DÉLKOVÉ ZTRÁTY V POTRUBÍ.....	70
TAB 23) PARAMETRY FILTRAČNÍ JEDNOTKY FLEXPAC [38].....	73

13.2 Seznam obrázků

OBR. 1) VZDUCHOVÁ CLONA [1].....	15
OBR. 2) POTRUBÍ ODSÁVÁNÍ PORTÁLOVÉHO STROJE [2].....	16
OBR. 3) ODSÁVÁNÍ PRACOVNÍHO PROSTORU Z URČENÉHO MÍSTA [3].	16
OBR. 4) KONSTRUKCE HUBICE ODSÁVÁNÍ[4].....	18

OBR. 5) ČÁSTI ODSÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	19
OBR. 6) UKÁZKY HUBIC ODSÁVÁNÍ [5;6]	20
OBR. 7) HUBICE ÚHLOVÝCH HLAV [7;8]	20
OBR. 8) HADICE ODSÁVÁNÍ: VLEVO GREYFLEX, VPRAVO PVC HADICE [9]	21
OBR. 9) SPIRO-POTRUBÍ [10].....	21
OBR. 10) ODSÁVACÍ VENTILÁTOR FIRMY NEDERMAN [11]	22
OBR. 11) RŮZNÉ TYPY FILTRŮ [12].....	22
OBR. 12) ODLUČOVAČ OLEJOVÝCH EMULZÍ FILTERMISTXCEL [13].....	23
OBR. 13) VÍCESTUPŇOVÁ FILTRAČNÍ JEDNOTKA ABSOLENT [13]	24
OBR. 14) PRINCIP ODSÁVÁNÍ JEDNOTKY OSCAR URČENÉ PRO GRAFITOVÝ PRACH [13].....	24
OBR. 15) KONSTRUKČNÍ PODÍL CFK VE VÝVOJI LETADEL [16]	25
OBR. 16) VÝROBA VÝSLEDNÉHO MATERIÁLŮ DÍKY SPOJOVÁNÍ VLÁKEN A MATRICE [18]	26
OBR. 17) SMYKADLO Z KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU FIRMY TOSHULIN A.S. [19].....	27
OBR. 18) ŽEBRO KŘÍDLA LETADLA [20]	27
OBR. 19) FILTRAČNÍ JEDNOTKA NEDERMAN FILTERMAX DF 40 [21].....	28
OBR. 20) FILTRAČNÍ VĚŽE FPM [22].....	29
OBR. 21) ODSÁVACÍ JEDNOTKA RE 301 D 11 [23].....	30
OBR. 22) FILTRAČNÍ JEDNOTKA FIRMY URBAN-TECHNIK [24]	31
OBR. 23) FLTRAČNÍ VĚŽ EXTOR 3500 [25]	32
OBR. 24) HUBICE ŘÍZENÁ POMOCÍ PRUŽINY [25]	33
OBR. 25) HUBICE URČENÁ PRO TVAROVÉ FRÉZOVÁNÍ [26]	34
OBR. 26) ZCELA UZAVŘENA ODNÍMATELNÁ HUBICE [27]	34
OBR. 27) LAYOUT STROJE EXPERTURN 1600C [28]	35
OBR. 28) VLEVO SMYKADLO STOJŮ TOSHULIN, VPRAVO ODSÁVÁNÍ PORTÁLOVÉHO STROJE [29;2].....	36
OBR. 29) NÁVRH S POUŽITÍM TELESKOPICKÝCH TRUBEK FIRMY WEMAC.....	37
OBR. 30) NÁVRH POMOCÍ BUBNU NAVÍJENÉHO PRUŽINOU.....	38
OBR. 31) NÁVRH ŘEŠENÝ TRUBKOU VYVEDENOU NA HORNÍ STRANU SMYKADLA.....	39
OBR. 32) NÁVRH ULOŽENÍ POHYBLIVÉ TRUBKY VE STATICKÉ TRUBCE	40
OBR. 33) NÁVRH ULOŽENÍ POHYBLIVÉ TRUBKY VE STATICKÉ TRUBCE V IZOLACÍ VEDENÍ OD PRACHU	41

OBR. 34) NÁVRH POMOCÍ STLAČITELNÉ HADICE	42
OBR. 35) NÁVRH PRŮVĚSU HADICE	43
OBR. 36) NÁVRH SE STLAČITELNOU HADICÍ.....	43
OBR. 37) NÁVRH S PLECHOVÝM KORYTEM	44
OBR. 38) STLAČITELNÁ HADICE UMÍSTĚNA V TELESKOPICKÉM KRYTOVÁNÍ.....	45
OBR. 39) UMÍSTĚNÍ PVC HADICE NA ENERGETICKÉM ŘETĚZU [30]	45
OBR. 40) CELKOVÝ POHLED NA VEDENÍ POTRUBÍ PO STROJI	52
OBR. 41) PŘECHOD ODSÁVÁNÍ ZE SMĚRU Z DO X	53
OBR. 42) SPOJKA SN 150 [32]	53
OBR. 43) VLEVO ZAKRUŽENÝ KONEC VODÍCÍ TRUBKY, VPRAVO PŘÍRUBA OBRÁBĚCÍ HLAVY.....	54
OBR. 44) PŘECHOD ODSÁVÁNÍ ZE SMĚRU Z DO X PO PŘEHODNOCENÍ..	55
OBR. 45) VLEVO MANŽETA MA25, VPRAVO UMÍSTĚNÍ V PŘÍRUBĚ ROZHRANÍ [33]	55
OBR. 46) VYBRANÉ NÁSTROJE, VLEVO VRTÁNÍ, UPROSTŘED FRÉZOVÁNÍ KAPES, VPRAVO FRÉZOVÁNÍ ROVINNÝCH PLOCH [36]	57
OBR. 47) ROZHRANÍ ODSÁVÁNÍ NA ČELE SMYKADLA.....	58
OBR. 48) POHLED NA POLOHU HUBICE PŘI AUTOMATICKÉ VÝMĚNĚ ..	59
OBR. 49) VLEVO HUBICE VE ZDVIŽENÉ POLOZE, VPRAVO V POLOZE PŘI NAJETÍ NAD OBROBEK	59
OBR. 50) VLEVO ULOŽENÍ PNEUMATICKÉHO VÁLCE, VPRAVO CELKOVÝ POHLED NA FLEXIBILNÍ HUBICI.....	60
OBR. 51) CELKOVÝ POHLED NA FLEXIBILNÍ HUBICI VČETNĚ HLAVY..	61
OBR. 52) NÁVRH HUBICE PRO AUTOMATICKOU VÝMĚNU NÁSTROJŮ ..	61
OBR. 53) ŘEZ PEVNOU HUBICÍ PŘÍMÉ HLAVY	62
OBR. 54) POHLED NA KONEČNÝ NÁVRH PEVNÉ HUBICE PŘÍMÉ HLAVY	63
OBR. 55) POHLED NA PROSTOR MEZI ÚHLOVOU HLAVOU A ROZHRANÍM	63
OBR. 56) SVAŘENEC ROZHRANÍ PRO ÚHLOVOU HLAVU	64
OBR. 57) POHLED ZE STRANY PNEUMATICKÉHO VÁLCE.....	65
OBR. 58) VLEVO POHLED ZE STRANY STLAČITELNÉ HADICE, VPRAVO POHLED V ŘEZU	65
OBR. 59) VLEVO PEVNÁ HUBICE ÚHLOVÉ HLAVY, VPRAVO ŘEZ PEVNOU HUBICÍ ÚHLOVÉ HLAVY	66
OBR. 60) ÚHLOVÁ HLAVA URČENÁ PRO STROJ S ODSÁVÁNÍM Z MÍSTA ŘEZU.....	66

OBR. 61) POHLED NA STROJ VČETNĚ POPISU ODSÁVÁNÍ.....	68
OBR. 62) VÝPOČET DÉLKOVÝCH ZTRÁT POMOCÍ STRÁNKY WWW.QPRO.CZ [37]	70
OBR. 63) VÝPOČET ZTRÁT V OCELOVÉM KOLENU POMOCÍ STRÁNKY WWW.QPRO.CZ [37]	70
OBR. 64) VÝPOČET PŘECHODU POMOCÍ STRÁNKY WWW.QPRO.CZ [37]	71
OBR. 65) VÝPOČET ČTYŘHRANNÉHO KOLENA POMOCÍ STRÁNKY WWW.QPRO.CZ [37]	71
OBR. 66) GRAF ZÁVISLOSTI VYVINUTÉHO PODTLAKU NA OBJEMOVÉM PRŮTOKU [38]	73
OBR. 67) VHODNÉ UMÍSTĚNÍ HUBICE ODSÁVÁNÍ [39].....	74
OBR. 68) ZAKONČENÍ HUBICE A JEJÍ VLIV NA ČINNOU OBLAST ODSÁVÁNÍ [39]	75
OBR. 69) ČINNÁ OBLAST ODSÁVÁNÍ V POROVNÁNÍ S FOUKÁNÍM [39] ...	75

13.3 Seznam rovnic

(1) VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT	68
(2) VÝPOČET REYNOLDSOVA ČÍSLA	69
(3) VÝPOČET KOEFICIENTU B	69
(4) VÝPOČET KOEFICIENTU A	69
(5) VÝPOČET ZTRÁTOVÉHO SOUČinitele Λ	69

14 SEZNAM PŘÍLOH

14.1 Seznam tištěných příloh

Výkresy výpalků:

513-3001P1X01	513-3002P1X01	513-3003P1X01	513-3004P1X01
513-3001P1X02	513-3002P1X02	513-3003P1X02	513-3004P1X02
513-3001P1X03	513-3002P1X03	513-3003P1X03	513-3005P1X01
513-3001P1X04	513-3002P1X04	513-3003P1X04	513-3005P1X02
513-3001P1X05	513-3002P1X05	513-3003P1X05	
513-3001P1X06	513-3002P1X06	513-3003P1X06	
513-3001P1X07	513-3002P1X07	513-3003P1X07	
513-3001P1X08	513-3002P1X08	513-3003P1X08	
513-3001P1X09	513-3002P1X09	513-3003P1X09	
	513-3002P1X10	513-3003P1X10	

Výkresy svařenců:

513-R3001P1
513-R3002P1
513-R3003P1
513-R3004P1
513-R3005P1

Výkresy dílců

513-3006P1
513-3007P1
513-3009P1

Výkres sestavy:

513-V36P1

14.2 Seznam elektronických příloh

Výkresová dokumentace ve formátu PDF a idw.

3D dokumentace:

sestavy ve formátu iam. a step.

díly ve formátu ipt.