

Čistící kabina pro Rapid Prototyping

Bc. Jakub Matoušek

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub MATOUŠEK**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Konstrukce čistící kabiny pro rapid prototyping**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma**
- 2. Provedte dvě varianty konstrukčního návrhu čistícího zařízení**
- 3. Porovnejte a zhodnoťte návrhy**
- 4. Zhotovte kompletní výrobní dokumentaci**



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 22. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí čistící kabiny pro rapid prototyping. Čistící kabina je navržena pro modely zhotoveny metodou Polyjet.

V teoretické části jsou popsány jednotlivé metody rapid prototyping, jejich princip a použití. Dále také stručně zásady konstrukce a ergonomie na pracovišti.

Praktická část obsahuje návrh čtyř variant provedení čistící kabiny, z toho jsou dvě varianty konstrukční. Konstrukční varianty byly navrženy tak, aby se získala finančně dostupnější čistící kabina, než ta, kterou dodává firma Objet. Ke konstrukci byl použit program Catia V5 R18, normalizované části byly voleny podle katalogů dostupných dodavatelů.

Klíčová slova: Rapid prototyping, Polyjet, čistící kabina, Objet, konstrukce

ABSTRACT

This thesis deals with design and construction of cleaning box for rapid prototyping. Cleaning box is designed for models builded by using Polyjet technology.

In the theoretical part the various methods of rapid prototyping and application of their principles are described. The principles of design and ergonomics in the workplace are briefly described as well.

The practical part describes design of the four variants of cleaning box, of which two are construction variants. Construction variants were designed to reach more affordable cleaning box than those supplied by the company Objet. Catia V5 R18 was used for the design and standards were chosen according to the available suppliers.

Keywords: Rapid Prototyping, Polyjet, Cleaning box, Objet, Construction

Poděkování

Touto formou bych chtěl především poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Michalovi Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky. Poděkování patří také mé rodině a přátelům za velkou podporu po dobu celého studia.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VZNIK MODELU	12
2 RAPID PROTOTYPING	14
2.1 TVORBA MODELU	16
2.1.1 Preprocessing	16
2.1.2 Processing	17
2.1.3 Postprocessing	17
2.2 METODY RAPID PROTOTYPING	17
2.3 STEREOLITOGRAFIE	18
2.4 SELECTIVE LASER SINTERING	20
2.4.1 Laser Sintering - Plastic	22
2.4.2 Laser Sintering - Metal	22
2.4.3 Laser Sintering - Foundry Sand	23
2.4.4 Laser Sintering - Ceramic	23
2.5 LAMINATED OBJECT MODELLING	24
2.6 METODA GROUND CURING	25
2.7 FUSED DEPOSITION MODELLING	25
2.8 3 DIMENSIONAL PRINTING	26
2.9 POLYJET	28
2.10 MATERIÁLY PRO TECHNOLOGII POLYJET	29
2.10.1 Fullcure 720 Transparent	29
2.10.2 Vero	30
2.10.3 Tango	30
2.10.4 Durus	31
3 ODSTRANĚNÍ PODPOR	32
3.1 ODSTRANĚNÍ PODPOR U METODY SLS	32
3.2 ODSTRANĚNÍ PODPOR U METODY FDM	32
3.3 ODSTRANĚNÍ PODPOR U METODY POLYJET	33
4 VYUŽITÍ METODY RAPID PROTOTYPING	35
5 ZÁSADY KONSTRUKCE	36
6 ZÁKLADNÍ PRAVIDLA ERGONOMETRIE	38
6.1 VZÍT V POTAZ VÝŠKU POSTAVY	38
6.2 VYHNOUT SE PRACOVNÍM POZICÍM NAD VÝŠKOU SRDCE	38
6.3 VZÍT V POTAZ ZORNÉ POLE	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	41
8 NÁVRH ČISTICÍ KABINY	42
8.1 VARIANTA 1 - ČISTÍCÍ KABINA OD FIRMY OBJET	42
8.1.1 Kalkulace ceny	43

8.2	VARIANTA 2 - ÚPRAVA PÍSKOVACÍ KABINY	43
8.2.1	Kalkulace ceny	45
8.3	VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH ČISTÍCÍ KABINY	45
8.4	VARIANTA 3 - KONSTRUKCE ČISTÍCÍ KABINY	46
8.4.1	Rozvod tlakové vody	47
8.4.2	Plechý a lem	47
8.4.3	Přístup do kabiny	47
8.4.4	Podstava	48
8.4.5	Obruče a rukavice	49
8.4.6	Kalkulace ceny	49
8.5	VARIANTA 4 - KONSTRUKCE ČISTÍCÍ KABINY	50
8.5.1	Rozvod tlakové vody	51
8.5.2	Přístup do kabiny	54
8.5.3	Stěny a lemující okraje	56
8.5.4	Pracovní vana	57
8.5.5	Osvětlení pracovního prostoru	59
8.5.6	Podstava	60
8.5.7	Rukavice	61
8.5.8	Kalkulace ceny	61
9	DISKUZE VÝSLEDKŮ	62
	ZÁVĚR	65
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK	72
	SEZNAM PŘÍLOH	73

ÚVOD

Zavedení čisticí kabiny pro rapid prototyping do procesu spočívá nejen v neustálém růstu požadavků na rychlost výroby, ale také částečně v lenivosti člověka. Ten si chce vždy práci usnadnit a tak vymýšlí, jak toho docílit. Díky této „schopnosti“ vznikají nové stroje a nástroje a tím se zefektivňuje výroba.

Konstrukce čisticí kabiny pro rapid prototyping se musí řídit stejnými zásadami jako konstrukce jakéhokoliv jiného prvku.

Než se ale dostane model do fáze, kdy je potřeba odstranit podpůrný materiál, neboli zjednodušeně podpory, projde mnohdy zdoluhavým a složitým procesem. Ať se jedná o kteroukoliv metodu rapid prototyping, vždy se může zdát jako zdoluhavá, a však ve skutečnosti celý proces výroby rapidně zrychluje.

Odstranění podpor začalo obyčejným kartáčkem a pracovalo se až do podoby, kdy se modely louhují a ostříkují speciálními sprchami. Někdy stačí jen obyčejná voda, jindy roztok s obsahem alkoholu.

Metody rapid prototyping jdou stále dopředu a dláždí si svůj pomyslný chodník slávy. Konkurence je velká a proto na sebe výrobci tlačí a snaží se přijít s něčím novým. Není jisté, co bude nástupcem této metody zhotovování modelů, ale jisté je, že dokud je tato metoda populární, najdou si své uplatnění i čisticí kabiny a jejich konstruktéři.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VZNIK MODELU

Všeobecně lze říct, že model slouží jako předloha, nebo jako pomocný výrobek. Je používán ve většině oborů. Výroba jednoho modelu prochází různými fázemi a může trvat několik minut až několik dní, to záleží na mnoha aspektech, jako například přesnost výroby, velikost modelu, materiál atd.

Aby byl model hmotný, musí být zhotoven určitou technologií, nebo skupinou technologií z polotovaru. Těmto technologiím se říká obrábění. Dělí se na základní dva druhy; konvenční a nekonvenční.

Obrábění je technologický proces, při němž požadovaný tvar a rozměr výrobku vzniká postupným odebráním materiálu. Asi nejstarší známou metodou je soustružení. Při soustružení je obrobek upnutý ve sklíčidle a k úběru materiálu dochází pomocí soustružnického nože. Obrobek se otáčí a nůž posouvá ve dvou osách. Další velmi známou a univerzální metodou, je frézování, kde nástroj (fréza) je vícebřítý a rotuje kolem své osy, ostatní pohyby většinou vykonává pracovní stůl.

Metody konvenčního obrábění jsou např. vrtání, vyvrtávání, obrážení apod. Toto jsou všechno metody používané na hrubovací operace, s definovanou geometrií břitu.

Na dokončení modelu se používají nástroje s nedefinovanou geometrií břitu. Široce používaná dokončovací operace je broušení, zde dochází k malému odběru třísky pomocí broušícího kotouče. Ten je nejčastěji vyroben ze slepených zrn karbidu křemíku, umělého korundu, kubického nitridu bóru nebo diamantu.

Při výrobě modelů, ale zejména při výrobě forem, se používá dokončovací metoda zvaná leštění. Tato metoda patří k dokončovacím metodám, při kterých se nepožaduje přesný geometrický tvar ani rozměry, ale hladký povrch pro zlepšení vzhledu, zvýšení odolnosti proti korozi, nebo jako příprava povrchu pro chromování. Součásti se leští ručně textilními, plstěnými, popřípadě papírovými kotouči. Na jejich povrch se nanášejí leštící pasty. Leštěním se odstraňují různé oxidy, nitridy apod. Rozměrová ani tvarová přesnost se leštěním nemění. Dále jsou známé operace jako honování, superfinišování, lapování. [32]

Stále více do popředí se dostávají metody nekonvenčního obrábění. Tyto metody jsou mnohdy přesnější a dosahuje se s nimi takových tvarů, jaké by běžným obráběním nemohly být vyrobeny.

V této skupině je třeba zmínit elektroerozivní obrábění a to zejména hloubení (EDM) a drátové řezání (WEDM). U obou těchto technologií dochází k odběru třísky elektrickou jiskrou mezi obrobkem a elektrodou. Elektroda je nástroj z elektricky vodivého materiálu (měď, uhlík, wolfram, ...). U hloubení je elektroda vytvořena jako negativní tvar budoucí dutiny, nebo výrobku, zmenšený o tzv. rozpal. Proces obrábění se odehrává v dielektrické kapalině (petrolej). Zdrojem je stejnosměrný proud, vznikne výboj a lokálně vzroste teplota. Obrobený materiál se roztaví a vypaří. [33]

Na rozdíl od hloubení se u drátového řezání jako elektroda používá povlakovaný ocelový drát. Proces probíhá v dionizované vodě. Drát se odvíjí z cívky a prochází mezi vodícími hlavami. Úběr třísky je obdobný jako u EDM.

Některé nekonvenční metody obrábění mají své specifické použití, některé jsou univerzální. Ovšem stále dochází k tomu, že materiál je odebírán. K tomu je zapotřebí původní masa materiálu, z které postupně vznikne model (výrobek).

Velmi odlišnou metodou tvorby modelu je rapid prototyping. Zde se materiál přidává místo toho, aby se odebíral, a tím nevzniká odpad.

2 RAPID PROTOTYPING

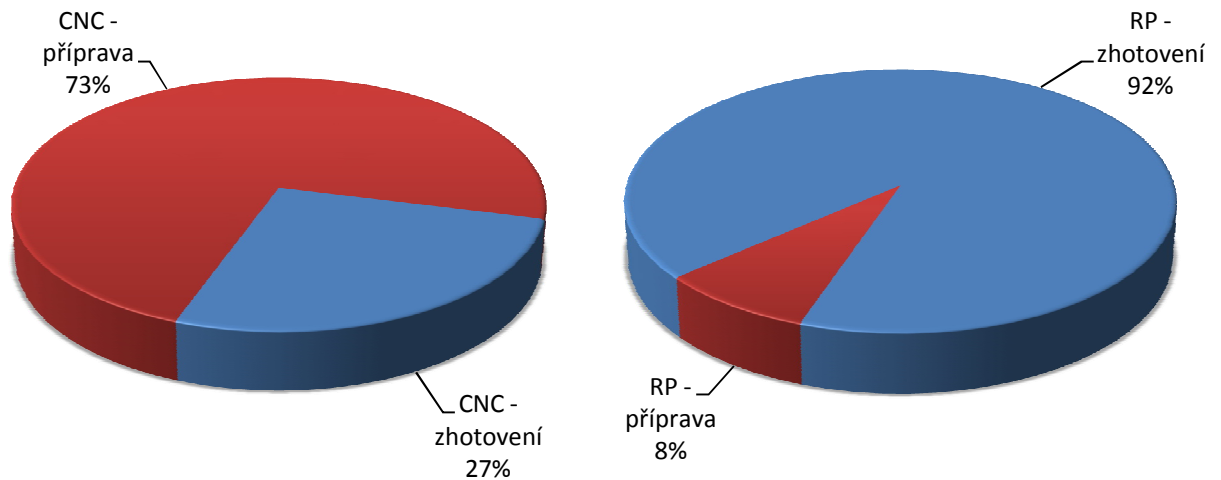
Prototyp je významnou a důležitou součástí procesu vývoje. V každé návrhářské praxi není slovo prototyp daleko od toho, jež navrhli designéři. V mnoha výkladových slovnících je toto slovo definováno jako: „Prototyp je první, nebo originální příklad něčeho, co by mělo být, nebo bylo zkopírováno, nebo dodáváno; je to model, nebo ukázková verze“. [13]

Rapid Prototyping (RP) je progresivní skupina technologií, která vytváří fyzické modely, prototypy a komponenty nástrojů přímo na základě 3D dat. Jsou to všechny technologie, které automatizují proces pro výrobu 3-rozměrných, celistvých objektů ze surových materiálů. Tato 3D data vznikají často v programových systémech CAD, určených pro konstrukční a návrhové procesy. Pro technologii RP je specifické, že se fyzický model vytváří postupně po jednotlivých vrstvách materiálu. Jednotlivé vrstvy jsou postupně přidávány již k dříve vytvořeným. Na rozdíl od klasických metod obrábění, kdy je materiál postupně odebírán z výchozího polotovaru, je materiál při metodách RP postupně přidáván. Metody RP se především odlišují rozdílným fyzikálním principem při tvorbě jednotlivých vrstev. [6], [7]



Obr. 1 Příklad výrobku zhotoveného metodou RP

Podstatné je, že stavba modelu, který je postupně tvořen z vrstev, je nezávislá na jeho tvaru a složitosti geometrie. Tento postup pak může být snadno automatizován zvláště vzhledem k tomu, že geometrický tvar je předem digitálně stanoven prostředky CAD systému. Z tohoto pohledu je výrazně zkrácen zejména čas přípravy pro výrobu součásti, který tvoří podstatnou část doby zhotovení součásti u klasických metod výroby např. obráběním. [7]



Obr. 2 Proces RP ve srovnání s CNC obráběním
(celkový čas v %, potřebný na výrobu modelu)

Vzhledem k tomu, že první systémy RP měly omezenou přesnost a nabídku použitelných materiálů, jednalo se o prototypy konečného výrobku. Prudký vývoj RP zvláště v posledních několika letech umožnil touto technologií dosáhnout přesnosti a vlastností modelů, které jsou blízké koncovým výrobkům. Pro RP se často používá označení RP&M – Rapid Prototyping & Manufacturing, které se snaží reagovat na současné trendy této technologie. Tvorba modelu po vrstvách se také označuje jako Additive Fabrication nebo někdy jako Free-Form Fabrication – FFF. Systémy Rapid Prototyping mohou dnes vytvářet modely a prototypy z řady různých druhů materiálu. Metody RP umožňují vrstvení z papíru, plastu nebo např. spékání těchto vrstev z kovových, pískových a keramických prášků. [7]

Základní myšlenkou tohoto produktu je nejrychlejší výroba reálného prototypu na základě modelu CAD, obvykle bez zásahu obráběcích procesů. Výsledné prototypy mají vysokou geometrickou přesnost. Prototypy jsou určeny především pro:

- prezentaci finálního produktu,
- analýzy tvaru a funkčnosti,
- zhmotnění návrhu. [16], [15]

2.1 Tvorba modelu

Nejprve se počítačový model zbaví případných chyb, jako jsou převrácené trojúhelníky, překrývající se hrany a díry v modelu, některé tiskárny takové soubory odmítnou zpracovat a vyžadují jejich opravu. K odstranění těchto chyb je nutné použít speciální programy např. Magics RP, popř. využít serveru firmy Materialise, kde za poplatek soubor opraví. Pro výrobu bezchybného modelu je nutné dodržovat určitá pravidla, protože může nastat situace, že některé 3D soubory jsou chybně interpretovány. Dále popsané pokyny vychází z příkazů programu Rhinoceros a není možné je zobecňovat pro všechny 3D tiskárny:

- modelovaný objekt se vytváří pomocí příkazů pro tvorbu těles (definice tělesa, vytáhnutí nebo rotace plochy), tělesa se tvarují příkazy sjednocení, průnik a rozdíl,
- po každé operaci stříhání je potřeba použít příkaz pro uzavření rovinných otvorů,
- pokud se pracuje s plochami, používá se příkaz pro jejich spojení,
- výsledkem by měl být datový soubor popisující jeho povrch, struktury uvnitř objektu (neviditelné, nadbytečné) se odstraňují, netýká se požadovaných vnitřních dutin modelu. [8]

2.1.1 Preprocessing

Do etapy preprocessing se řadí všechny kroky, které souvisí s přípravou dat pro systémy Rapid Prototyping. Patří sem například transformace dat ze systémů CAD do formátu STL, při které dochází i k náhradě geometrického tvaru souborem rovinných plošek. V závislosti na tvaru je CAD geometrie nahrazena se zadanou přesností potřebným počtem rovinných trojúhelníkových plošek. Pro systémy RP je nezbytné, aby tato síť rovinných plošek dokonale uzavírala objem součásti. Jak již bylo uvedeno, tvar součásti je tvořen postupně po tenkých vrstvách. Proto je nezbytné zabezpečit tzv. podpůrnou konstrukci vrstev pro geometrické tvary, kde vrstvy nejsou samonosné a mohlo byt dojít k jejich zborcení nebo deformaci. Tvorba podpůrné konstrukce však není nutná pro všechny metody RP. Dalším krokem v procesu RP je generace tenkých řezů, které jsou základem pro tvorbu modelu metodami RP. STL data modelu a případných podpor jsou podrobena horizontálním rovinným řezům, které definují 2D obrysovou geometrii a jsou základním geometrickým vstupem pro systémy RP. Na vhodnou tvorbu řezu má vliv i orientace součásti. Vhodnou orientací součásti je možno někdy nejen potlačit schodečkovou strukturu součásti, ale i minimalizovat objem nezbytný pro tvorbu podpůrné konstrukce, což má samozřejmě i vliv na celkový čas stavby modelu. [7]

2.1.2 Processing

Po generaci 2D řezů, popisujících libovolnou 3D geometrii, nastává vlastní processing – tzn. stavba modelu po jednotlivých vrstvách. Stavba těchto vrstev je velmi úzce spojena s konkrétním fyzikálním principem jednotlivých metod RP.

U metody stereolitografie jsou jednotlivé vrstvy tvořeny pomocí laseru, který postupně vytvrzuje hladinu tekutého polymeru.

Selective Laser Sintering využívá při tvorbě jednotlivých vrstev opět laseru. Materiál pro tvorbu jedné vrstvy se ve formě jemného prášku nanese do plochy řezu a uhladí. Potom laser spéká vrstvu materiálu již k předešlé ztuhlé vrstvě.

PolyJet technologie vytváří vrstvu postupným vystřikováním tekutého materiálu na vybranou oblast, kde materiál aplikací UV záření přechází do tuhé fáze. [7]

2.1.3 Postprocessing

Po vytvoření modelu v systémech RP následuje skupina kroků, které se označují jako post-processing. Prvním úkolem je součást ze zařízení vyjmout. U některých metod je nutno vyčkat i delší čas, než je možno prostor vyráběné součásti zpřístupnit obsluze zařízení. Pokud je prostor součásti obklopen okolním materiálem je nutno materiál odstranit. V závislosti na druhu metody se materiál nejčastěji odsává (práškový materiál) nebo se odstraní oplachem (např. fotopolymer). U některých metod je zhotovený díl křehký a vyžaduje další následné zpracování jako např. vytvrzení dílu UV zářením nebo napuštění dílů další látkou, která zvýší jeho pevnost. Dalším krokem je odstranění podpor, který však není u některých metod potřebný. Odstranění podpor se děje mechanicky nebo probíhá například rozpuštěním podpor v tekuté lázni nebo jejich vytavením. A konečně posledním krokem je povrchová úprava RP modelu. Schodečková struktura součásti a oblasti podpor mohou být mechanicky upraveny speciálními postupy - tmelením, finišováním. Některé materiály mohou být následně standardně obrobena, barvena, lakována nebo galvanicky pokoveny.[7]

2.2 Metody Rapid prototyping

Všechna zařízení na výrobu 3D modelů pracují na principu rozložení počítačového modelu do tenkých vrstev a jejich následném sestavení do reálného modelu v pracovním prostoru tiskárny. Model je stavěn na základní desce, která po dokončení každé vrstvy poklesne dolů právě o tloušťku této vrstvy. [8]

Všeobecně se přesnost modelu pohybuje mezi 0,05 až 0,2 mm. Přesnost zhotovení modelu má velký vliv na dobu výroby. Tedy čím je větší požadavek na přesnost modelu, tím déle to bude trvat. Vysoká přesnost je potřeba především pro modely, které slouží k otestování funkčních vlastností pro budoucí výrobek, nebo např. pro modely pro přesné lití.

Nejznámější a nejpoužívanější metody jsou:

- Stereolitografie (SLA), *tekutý akrylát bod po bodu, laser,*
- Selective Laser Sintering (SLS), *kompozit 2 prášků, spékání,*
- Laminated Object Modelling (LOM), *laminace papíru a laser,*
- Solid Ground Curing (SGC), *tekutý akrylát plošně, UV lampa,*
- Fused Deposition Modelling (FDM), *plast ABS nanášený vytlačení,*
- Three Dimensional Print (3DP), *tisk po vrstvách, slepováním prášku,*
- PolyJet, *fotopolymer je vytvrzován pomocí UV lampy.* [4]

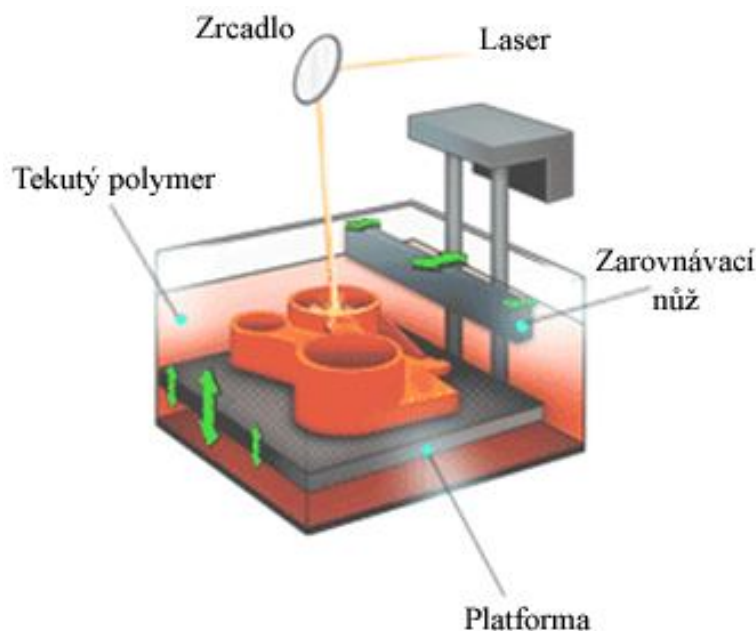
2.3 Stereolitografie

První technologie Stereolitografie systému Rapid prototyping byla vyvinuta v roce 1986 společností 3D Systems, která se rozrostla v globální společnost dodávající pokročilá řešení pro všechny hlavní trhy po celém světě. [5]

Jedna se o nejpřesnější z uvedených metod, při které je vytvořen model postupným vytvrzováním fotopolymeru (polymeru, citlivého na světlo) pomocí UV laseru, který je na základě dat, získaných z počítače, zaměřován poměrně složitou optickou soustavou. Na základě dříve vytvořených informací o rozměrech příčných řezů jednotlivými rovinami (vrstvami) jsou vypočítané řídicí údaje, které vedou paprsek laseru pomocí skenovací hlavy nad horní plochou nádoby s polymerem. Skenovací hlava se pohybuje po osách X a Y. Model je vytvářen na nosné desce, která se na začátku nachází přímo pod hladinou polymeru. Vytvarováním tekutého polymeru po vrstvách a následným odebráním z nosné desky vzniká model. Stereolitografie je nejstarší z technologií Rapid Prototyping a kromě už zmíněné přesnosti vyniká také velkým množstvím použitelných materiálů. Oproti jiným technologiím je možno stereolitografií vytvářet modely s milimetrovými otvory a miniaturními prvky. Stejně jako u většiny ostatních technologií je možno modely vyrobené stereolitografií použít pro vizuální kontrolu návrhu výrobku, v některých případech i k funkčním zkouškám, to díky široké paletě materiálů. Model, který by se klasickými konvenčními metodami vyráběl několik týdnů, může být s pomocí Stereolitografie vyroben během něko-

lika hodin. Nevýhodou stereolitografie je především pomalý proces tvrzení polymeru a u některých materiálů také malá tepelná odolnost vzniklého modelu. [1]

Stereolitografický stroj je složen ze tří hlavních částí: z pracovní komory, řídicí jednotky a opticko-laserového systému. V pracovní komoře je umístěna nádoba s epoxidovou pryskyřicí, ve které se ve směru osy Z pohybuje platforma a nůž zajišťující rovinu pryskyřice v každé vrstvě. Řídicí jednotka obsahuje počítač, který ovládá celý stroj - od nastavení parametrů laseru až po řízení procesu výroby. Poslední část, opticko-laserový systém, se skládá z plynového či pevnolátkového laseru, čoček a soustavy zrcadel pro nasměrování laserového paprsku.



Obr. 3 Princip metody SLA

Vrstvy vznikající v průběhu procesu mohou být silné 0,016 až 0,15 mm, což zaručuje dosažení i těch nejmenších detailů. Stavba stereolitografického (SLA) modelu je založena na postupném vykreslování 2D vrstev na hladinu pryskyřice laserovým paprskem. V místě dopadu paprsku je pryskyřice vytvrzena a platforma se posune o zadaný krok (vrstvu) v ose Z směrem dolů.

Před vykreslováním každé vrstvy zarovná nůž hladinu pryskyřice tak, aby byla zachována tloušťka vrstvy. Poté se celý proces opakuje tolikrát, dokud není vykreslena poslední vrstva. [2]

Po dokončení jsou modely očištěny od přebytečné pryskyřice ponořením do chemické lázně a dále umístěny do komory s UV záření. Stereolitografie vyžaduje použití podpůrných

struktur pro uchycení modelu na platformu. Některé z nich slouží nejen jako podpory proti zborcení vlivem gravitace během procesu, ale také pro přesné udržení 2-D průřezů na místě tak, aby byly schopny odolávat tlaku nože ze strany. Podpory musí být řešeny tak, aby se daly co nejnázší z modelu odstranit a zároveň neovlivnily výslednou kvalitu povrchu. [5], [2]

Model připravený touto technologií většinou slouží pouze jako prostředek pro výrobu nástroje či formy. Je to díky použitému materiálu modelu (epoxidová pryskyřice), který umožňuje širokou škálu dokončení povrchu modelu (od jemného broušení přes pískování až k dokonalému vyleštění). Mezi výsledkem je tedy řádně ošetřený model, a to podle finálního požadavku na plastový díl. Takto připravený model slouží pro výrobu silikonové formy pro požadavek až několika desítek kusů plastového dílu z polyuretanů, případně pro výrobu vstřikovací formy pro několik stovek až tisíce kusů dílů z finálních sériových polymerů (ABS, PA, POM). [6]

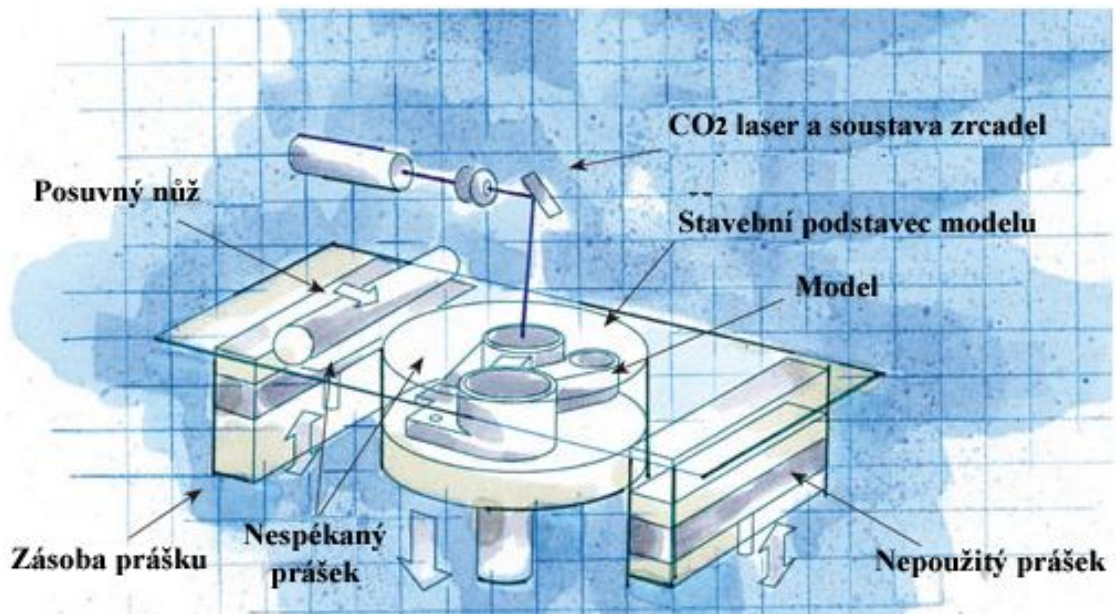
Důležité je i použití STL v medicíně, kdy se data z tomografu nebo magnetické rezonance převedou pomocí speciálního softwaru na objemový model, který je následně použit při výrobě stereolitografického modelu. Lze tak například zkrátit dobu přípravy komplikované operace nebo usnadnit výrobu náhrady (implantátu) za poškozený kloub. [2]

2.4 Selective Laser Sintering

Na rozdíl od stereolitografie jsou modely vyrobené novější metodou Selective Laser Sintering velmi pevné. Jako stavební materiál je používán jemný prášek; podle typu aplikace může jít o polyamidy používané pro plastové výrobky pro přímou aplikaci, o kovové prášky sloužící k výrobě kovových prototypů nebo nástrojů, či o práškový písek pro výrobu kovových prototypů odléváním do písku. [1], [2]

Platforma se nepohybuje v materiálu, ale materiál je na ni nanášen v jednotlivých vrstvách pomocí posuvného nože, jenž obstarává rovinu a tloušťku vrstvy. Ta může být silná od 0,1 mm do 0,2 mm. Pracovní komora je hermeticky uzavřena a naplněna inertním plynem (dusíkem) pro ochranu jakosti povrchu. Princip výroby je stejný jako u stereolitografie: laserovým paprskem (CO₂ laser o max. výkonu 20 W) jsou vykreslovány jednotlivé vrstvy modelu. Podstatnou výhodou oproti stereolitografii je absence podpor, jelikož model je pevně usazen v prášku, který jej obklopuje. Po skončení výrobního procesu je nutné nej-

prve nechat prášek vychladnout na teplotu, při níž lze model vyjmout a očistit od zbylého prášku.



Obr. 4 Princip metody SLS

Výhoda SLS modelů oproti STL spočívá v jejich vyšší pevnosti, která je srovnatelná s pevností sériových materiálů. Proto se modely používají zejména pro zkoušky, při kterých je potřeba ověřit funkčnost dílu v praxi. Díky použití prášku a větší tloušťce vrstev však nelze u SLS modelů vyrobit takové detaily jako u STL modelů z pryskyřice. Na druhou stranu doba trvání výroby je kratší. Další výhodou je ekonomičnost výroby - pokud je nutné vyrobit například pouze 3 kusy daného dílu pro ověření pevnosti, je zbytečně nákladné a zdlouhavé vyrábět STL model a z něj odlitky (např. vakuovým litím).

SLS technologie nachází využití také ve slévárenství, a to především u metod přesného lití - s využitím vypalitelného modelu. Používaným materiálem je v tomto případě polystyren, který je následně nasycen voskem. Zpracování takového modelu je do jisté míry shodné se zpracováním klasického voskového modelu. [2]

Na rozdíl od jiných metod je zde možnost využití širokého spektra materiálů. Principiálně je možné použít jakýkoliv prášek, který se působením tepla taví nebo měkne. V současnosti se v komerčních oblastech používají např. termoplastické materiály, jako jsou polyamid, polyamid plněný skelnými vlákny, polykarbonát, polystyrén dále speciální nízkotavitelné slitiny z niklových bronzů nebo polymerem povlakovaný ocelový prášek. Většinou však, ale není možno přecházet na stejném zařízení od jednoho materiálu k druhému, neboť je-

jich vytvrzení si vyžaduje výrazně odlišné podmínky. Podle druhu použitého modelovacího materiálu je možno v rámci této technologie rozlišovat metody:

- Laser Sintering – Plastic,
- Laser Sintering – Metal,
- Laser Sintering - Foundry Sand,
- Laser Sintering - Ceramic (Direct Shelt Production Casting). [1]

2.4.1 Laser Sintering - Plastic

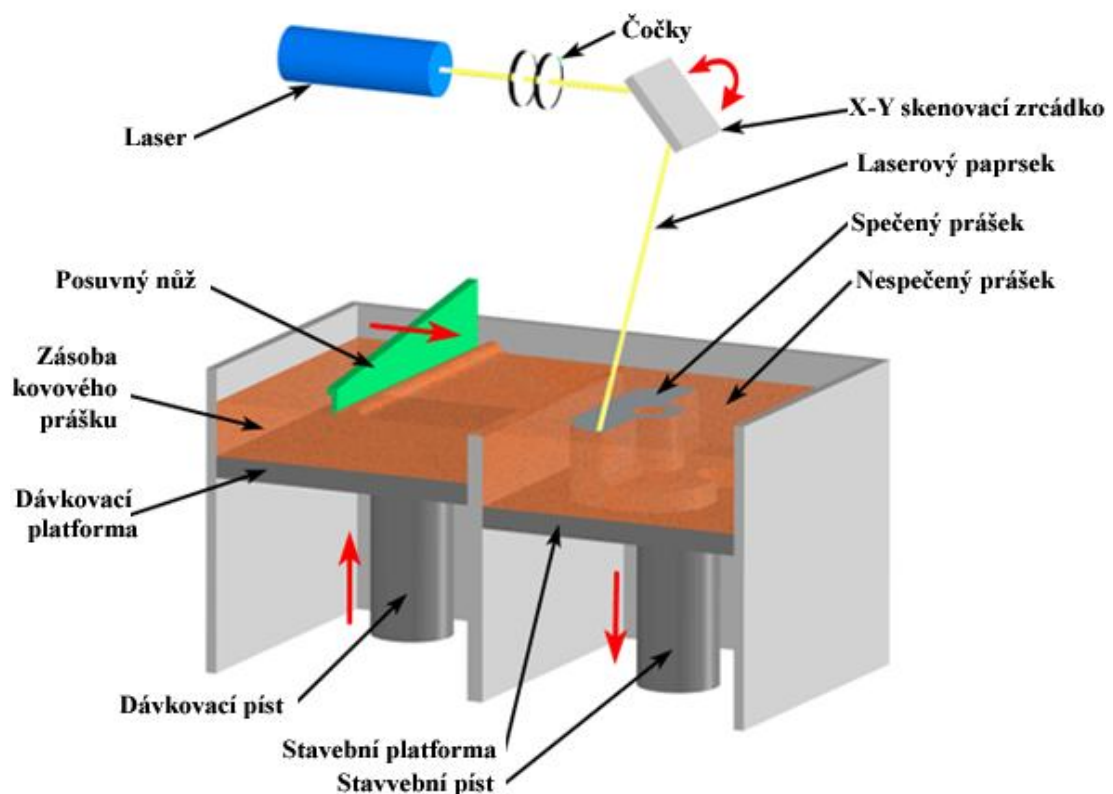
U Laser Sinteringu - Plastic je, stejně jako například u FDM, možno volit z několika druhů plastických materiálů, které svými vlastnostmi určují i způsob využití hotového modelu. Při použití polystyrenu je možné použít výsledný model ve standardní metodě lití do ztraceného vosku, přičemž je možno snadno modelovat i velmi komplikované části výrobku. Při použití polyamidu dosahují výsledné modely vynikající mechanické vlastnosti jako tvrdost, houževnatost, teplotní odolnost atd. Tyto modely jsou proto vhodné pro funkční zkoušky nebo testy lícování. Standardním využitím všech modelů je prostorová vizualizace navrhovaného výrobku. [1]

Přesnost stavby modelu je 0,15 - 0,2 mm. Tvorba modelu není omezena velikostí stavebního prostoru spékacího zařízení, protože vytvořené modely je možné lepit nebo svařovat do větších celků. Prototypový model je postaven řádově v hodinách a slouží především jako vestavbový díl s možností plného odzkoušení funkčnosti. [14]

2.4.2 Laser Sintering - Metal

Modely vzniklé metodou Laser Sintering - Metal dosahují dostatečné pevnosti a mechanické odolnosti, takže je možno je využít především jako formy pro výrobu plastových součástek vstříkáním nebo lisováním. [1]

Kovové díly jsou stavěny s vysokou přesností 0,05 mm z různých kovových prášků při 100 % zachování pevnosti stavěného dílu. Díly mají požadovanou ostrost kontury a jejich hlavní výhodou je rychlost vzniku kovového dílu. Povrch vzniklého dílu je možné následně opracovat mikropráškováním a leštěním do požadované kvality. [14]



Obr. 5 Princip metody metal laser sintering

Metal laser sintering je špičková technologie, která je orientovaná na praxi a přes své rozměrové omezení stavebního prostoru, které je v současnosti max. 250 x 250 x 170 mm, má před sebou velké možnosti nasazení nejen v oblasti RP, ale také přímo v nástrojárnách při výrobě forem a nástrojů. [14]

2.4.3 Laser Sintering - Foundry Sand

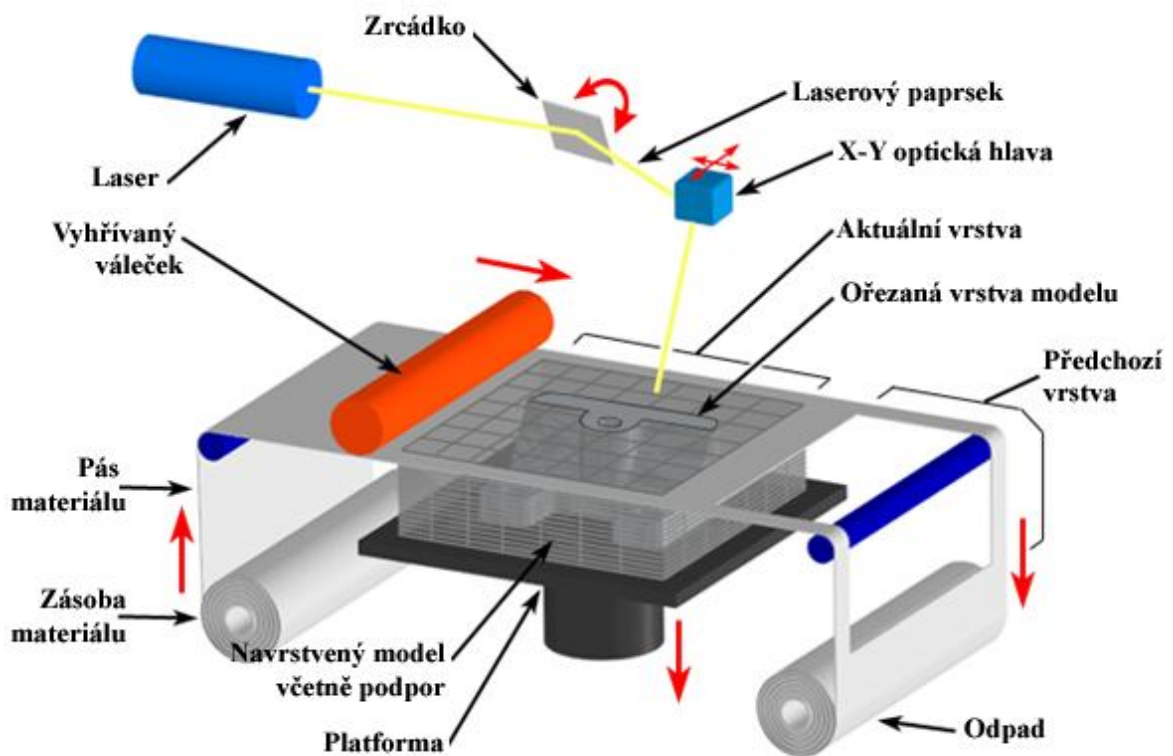
Technologie rapid prototypingu Laser Sintering - Foundry Sand používá upravený slévárenský písek, jehož vytvrzováním je možno bez jakýchkoli mezikroků vytvořit na prototypovacím zařízení klasickou pískovou formu pro lití. [1]

2.4.4 Laser Sintering - Ceramic

Výchozím materiálem je v tomto případě prášek slepovaný pomocí tekutého pojiva. Nanášení pojiva je zajištěno pomocí Ink-Jet tryskové hlavy, která je vedena v rovině XY podle předem vypočítaných řídicích údajů. Pomocí této metody se dají vyrábět různé součástky z keramického prášku nebo formy a jádra pro technologii přesného lití. [1]

2.5 Laminated Object Modelling

Metodu LOM vyvinul Michael Feygin z Helysis. U tohoto procesu slouží laser pouze k ořezání obvodu v každé vrstvě, na rozdíl od SLA, která má kontrolovat celou oblast v každé vrstvě.



Obr. 6 Princip metody LOM

Stavební materiál je odvíjen z jednoho konce stroje. Tento materiál, obvykle papír, je potažen na jedné straně teplo citlivou pryskyřicí, která se používá ke spojování jednotlivých vrstev. Vyhřívání váleček přechází přes pracovní prostor a spojují nově vzniklý plátek na již hotový model pod ním. Jemně zaměřený laser pak ořeže okraje pracovní plochy. Laser je nastaven na odřezání jen jednoho laminátu. Blok papíru kolem modelu působí jako podpora pro model během tvorby.

Aby se snížila doba stavby modelu, je možné stavět model z dvojitých a trojitých laminátů. To ovšem vyžaduje vyšší výkon laseru. To má nevýhodu v tom, že krokový efekt je čistě definován. Po zhotovení modelu se odstraní přebytečný papír z celého modelu. [17]

2.6 Metoda Ground Curing

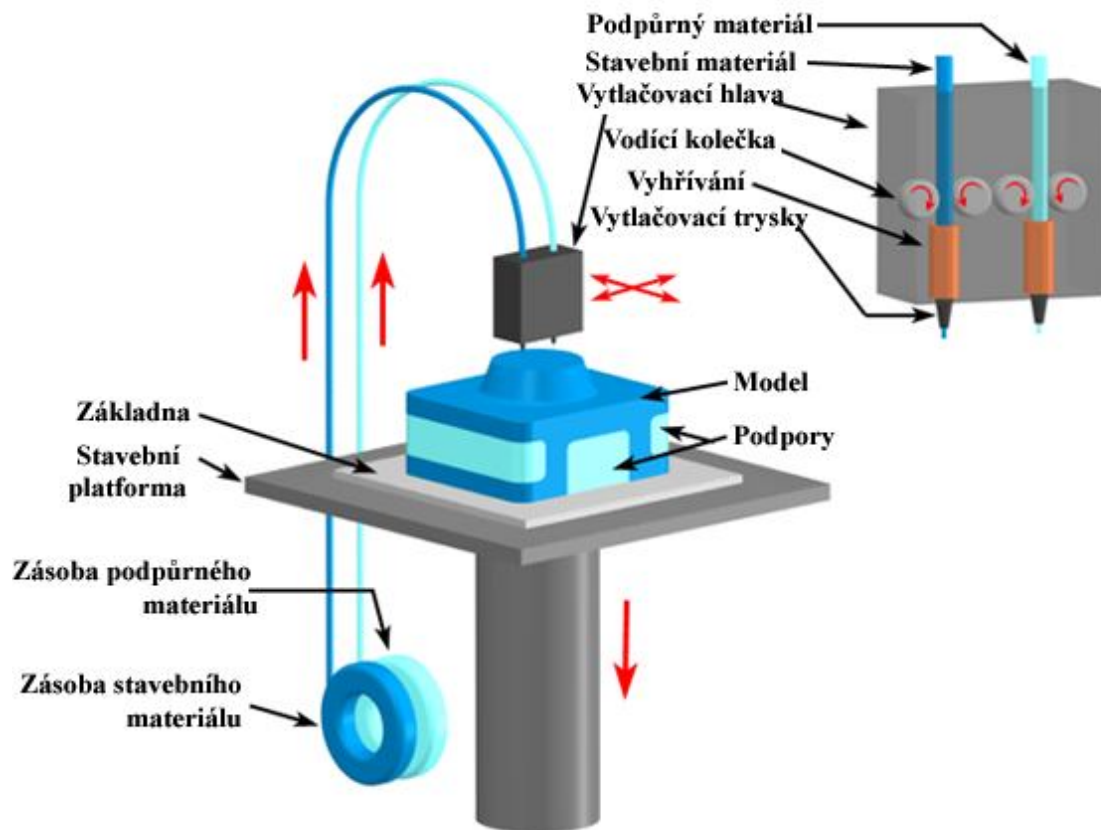
Metoda Ground Curing spočívá ve vytvrzování fotocitlivého polymeru. Tento princip byl vyvinut izraelskou firmou Cubital Ltd. Jako materiál používá také tekutý opticky vytvrditelný polymer jako stereolitografie, ale principem výroby se od ní liší. Rozdíl je v tom, že celá vrstva je zde vytvářena najednou, tj. na jedno osvětlení UV lampou. Osvětlení se provádí přes negativní masku, která je nejčastěji tvořena skleněnou destičkou, na níž je vyznačen tvar vytvářené vrstvy.

Vytváření součásti probíhá ve dvou oddělených současně probíhajících cyklech. Nejdříve je vytvořena negativní maska, a potom dojde k osvětlení polymeru. Osvícený polymer ztvrdne, neosvícený tekutý polymer je odsáván a vzniklý meziprostor se vyplní voskem. V dalším kroku je povrch vytvořené vrstvy ofrézován na požadovanou výšku vrstvy, a tím je připraven na nanesení další tenké vrstvy tekutého polymeru. Vosková výplň zůstane v dutinách vytvářené součásti jako podpurná konstrukce až do konce procesu vytváření, potom je chemickou cestou (pomocí kyseliny citronové) odstraněna. [2]

2.7 Fused Deposition Modelling

Jde o technologii firmy Stratasys vynalezenou v roce 1991. Při této metodě již není použito laseru. Součást je vytvářena z termoplastického vlákna. Model zhotovený z ABS (kopolymeru) má vysokou odolnost, téměř srovnatelnou s výstřiky vyrobenými vstřikováním plastu. [18], [19]

Vlákno s průměrem okolo 1,6mm navinuté na cívce je přivedeno do přehřáté trysky. Odtud je potom roztavený plast nanesen na předešlou vrstvu, se kterou se rychle spojí a ztuhne. Tisková hlava má ještě druhou trysku určenou pro kladení materiálu podpor na předem určená místa. Materiál podpor je křehčí než stavební a lze ho tedy bez problémů odstranit z hotového modelu mechanicky nebo i chemickou reakcí s kyselinou. Když je celá vrstva vykreslena, plošina, na které součástka vzniká, se posune o danou výšku vrstvy dolů a je nanášena další vrstva. To vše probíhá v komoře přehřáté na 70°C z důvodu lepšího spojení předešlé a nové vrstvy. Po dokončení součásti je nutno odstranit podpory, dle potřeby dobrousit součástku a případně dotmelit větší nerovnosti. Výrobek je možné částečně obrábět vrtáním nebo řezáním závitů. [19], [20]

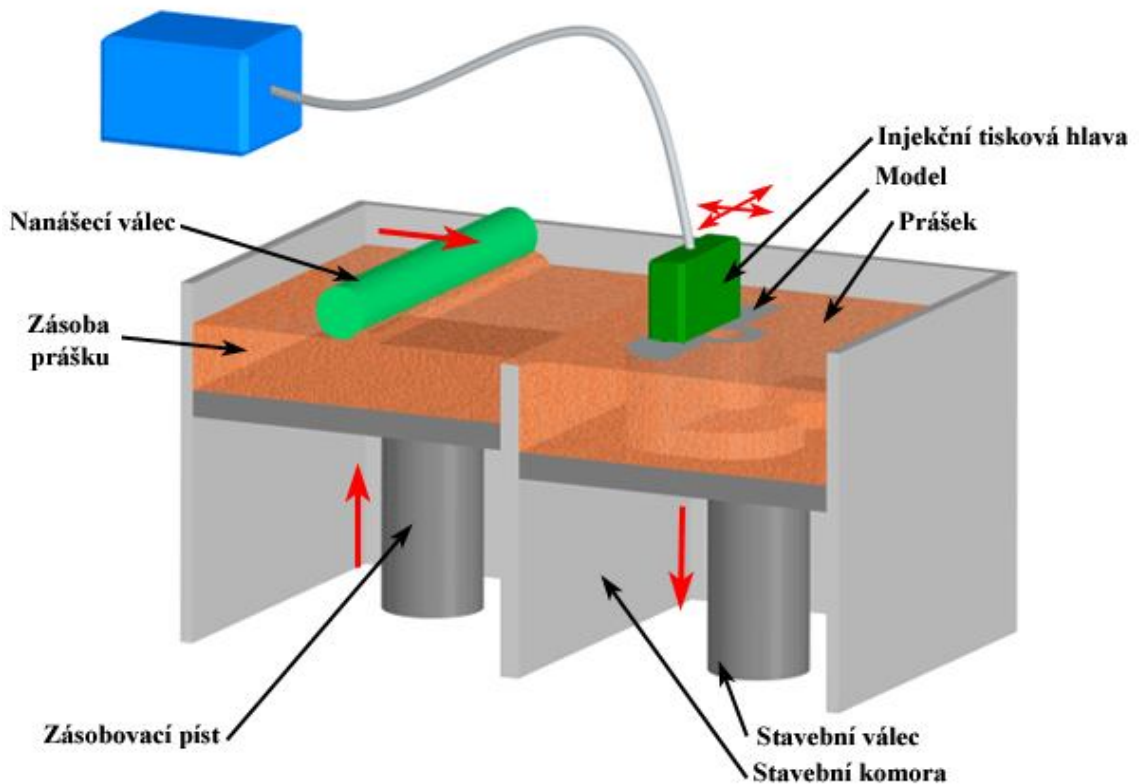


Obr. 7 Princip metody FDM

Výhodou je použití materiálu ABS v různých barvách, přičemž postačí výměna kazety s materiálem, která zabere pouze několik minut. Metoda je vhodná zvláště pro jednoduché použití například v kanceláři, protože využívá nezávadných materiálů a nepoužívá laser. Stavební komora nemusí být hermeticky uzavřená, protože škodlivé výpary při výrobě modelu z plastu nevznikají. Celkově je zařízení FDM jednodušší než laserové což zlepšuje i jeho cenovou dostupnost. Je možné také použít materiály pro odlévání metodou spalitelného modelu. Tato technologie je vhodná jak pro modely, tak pro menší série. Při výrobě většího počtu kusů je již výroba zdlouhavá a finančně náročná. [21], [20]

2.8 3 Dimensional Printing

Metoda 3DP byla vyvinuta na Massachusetts Institute of Technology – MIT a užívá jako výchozího materiálu různé druhy prášku. Tato metoda velmi připomíná proces laser sintering, ale na rozdíl od ní se laserová hlava nahradí inkjetovou hlavou. Proces probíhá v komoře válcovitého tvaru s pohyblivým pístem. V tenké vrstvě je ze zásobníku na základnu rovnoměrně nanášen práškový materiál. Rotující válec nanáší tenkou vrstvu práškového materiálu a pohybuje se v prostoru mezi dvěma kazetami. Inkjetová hlava, která se pohybuje rastrovým způsobem v rovině XY, vystřikuje pojivo na vybranou oblast jedné vrstvy práškového materiálu.

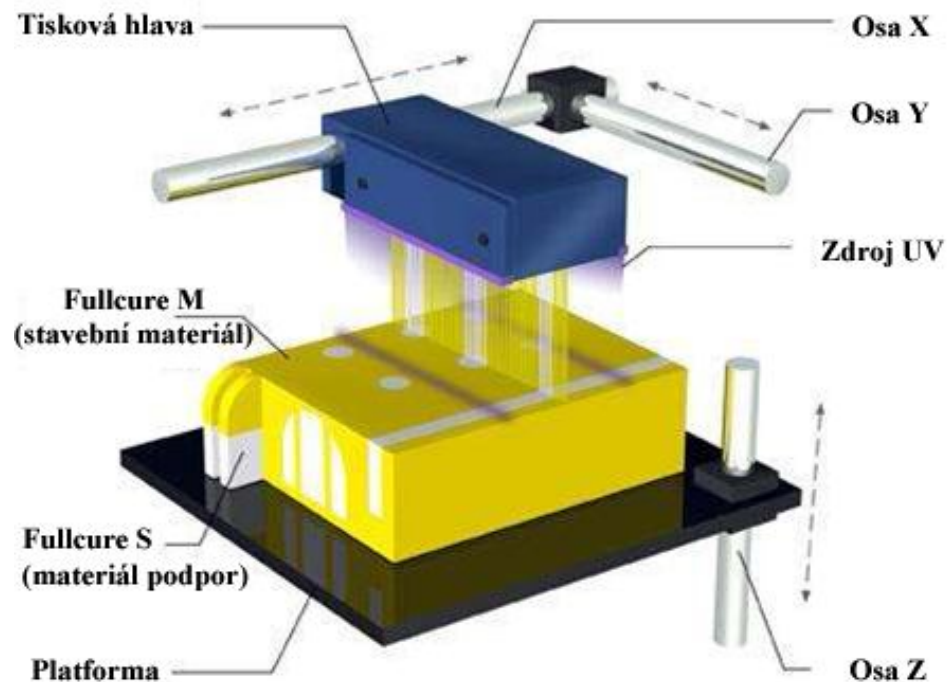


Obr. 8 Princip metody 3DP

Toto pojivo pak spojuje částice práškového materiálu a vytváří tuhou hmotu jedné vrstvy. Když je vrstva dokončena, posune se válec o tloušťku jedné vrstvy. Po zhotovení modelu se válec vysune a okolní zbylý materiál se odstraní od modelu zelené barvy. Model je následně napuštěn tvrdidlem pro zvýšení jeho pevnosti před dalším užitím.[7]

2.9 Polyjet

Tato technologie využívá vysoce přesné metody 3D tisku. Vrstva vytvořená touto technologií může dosahovat až 0,016mm, což je asi 1/5 vrstvy stereolitografie. Touto malou tloušťkou vrstvy se dosahuje vynikající vzhled. [9], [11]



Obr. 9 Princip metody PolyJet

Proces PolyJet je speciální 3-rozměrná metoda, rozdílná od klasických 3D tiskových metod. Prostřednictvím tiskové hlavy je materiál nanášen přímo na platformu. Tento materiál je fotopolymerní, ve srovnání se SLA, kde tuhnutí je zajištěno laserem, zde materiál tuhne díky zdroji UV záření.

Jak je patrné z obrázku, model koná vertikální pohyb v ose Z a hlava pracuje horizontálně v osách X a Y. Také je zde vidět, že pro místa netvořící model jsou vyplněny tzv. podpory. Materiál těchto podpor je nanášen najednou se základním materiálem, což zkracuje pracovní dobu. V případě této metody je generování podpor automatické.

Toto řešení podpor je efektivnější a levnější, než řešení u SLA, přičemž je dosaženo vysoce kvalitních modelů, pokud jde o přesnost a drsnost, resp. mechanické vlastnosti. [12]

Materiál modelu, zhotoveného touto metodou, absorbuje snadno barvy a lze obrábět, vrtat, atd. [10]

2.10 Materiály pro technologii Polyjet

Jak již bylo zmíněno dříve, použité materiály jsou fotopolymery, což jsou polymerní materiály citlivé na světlo. To znamená, že jsou vytvrzeny působením světla. Materiály použité pro tuto metodou jsou vytvrzeny působením UV záření.

Jak vyplývá ze základního principu metody, použity jsou dva materiály: hlavní, z něhož je vytvořen model a sekundární, který se používá na podpory.

Model může být vyroben z komponentu více materiálů, které jsou současně uloženy v tiskové hlavě. Kromě toho mohou být tyto materiály kombinované prostřednictvím tiskové hlavy. Vedle produktivity, tato metoda také poskytuje vyšší přesnost. [12]

Firma Objet disponuje čtyřmi základními skupinami materiálů. Jsou to Fullcure 705, Fullcure 720 Transparent, Tango, Vero a Durus. Skupiny Vero, a Tango čítají několik druhů materiálů s podobnými vlastnostmi. Fullcure 705 tvoří samostatný materiál. Je to materiál určený pro podpory. [22]

2.10.1 Fullcure 720 Transparent

Skupina stavebních materiálů Fullcure 720 Transparent jsou, jak už vyplývá z názvu, transparentní. Výhodou je, že povrch je snadno opracovatelný. Může být například použit pro zobrazení tekutého proudu, nebo vnitřních detailů. Má nejvyšší pevnost v tahu ze všech dodávaných materiálů a to 60,3 MPa, výbornou tvrdost 83 Shore a teplotu skelného přechodu 48,7°C. Tyto vlastnosti umožňují použití materiálu pro některé užitečné laboratorní testy budoucího výrobku. [23], [24]



Obr. 10 Výrobek z materiálu Fullcure 720 Transparent

2.10.2 Vero

Materiál Vero, disponuje výbornou tvarovou stabilitou, kvalitou povrchu a zobrazení detailů. Pevnost v tahu se liší od konkrétního druhu, pohybuje mezi 49,8 MPa a 55,1 MPa. Ostatní vlastnosti jsou si navzájem podobné. [23], [25]



Obr. 11 Výrobek z materiálu Vero

2.10.3 Tango

Skupina Tango je skupinou flexibilních materiálů, které jsou podobné gumě. Jsou ideální pro velké množství elektronických aplikací, výrobu hraček a rychlé obrábění. TangoBlack umožňuje maximální elasticitu s tvrdostí 61 Shore, TangoGray je tvrdší než TangoBlack a také flexibilní. Jeho maximální tvrdost je 75 Shore. [23], [26]



Obr. 12 Výrobek z materiálu Tango

2.10.4 Durus

Durus zabírá velkou škálu aplikací, kde je vyžadován polypropylen. Má obdobné vlastnosti – vzhled, pružnost, pevnost, tuhost. Jeho flexibilita (prodloužení při přetržení o 44,2%) a pevnost (modul pružnosti 1135 MPa) je velmi podobná polypropylénu. [23], [27]



Obr. 13 Výrobek z materiálu Durus

3 ODSTRANĚNÍ PODPOR

Podpory jsou velmi důležitou součástí výroby u některých metod rapid prototypingu, zejména u metod FDM a Polyjet. K jejich odstranění je potřeba mechanické práce nebo rozpouštědla, které nenaruší model. Jejich materiál se liší od metody a jejich procentuální podíl na modelu ovlivňuje zejména poloha modelu na platformě, ale také jeho členitost.

3.1 Odstranění podpor u metody SLS

U metody SLS se ani ve skutečnosti nemluví o podporách, protože model je pevně ukotven v prášku. Odstranění prášku je snadné, stačí z něj jen model vytáhnout a případně jej dočistit štětečkem, nebo stlačeným vzduchem. Přebytečný prášek se také odsává.

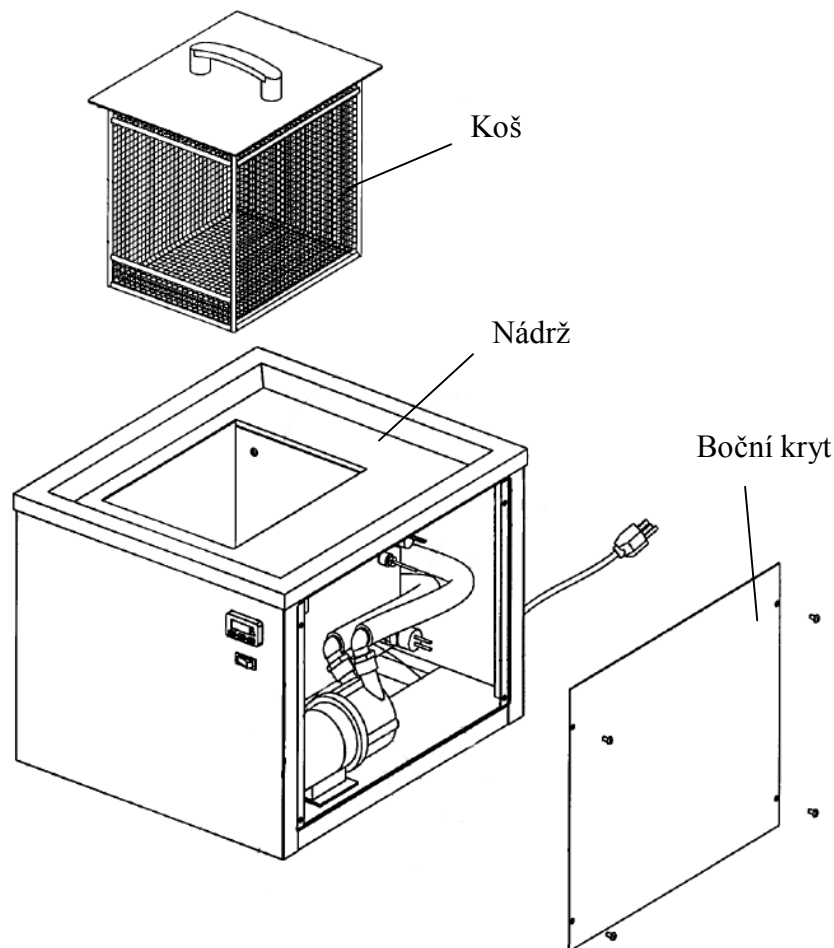


Obr. 14 Hotový model uložený v prášku

3.2 Odstranění podpor u metody FDM

V případě, kdy je použitý ve vodě rozpustný podpurný materiál, nabízí se celá řada technik pro odstranění tohoto materiálu z modelu. Jednou technikou je například ponoření modelu do vhodného roztoku a pomocí kartáče podpurný materiál odstranit manuálně nebo automatizovaně. Další běžně používanou technikou je umístění modelu do tzv. pračky, kde se odstraňuje mastnota, uhlík, dehet a další nežádoucí ropné zbytky z automobilových dílů a strojního vybavení. Ke zvýšení účinnosti rozpouštědla se zde používá ultrazvuk. Vzhledem k tomu, že celý proces od návržení až po čišťení modelu se většinou provádí v kancelářích, může být tato metoda nepříjemná a nešetrná k životnímu prostředí. Dále mohou některé prvky díky ultrazvuku postavit člověka před nepříjemná zdravotní rizika.

Přístroje pro odstranění vodou rozpustného podpůrného materiálu se skládají z nádrže a základních prvků tvořících vnitřek komory pro uložení a skladování čistícího vodného roztoku. [28]



Obr. 15 Pračka modelů pro FDM

Model je umístěn v klidu v komoře a ponechán určitou dobu, než se podpůrný materiál odstraní. Proces se urychluje a zefektivňuje pohybem modelu v komoře, prouděním roztoku nebo jejich kombinací.

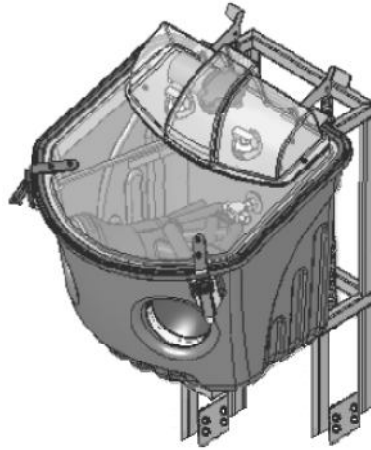
Většinou se získá dokonale očištěný díl, ovšem někdy může podpůrný materiál zůstat v malých slepých otvorech.

3.3 Odstranění podpor u metody Polyjet

Odstranění podpůrného materiálu neboli gelu, u metody polyjet není nijak zvlášť obtížné. Není potřeba žádných speciálních koupelí nebo časově náročných dokončovacích operací. Podpůrný materiál lze snadno odstranit vodním paprskem nebo kartáčkem. Při použití kartáčku ale může být model snadno poškrábán. [10]

Materiál pro podpory pod obchodním názvem Fullcure 705 je rozpustný ve vodě. Velmi snadno je možné odstranit podpory jen ponecháním modelu ve vodě. Díky tomu není nutno odstranit materiál mechanickým způsobem, který by mohl mít vliv na výslednou kvalitu povrchu. [12]

Aby byl proces rychlejší, používá se paprsek vody. Tlak, potřebný k odstranění podpor, se pohybuje kolem 90 Bar. [29]



Obr. 16 Čistící kabina od firmy Objet

K vyprodukování takového tlaku dostačuje základní vysokotlaký vodní čistič neboli WAP. Je třeba však zohlednit i jeho parametry a dobu provozu, po kterou bude používán. V těchto podmínkách už základní nabídka WAPek u většiny prodejců nevyhovuje a je třeba vybírat kvalitnější modely.

Výroba a čištění modelů se provádí většinou v uzavřených místnostech. Aby voda nestříkala všude po okolí, přenáší se proces do uzavřeného boxu neboli kabiny. Pro snadnější manipulaci s modelem je tryska umístěna pevně v kabině a voda se pouští pomocí pedálu.

Existují firmy, které se specializují na výrobu čistících boxů, a s jejich navrhováním není potřeba si dělat starosti. Tyto boxy jsou ale nákladné.

4 VYUŽITÍ METODY RAPID PROTOTYPING

Hlavním důvodem zavádění metody rapid prototyping je kontrola funkčnosti, smontovatelnosti a designu. U vstřikovacích forem je možno vyrobit finální výstřik a otestovat jej v laboratořích, jestli vyhovuje zadaným podmínkám. [30]

Této metody se využívá od strojírenství přes lékařství až po umění. Ve strojírenství můžou modely představovat snad všechny prvky a výrobky, které si může člověk představit. Například je možné vytvořit tvarovou vložku do vstřikovací formy se složitým chladicím okruhem.

Zajímavým příkladem využití rapid prototypingu v lékařství je oddělení siamských dvojčat v roce 2002. Lékaři tehdy použili tuto metody pro simulaci operace, kdy zhotovili model spojených lebek včetně cév. Nejsložitější částí zhotovení modelu bylo odstranění podpor. Model byl zhotoven na 3D tiskárně od firmy Objet, proto materiál pro podpory byl použit Fullcure 705, který je snadno odstranitelný vodou (jak již bylo řečeno dříve). Model se vyplachoval teplou vodou a slabým proudem, aby nedošlo k narušení vymodelovaných cév. Díky této technologii proběhla operace bez potíží a úspěšně. [31]



Obr. 17 Model lebky

V umění se rapid prototyping používá pro dekorační prvky a ztvárnění abstraktních myšlenek umělců.

5 ZÁSADY KONSTRUKCE

Návrh konstrukčního řešení musí být proveden tak, aby stavba byla funkční a dosáhla očekávaných parametrů. Při konstruování jakéhokoliv výrobku se vychází z deseti hlavních zásad. [34], [35]

Vycházet z požadavků na funkci a výrobu dílu:

- vzít v úvahu vliv zpracování součástí,
- hledat mezní stav konstrukce.

Využít maximálně pevnost materiálu:

- omezit místní a časovou nerovnoměrnost zatížení,
- zmírnit vrubové účinky tvarováním přechodů.

Oddělit teplotní a mechanická zatížení s opačnými požadavky na tloušťku stěn:

- zvážit nejen napětí, ale i teplotní deformace.

Oddělit požadavek na tuhost od požadavku na pevnost:

- velké stěny a nosníky mohou vibrovat následkem banálního kinematického buzení, pokud jejich vlastní frekvence není zvýšena vhodnými žebry nebo vícenásobným uložením.

Převádět tah na tlak:

- klenba namísto ploché desky.

Optimalizovat materiál s ohledem na mezní stav nejen z hlediska jeho pevnostních parametrů:

- vliv hustoty na setrvačné síly,
- vliv teplotní roztažnosti.

Respektovat technologii výroby:

- minimalizovat počet a plochu obráběných povrchů,
- minimalizovat přechody nástroje bez řezání.

Umožnit korekce výrobních odchylek při sestavování větších celků:

- vždy zvážit, zda se nevyplatí vyrábět s větší přesností,

- těsnění na vysoké tlaky musí být stažena přes mez plasticity dostatečně tuhými částmi s dostatečně rovnoměrně rozloženým tlakem.

Respektovat smontovatelnost a technologii montáže:

- pamatovat na přípravky pro montáž. Manipulace s těžšími a tvarově složitými částmi,
- zkontrolovat prostorovou smontovatelnost,
- pozor na překážející závrtné šrouby, které se z lícovaných závitů nemají při demontáži uvolňovat,
- všechny šrouby a matice musejí být přístupné pro plochý otevřený nebo nástrčný klíč,
- pod hlavami šroubů musí být dostatečná opěrná plocha s ohledem na průměr otvoru, sražení jeho hran a vepsanou kružnici do šestihranu,
- Snadnost údržby ovlivňuje přátelský vztah obsluhy a stroje.

Oddělit okruhy a prostory provozních hmot:

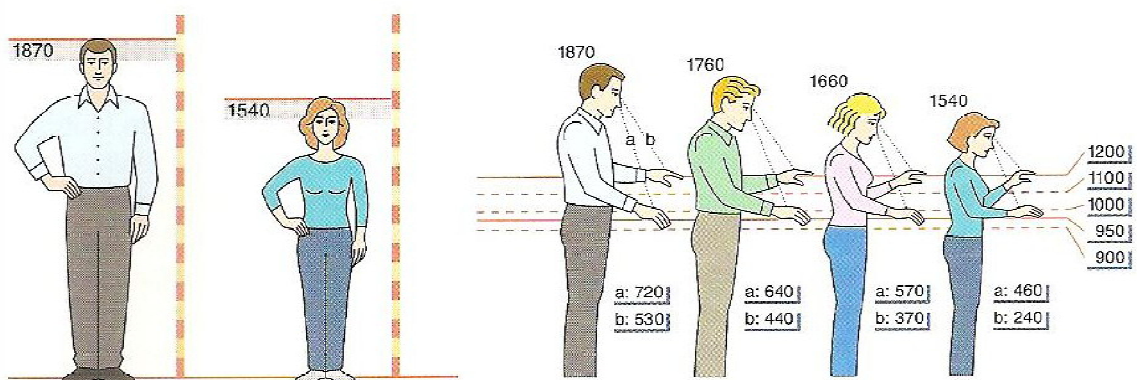
- jen tam, kde nejsou zaslepené a utěsněné otvory či spáry a spoje potrubí, nemůže vzniknout netěsnost. [34]

6 ZÁKLADNÍ PRAVIDLA ERGONOMETRIE

Existuje několik základních pravidel ergonomie, které usnadňují práci na pracovištích a dopomáhají k vyššímu výkonu pracovníků.

6.1 Vzít v potaz výšku postavy

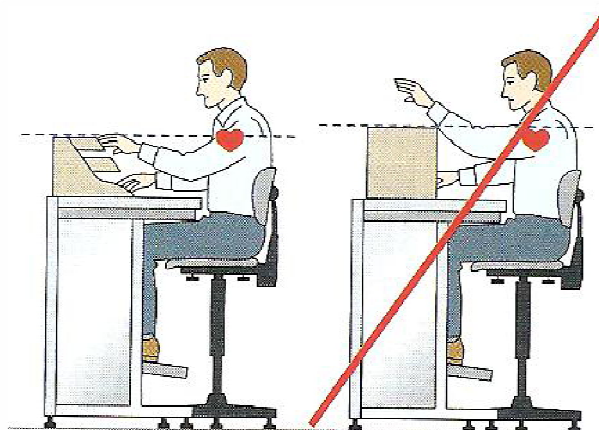
Výška pracoviště musí být vhodná pro zaměstnance různých výšek. Je třeba se ujistit o dostatku volného pohybu na pracovišti a vzít v úvahu, že velikost zařízení na pracovišti, má vliv na pozici obsluhy. [36]



Obr. 18 Výška postavy

6.2 Vyhnout se pracovním pozicím nad výškou srdce

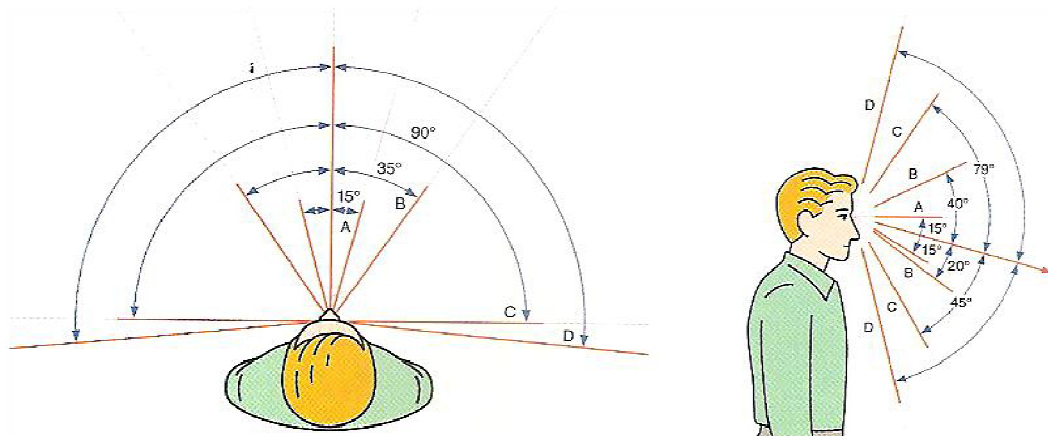
Další zásadou je vyhnout se pracovním pozicím nad výškou srdce. Pracovním místům, která jsou výš než srdce, je třeba se vyhnout, protože při nich poklesá krevní oběh. To vede rychle ke snížení výkonnosti pracovníka. [36]



Obr. 19 Poloha vůči srdci

6.3 Vzít v potaz zorné pole

Neustálé soustředění a časté změny úhlu pohledu jsou příliš namáhavé a zatěžují oči. Dobré je uspořádat si často používané předměty v optimálním zorném poli, aby se zabránilo zbytečným pohybům hlavy a očí. [36]



Obr. 20 Zorné pole

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- zhotovit 4 návrhy čistící kabiny pro výrobky zhotovené metodou Polyjet,
- porovnat návrhy mezi sebou a určit optimální variantu,
- vymodelovat čistící kabinu ve 3D,
- vytvořit montážní sestavu a výkresovou dokumentaci nenormalizovaných částí.

Dle zadání byly vytvořeny a diskutovány 4 varianty čistící kabiny. Při návrhu a konstrukci byly použity v převážné míře normalizované části, aby byla usnadněna výroba a montáž.

Všechny modely byly zhotoveny v programu Catia V5 R18.

Normalizované části byly voleny tak, aby se jejich nákup soustředil na úzký okruh dodavatelů a tím se minimalizovaly náklady na dopravu. Spojovací součásti a běžné normalizované díly byly převzaty z katalogu firmy Akros, hydraulické prvky od firmy Hansa-flex, díly pro odpadní systém od firem A-pool. Ostatní speciální díly, jako plynové vzpěry, západky, samořezné šrouby do plastu, osvětlení a těsnění byly rozděleny mezi firmy Ulbrich, Moss plastic parts, Simaf, Powertools, Uni-max a Rubena. Počet dodavatelé je možné snížit správnou kombinací v době nákupu.

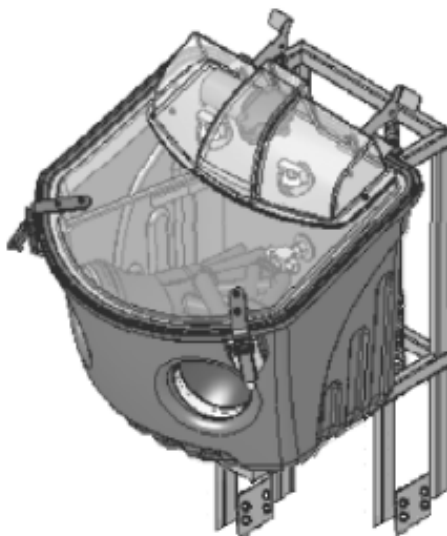
8 NÁVRH ČISTICÍ KABINY

Úkolem bylo vytvořit kabinu, která bude levná a jednoduchá na výrobu. Naskytují se 3 možné varianty:

- zakoupení originální kabiny od firmy Objet,
- úprava pískovací kabiny,
- zhotovení unikátní čisticí kabiny.

8.1 Varianta 1 - Čisticí kabina od firmy Objet

Čisticí kabina, nebo také myčka modelu (Water-jet), jak udává výrobce, je navržena přesně pro výrobky zhotoveny metodou Polyjet. Skládá se z uzavřené kabiny se třemi pevnými tryskami a stěračem, dále z nastavitelného stojanu a vysokotlakého čističe. Pomocný materiál je odstraňován tlakem vody a usazuje se v jímce pod kabinou. Uzavírání kabiny je řešeno přes dvě západky po stranách. Součástí kabiny je i stojan, která jí přidává možnost nastavení optimální pracovní výšky.



Obr. 21 Model čisticí kabiny od firmy Objet

Kabina se připojuje na vodovodní kohoutek a díky svým malým rozměrům může být umístěna přímo v místnosti s 3D tiskárnou (pokud to prostory opravdu dovolují). Obsahuje vodní filtr, umístěný před vysokotlakým čističem, aby nedošlo k zanesení trysek. Použitá voda se přímo odvádí do odpadu.

Otevření trysek se provádí pomocí nášlapného pedálu, připojeného do sítě s 24 V. Udávaný operační tlak činí 90 Bar (9 MPa).

8.1.1 Kalkulace ceny

Tab. 1. Cena kupované čisticí kabiny

	Cena bez DPH [Kč]	Cena vč. DPH [Kč]
Kabina	83 167,5	99 801
Doprava	15 354	18 424,8
Celkem	98 521,5	118 225,8

Cena samostatné čisticí kabiny činí při současném kurzu (1 EUR = 25,590 Kč) 83 167,5 Kč bez DPH. Jediný dodavatel sídlí v Izraeli, proto je potřeba i započítat cenu dopravy, která je 15 354 Kč bez DPH. Výsledná cena včetně daně je tedy 118 225,8 Kč.

8.2 Varianta 2 - Úprava pískovací kabiny

Pískovací kabina je určena pro pískování a ne pro vodní čištění. I když je prachotěsná, dodavatel udává, že vodotěsná není. Pro to, aby neunikal ve spojích prach, slouží odsávání. Připojení vody by bylo možné ve dvou provedeních:

- připojení vody do zásobníku místo abraziva. Voda by se v pistoli míchala se vzduchem, ale nebyl by získán požadovaný tlak vodního paprsku. I když by to bylo provedení funkční, dalo by se použít jen pro drobné čištění a dokončování modelu,
- připojení vysokotlakého čističe místo současného okruhu pro pískování.



Obr. 22 Pískovací kabina

V obou provedeních by byla potřeba utěsnit lemy kolem dveří a zajistit, aby při otevření dveří voda nestékala na pracovní stůl, dále odstranit odsávání a utěsnit vzniklý otvor. Také zářivka uvnitř kabiny představuje jisté nebezpečí, pokud se k ní dostane voda. Kdyby byla odstraněna, práce s kabinou by se stala obtížnější, protože jediný vstup světla je přes horní průzorové okno. V temnějším prostředí by výsledky čištění nebyly tak kvalitní, jako při dostatečném osvětlení. Proto by bylo lepší zářivku odizolovat krytem z polykarbonátu a utěsnit po obvodu, než úplně odstranit.

Odpad je řešen jen otvorem ve vaně, který je při práci uzavřen plastovým víčkem. Zde by bylo potřeba připojit odpadní hadici a vyřešit problematiku odpadového podpůrného materiálu, aby všechn neodcházel do domovního odpadu. Na připojení odpadu je ale vana příliš nízko.



Obr. 23 Pohled do pískovací kabiny

Aby tedy bylo možné pískovací box využít, jako čistící kabinu, je potřeba:

- utěsnit lemy kolem dveří,
- oddělit zářivku od pracovní komory krytem z polykarbonátu a utěsnit,
- odstranit odsávání a utěsnit vzniklý otvor,
- přidat výpusť odpadu a zvýšit nohy, protože vana je příliš nízko,
- koupit a připojit vysokotlaký čistič s dostatečným pracovním tlakem pro odstranění podpůrného materiálu z modelu.

8.2.1 Kalkulace ceny

Tab. 2. Cena úpravy pískovacího boxu

	Cena bez DPH [Kč]	Cena vč. DPH [Kč]
Kabina	5 713,3	6 856
Doprava	375	450
Materiál	7750	9 300
Celkem	13 838,3	16 606

Pískovací kabina je oproti čistící kabině Water-jet relativně cenově dostupná. Její cena na českém trhu je 5 713,3 bez DPH, nákup potřebných komponentů po předběžné kalkulaci vyjde na 7750 Kč. Celková cena včetně daně je tedy 16 606 Kč.

8.3 Vlastní konstrukční návrh čistící kabiny

Rozhodující při vlastní konstrukci je snaha o snížení ceny výroby kabiny. Čistící kabina musí být snadno přístupná, jednoduchá, účinná, spolehlivá a hlavně funkční.

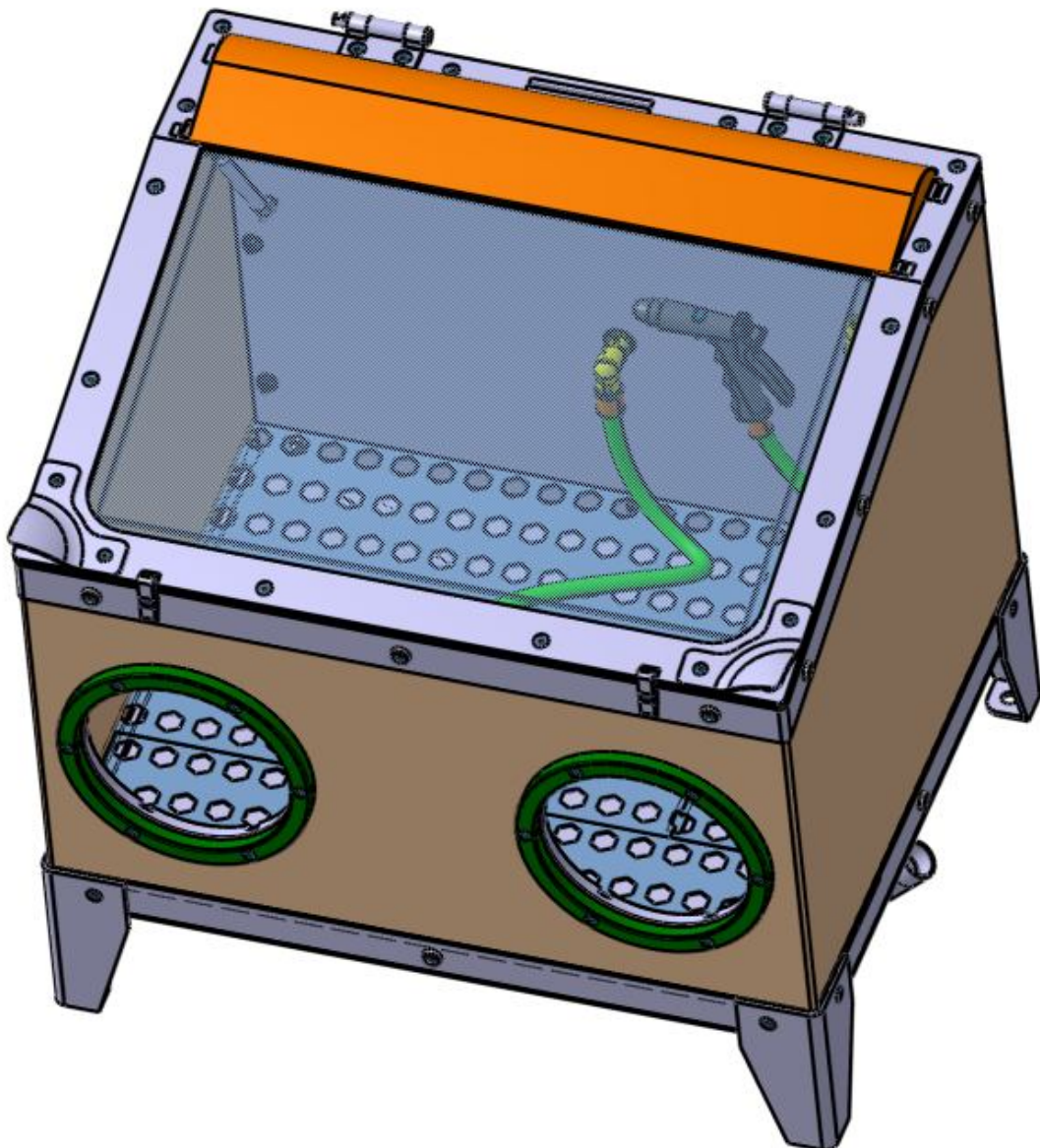
Pro obě varianty byl navrhnout vysokotlaký čistící stroj od firmy Kärcher, K 4.00 Eco silent. Tento stroj disponuje svou tichostí, jak už napovídá název. Řadí se mezi hobby a profi čistící stroje. Byl zvolen na základě parametru tlaku 20 – 130 Bar. Podle čistící kabiny od firmy Objet je pracovní tlak 90 Bar.



Obr. 24 Kärcher 4.00 Eco Silent

8.4 Varianta 3 - Konstrukce čisticí kabiny

Jako předloha pro model sloužila pískovací kabina. Rozměry jsou podobné, jen trochu upraveny podle rozměru největšího výrobku, který je 3D tiskárna Eden 250 od firmy Objet schopna vyrobit.



Obr. 25 Čisticí kabina

Přístup do kabiny byl zvolen shora, aby byl snadný přístup do kabiny a minimalizovala se potřeba utěsnit kabinu. Tlak vody je zvolen podle čisticí kabiny, kterou vyrábí firma Objet. Jeho jmenovitá hodnota je 90 Bar, ale podle potřeby je možné nastavit tlak od 20 Bar do 130 Bar.

8.4.1 Rozvod tlakové vody

Rozvod je zde řešen jednoduše. Vně je připojený vysokotlaký čistící stroj přes šroubení a rychlospojku přímo na kabinu. Uvnitř je hydraulická hadice a vodní pistole přizpůsobená pro vysoký tlak (až 160 Bar).

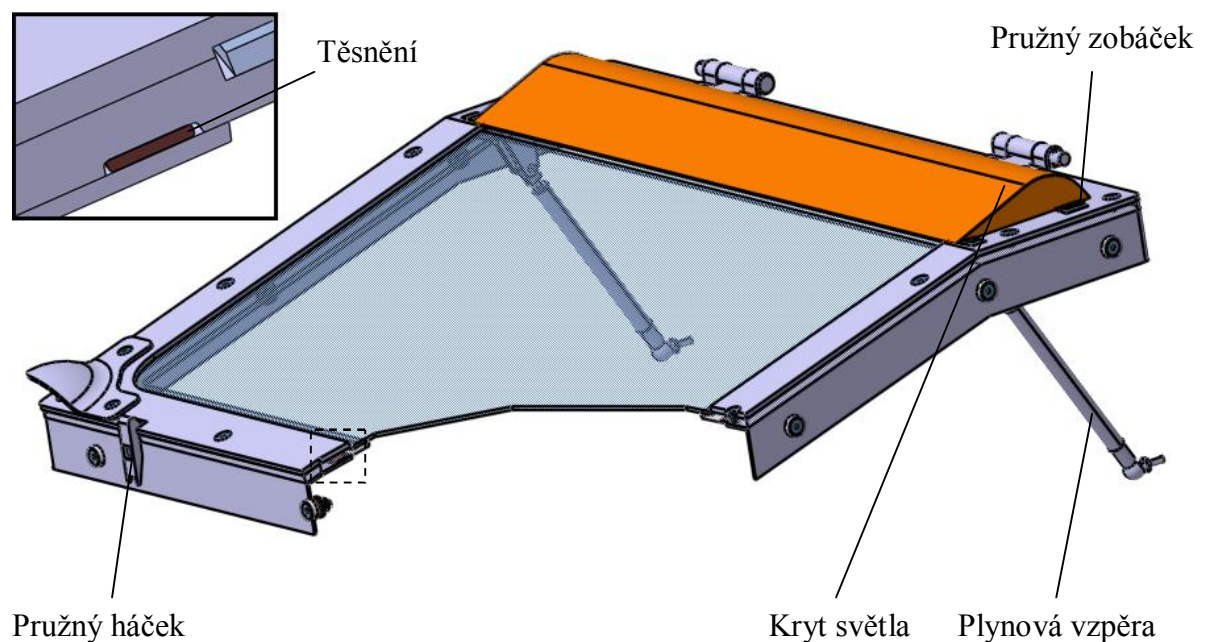
Aby hydraulická hadice vydržela tak velký tlak, musí být armovaná a tedy má velký poloměr ohybu. To způsobuje, že hadice v kabině spíš překáží.

8.4.2 Plechy a lem

Materiál všech plechů je nerezová ocel. Stěny tvořící přední stranu a boky jsou z jednoho kusu, zadní plech je k nim připevněn šrouby. Horní lem a vana zpevňují konstrukci. Horní lem také tvoří podpěrnou plochu pro dveře. Vzhledem k tloušťce plechu zvolené 1,5 mm bude ohýbání plechu náročnější, proto je také v rozích volen větší poloměr ohybu.

8.4.3 Přístup do kabiny

Jak už bylo naznačeno, přístup je shora. Dveře jsou s kabinou spojeny dvěma panty. Těsnění mezi dveřmi a kabinou je dosaženo samolepícím těsněním tvaru K, které se používá pro okna a dveře. Budou zde zvýšené nároky na výrobu, aby dveře dobře dosedaly, protože jsou vytvořeny z ohnutého plechu a polykarbonátu. Uvnitř kabiny jsou dvě plynové pružiny, které stále tlačí na dveře.

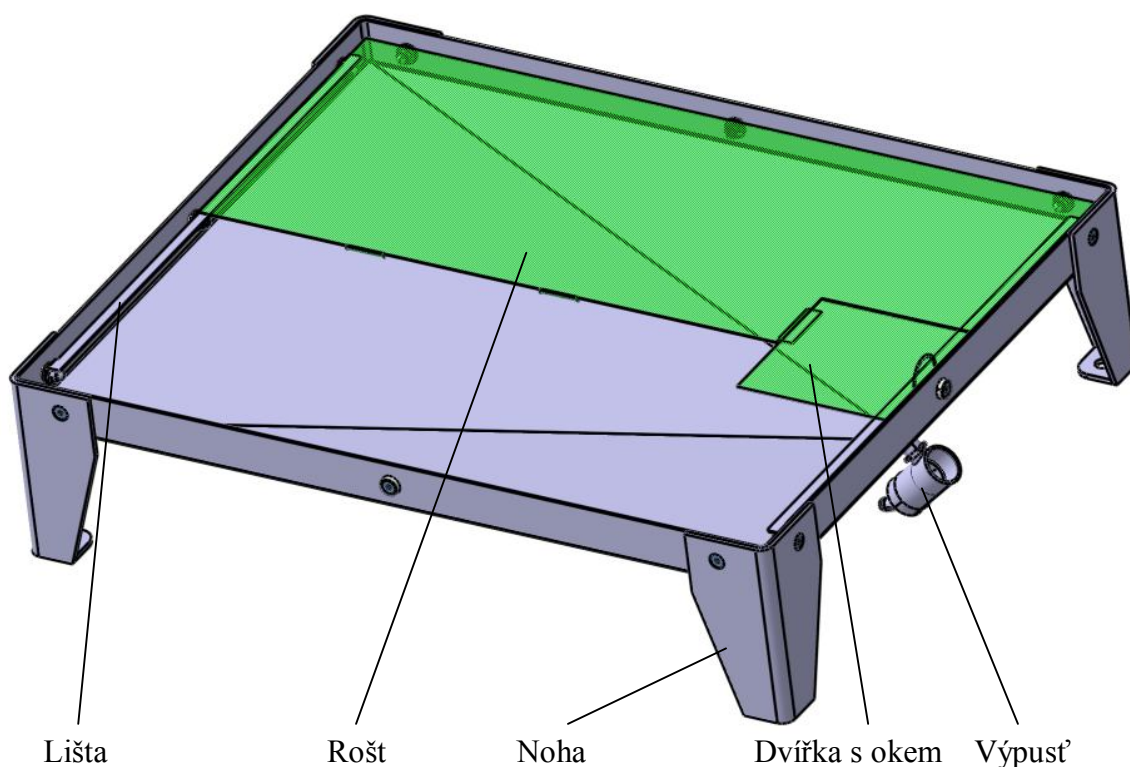


Obr. 26 Dveře kabiny

O zajištění dveří se starají dva pružné háčky. Při otevírání se oba stlačí a dveře se začnou díky plynovým pružinám otvírat, pokud by pružiny nefungovaly, jsou po bocích úchytky, s kterými je možné dveře také otevřít. Při zavírání stačí jen dveře přitlačit dolů a háčky samy zapadnou a drží je v uzavřeném stavu. Na horní rovné ploše je připevněno pod krytem světlo. V případě poruchy, nebo výměny světla je jeho montáž velmi snadná díky pružným zobáčkům.

8.4.4 Podstava

Vana je asymetrická s výpustí umístěnou vpravo. Spojení vany s výpustí je bajonetovým uzávěrem. Díky tomu, že je výpust' mimo kabínu, může být koš s odpadem, aniž by obsluha musela zasahovat do kabiny. Kdyby bylo potřeba dostat se pod rošt, je rozdělen na dvě poloviny a malé dvířka nad odtokem. Dvířka nad odtokem mají oko pro snadnější otevření. Rošt je položen na dvou lištách, které se montují spolu s nohami.

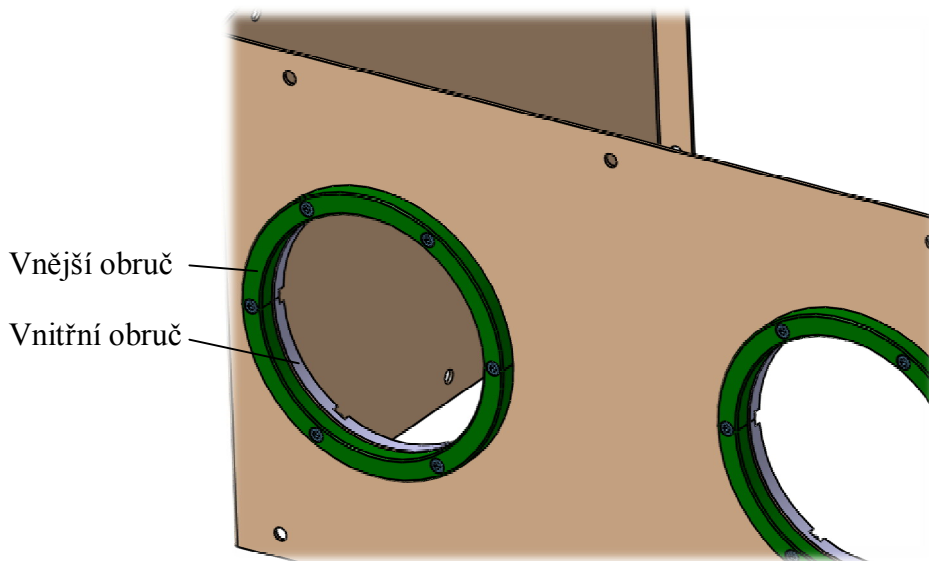


Obr. 27 Podstava

Nohy jsou tak vysoké, aby byl přístup k výpusti snadný a aby bylo možné pod vanou natáhnout odpadní hadici. Všechny nohy mají v sobě otvor pro ukotvení pomocí šroubů k pracovnímu stolu.

8.4.5 Obruče a rukavice

Přípevnění rukavic ke kabině je řešeno přes dvě obruče. Jedna je uvnitř kabiny a druhá vně. Obruče jsou spojeny šesti šrouby. Na tloušťce rukavice nezáleží, obruč se pokaždé přizpůsobí, jen u větších tloušťek nemusí pohled na kabinu působit esteticky, když bude obruč moc odstávat. Rukavice se můžou upevnit buď jen stisknutím mezi obruče, nebo provrtáním šrouby.



Obr. 28 Upevnění obručí

8.4.6 Kalkulace ceny

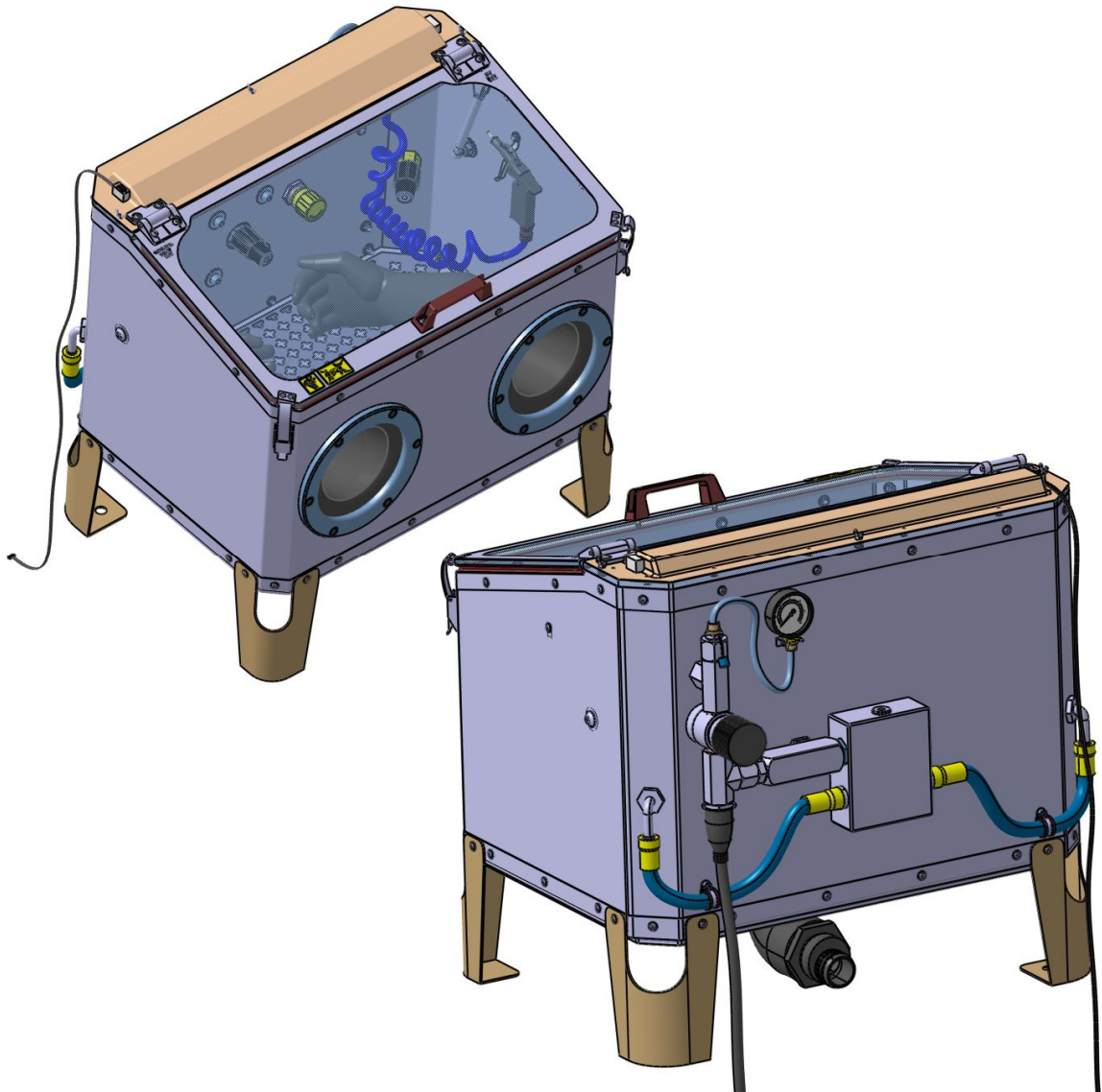
Tab. 3. Cena výroby čistící kabiny

	Cena bez DPH [Kč]	Cena vč. DPH [Kč]
Normalizované části	9 772	11 726,4
Materiál	6 970	8 364
Celkem	16 742	20 090,4

Cena normalizovaných částí pro výrobu kabiny činí při 9 772 Kč bez DPH, materiál potřebný na zhotovení kabiny činí 6970 Kč bez DPH. Výsledná cena včetně daně je tedy 20 090,4 Kč. Cena za práci zde nebyla započítána, není přesně určeno, kde se bude kabina vyrábět. To záleží na možnostech v době realizace výroby kabiny.

8.5 Varianta 4 - Konstrukce čistící kabiny

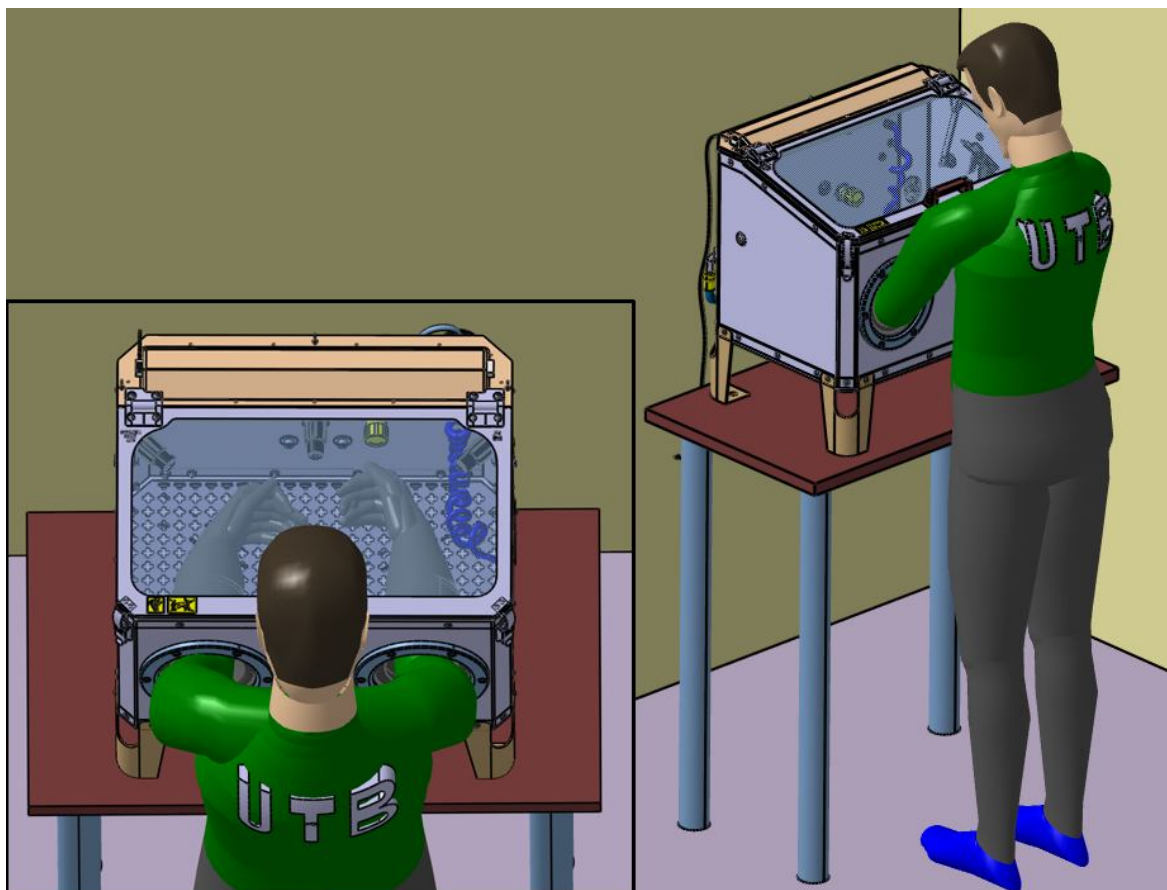
Jedná se o upravenou a vylepšenou verzi předchozí varianty. Efektivnost je ale přímo úměrná vyšším nákladům



Obr. 29 Čistící kabina

Kabina byla zhotovena převážně z normalizovaných částí. Byl brán ohled na možnou demontáž, ať už při stěhování, nebo při skladování pokud se nebude dlouhou dobu používat, proto jsou všechny spoje šroubové a ne nýtové.

Při montáži je nutné, aby se přidal mezi plechy těsnící silikon. Tím se vyrovnají případné výrobní nepřesnosti a kabina se utěsní.



Obr. 30 Práce s čistící kabinou

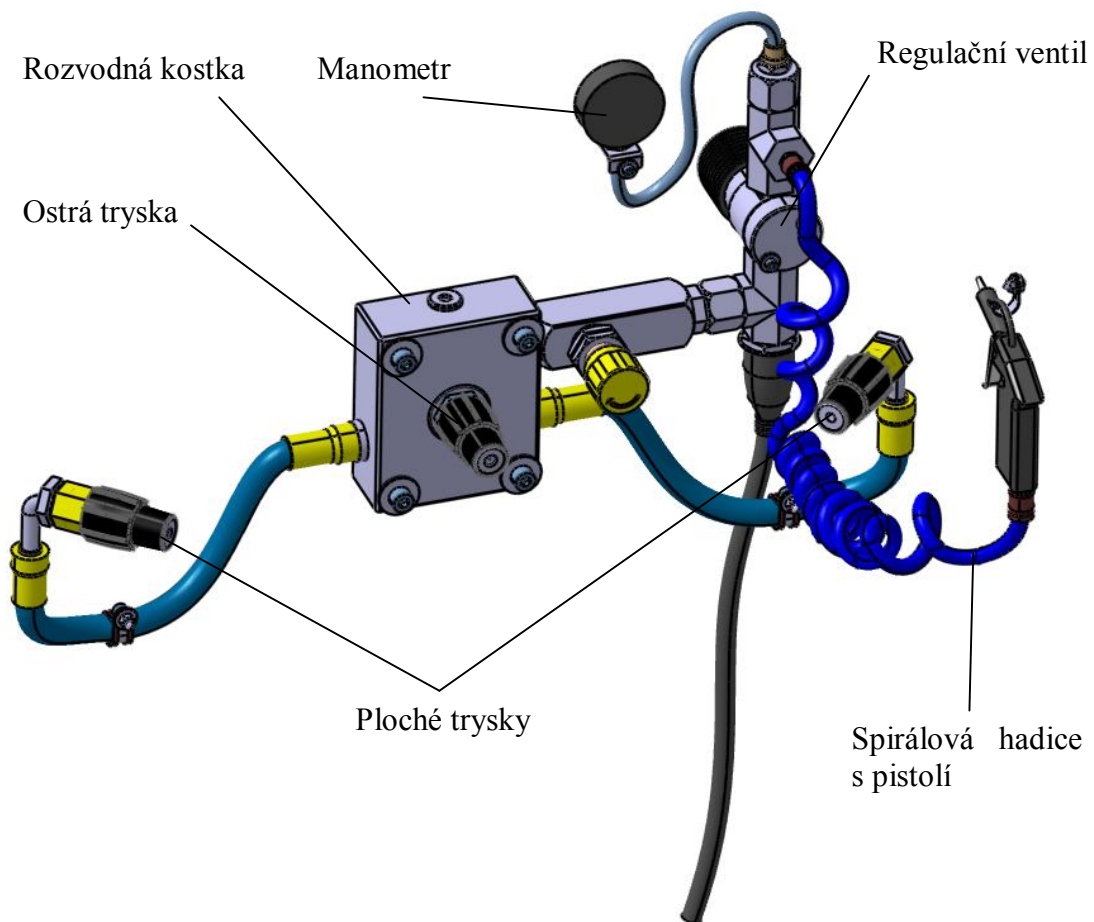
Přístup do kabiny je přes dveře, které jsou umístěny shora. Voda je pod tlakem přivedena z vysokotlakého čistícího zařízení vně a prochází třemi tryskami ústícími uvnitř kabiny a vodní pistolí. Odpad je řešen záchytným košem ve výpusti se snadným přístupem. Světlo do kabiny je přivedeno přes LED trubici nad pracovním prostorem.

Čistící kabina se svými rozměry 562 mm x 506 mm x 555 mm nezaujímá velkou plochu v místnosti, ale je dostatečně veliká i pro největší model, který je 3D tiskárna EDEN 250 od Firmy objet schopna vyrobit.

Protože kabina nemá teleskopické nohy, musí být vždy umístěna na pracovním stole. Doporučená výška stolu od podlahy je 850 až 950 mm.

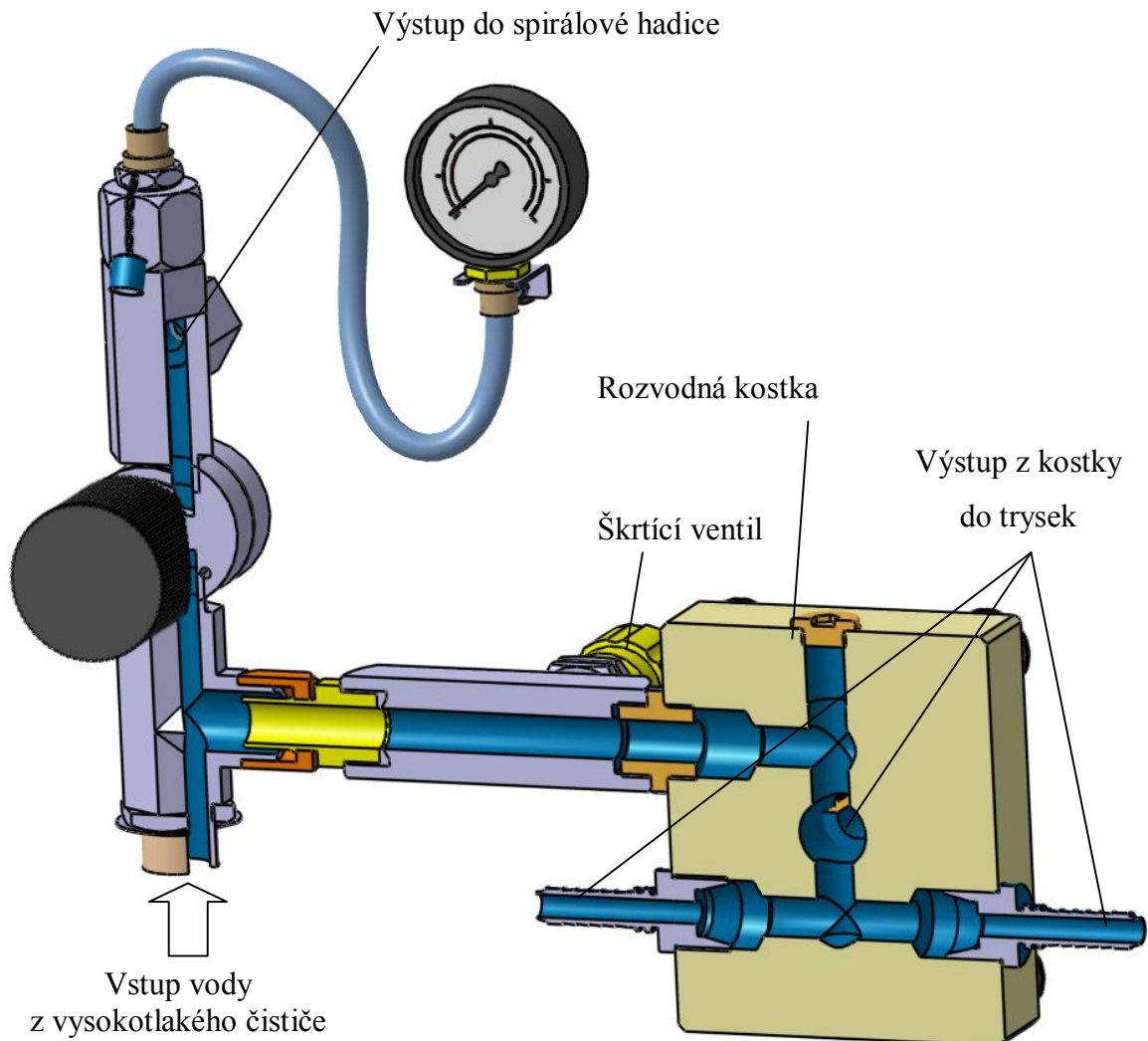
8.5.1 Rozvod tlakové vody

Hydraulický rozvod je srdcem kabiny. Voda je nástroj, který při požadovaných podmínkách odstraňuje podpurný materiál z modelu. Aby voda jako nástroj skutečně sloužila, musí být do kabiny přivedena pod určitým tlakem.



Obr. 31 Hydraulický rozvod

Voda vstupuje s pracovní teplotou 20°C. Požadovaný tlak je dosažen vysokotlakovým čisticím zařízením (WAP), které je připojeno na kabinu. Voda se rozděluje ve šroubení tvaru L na dvě větve. Jedna větev prochází přes regulační ventil. Tento ventil reguluje tlak a to až ze 160 Bar na maximálně 8 Bar. Potřeba tak velkého snížení tlaku spočívá v použití vodní pistole a spirálové hadice. Spirálová hadice je stanovena pro tlak do 10 Bar a vodní pistole pro tlak do 8 Bar. Voda o sníženém tlaku jde do dalšího, tentokrát upraveného, šroubení tvaru L. Odtud je přivedena do kabiny přes rychlospojku. Rychlospojka je našroubována zevnitř a utěsněna jak kolem závitu, tak kolem otvoru ve stěně kabiny. Aby bylo možné nastavit požadovaný tlak vody v kabině, je vně také připojen manometr, který měří tlak vody po regulaci. Vodní pistole je ve skutečnosti pistole ofukovací, a přestože je přednostně určena pro vzduch, výrobce udává, že je možno pistoli použít i pro vodu. Pistole má funkci jemného dokončování čištění modelu, oplachování kabiny a v případě potřeby může posloužit i jako stěrač (opláchnutí dveří proudem vody).

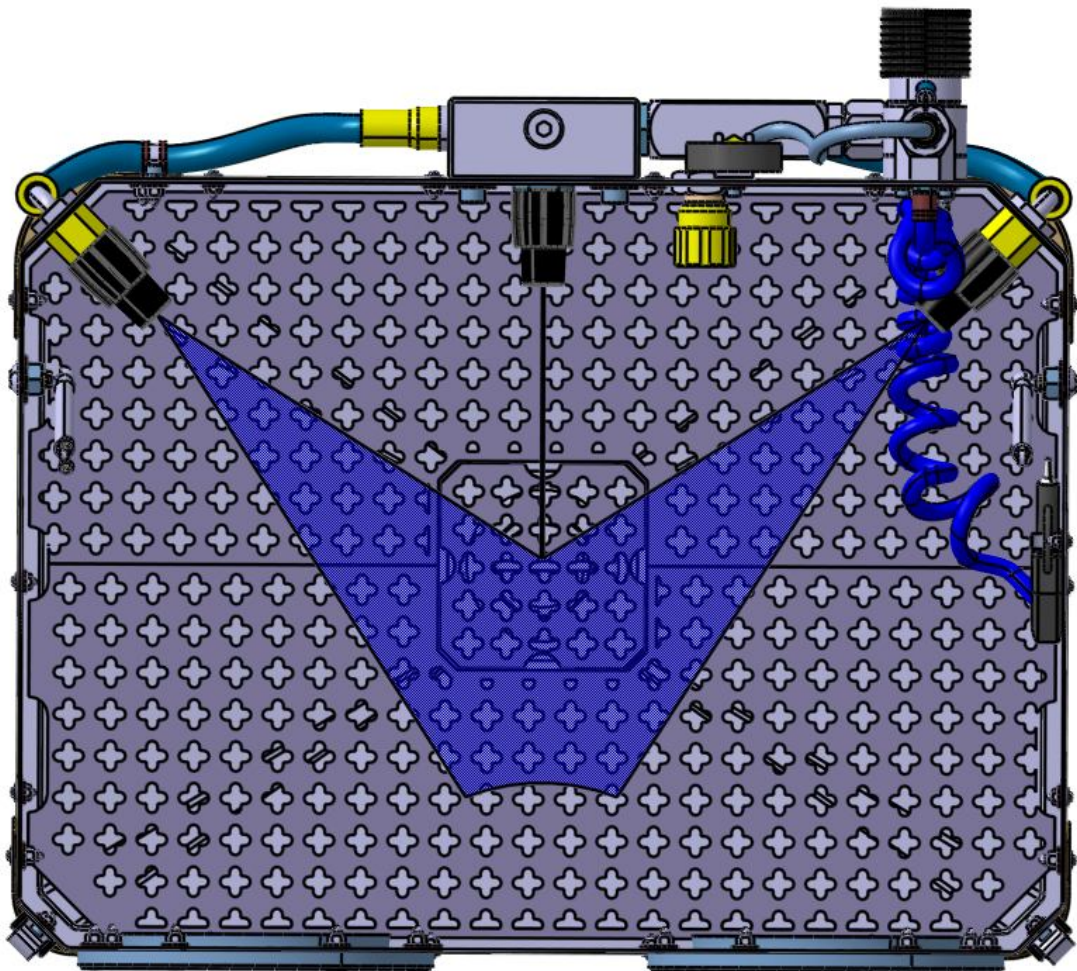


Obr. 32 Řez hydraulickým systémem

Druhá větev prochází přes škrťací ventil do rozvodného bloku. Škrťací ventil má ovládání umístěné v kabině. Díky tomu si může obsluha pouštět vodu podle potřeby, aniž by opouštěla kabinu. Rozvodný blok rozděluje vodu do trysek. Střední tryska je umístěna přímo na bloku. Voda zde dorazí jako první, ale díky malému průměru trysky (0,85 mm) půjde voda cestou nejmenšího odporu, tedy ke dvěma tryskám po stranách.

Hadice propojující trysky s rozvodným blokem jsou zvoleny tak, aby vydržely i maximální tlak, který udává výrobce vysokotlakého čističe. Trysky jsou umístěny pod úhlem 45° vůči střední rovině kabiny. Ke kabině jsou připojeny hadicovou koncovkou, která je opřena o stěnu vně kabiny. Uvnitř je spojovací vsuvka, se zabudovaným těsnicím kroužkem. Funguje také jako redukce. Tryska je uložena v plastovém krytu se šroubením M22x1,5, toto šroubení je použito u všech prvků tvořících hydraulicky obvod.

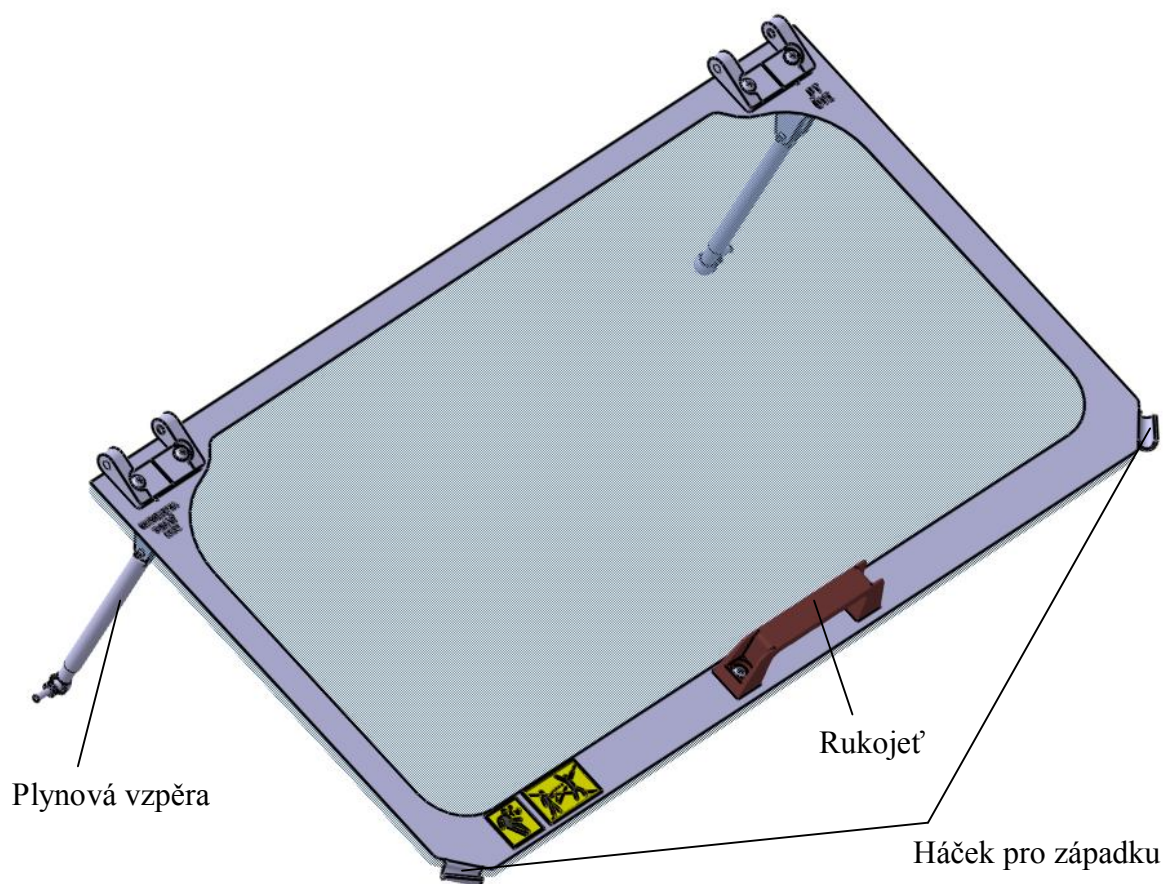
Prostřední tryska má tenký ostrý paprsek. Ten sice působí jen v malém bodě, ale s vysokou účinností. K tomu, aby byl dosažen lepší rozptyl a tím větší pole účinnosti vody, slouží boční trysky s plochým paprskem a úhlem rozstříku 25°. Plochý paprsek byl zvolen zejména kvůli nižší ceně, ale také ke snadnější manipulaci se škrticím ventilem. Operátor se tedy může k ventilu dostat, aniž by mu bránil paprsek vody.



Obr. 33 Rozptyl vodních paprsků

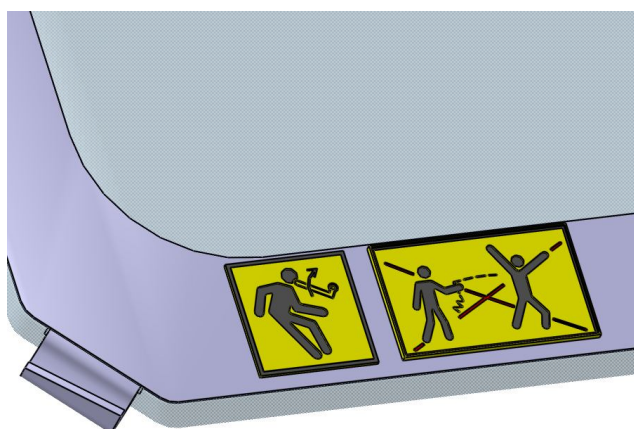
8.5.2 Přístup do kabiny

Dveře jsou umístěny na horní ploše kabiny pod mírným úkosem 15°, aby byla dosažena lepší viditelnost do kabiny. Uchyceny ke kabině jsou párem pantů s nastavitelnou silou otevírání a vysokou hodnotou dovoleného namáhání jak v tahu, tak ve stříhu. Panty jsou voleny s ohledem na náhodný náraz vodního paprsku na dveře zevnitř kabiny o maximálním tlaku vyvinutém vysokotlakým čisticím zařízením.



Obr. 34 Dveře

Jištění dveří obstarávají dvě západky v rozích. Blokování otevřených dveří je řešeno přes plynové vzpěry o nastavitelné síle (max. 100 N). Plynové vzpěry jsou z nerezové oceli a jsou také přímo určeny pro práci ve vodě. V dolní poloze dveře přitahují, to umožňuje odepnout západky. Mírným zatažením za rukojeť začnou vzpěry působit opačnou silou a dveře otvírat až do polohy téměř 90° vůči pracovnímu stolu.



Obr. 35 Bezpečnostní nálepky - detail

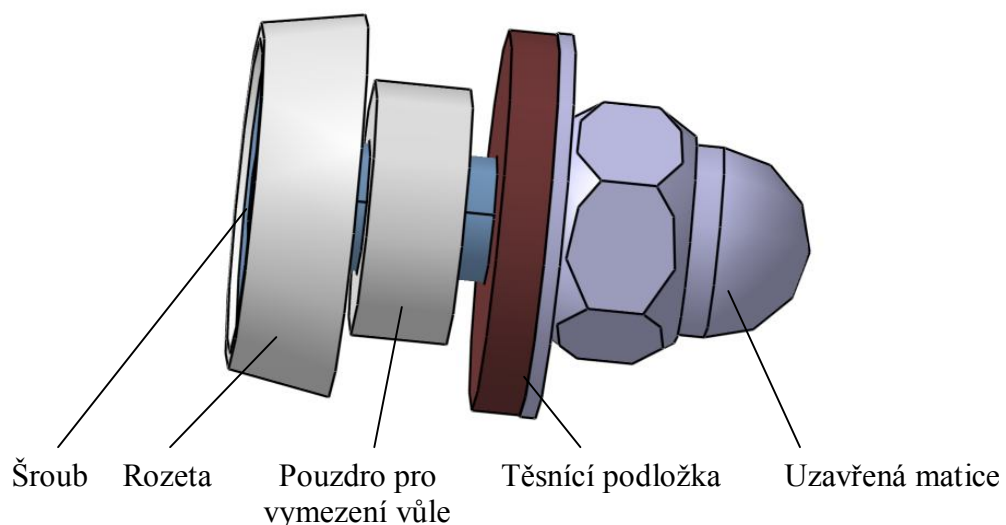
Lemovací plech má výhradně estetickou funkci, zakrývá skryté šrouby a těsnění pod dveřmi. Dveře jsou opatřeny i bezpečnostními nálepkami, aby nedošlo ke zranění obsluhy.

Může se stát, že při otevření dveří voda steče za těsnící lem a poté na pracovní stůl. Aby k tomu nedošlo, je možné za dveře přidat samolepící těsnění tvaru V. Ovšem toto by byly zvýšené náklady na méně potřebnou položku, protože dveře se otevírají tak, že roh polykarbonátu směřuje do kabiny.

Materiál pro průzorové okno je antistatický polykarbonát o tloušťce 8 mm. Polykarbonát (PC) je lehčí než PMMA a díky tomu, že je antistatický, nebude na něm ulpívat odstraněný podpůrný materiál. Lem je z nerezového plechu o tloušťce 0,4 mm. Šrouby jsou rovněž z nerezové oceli a jsou samořezné.

8.5.3 Stěny a lemující okraje

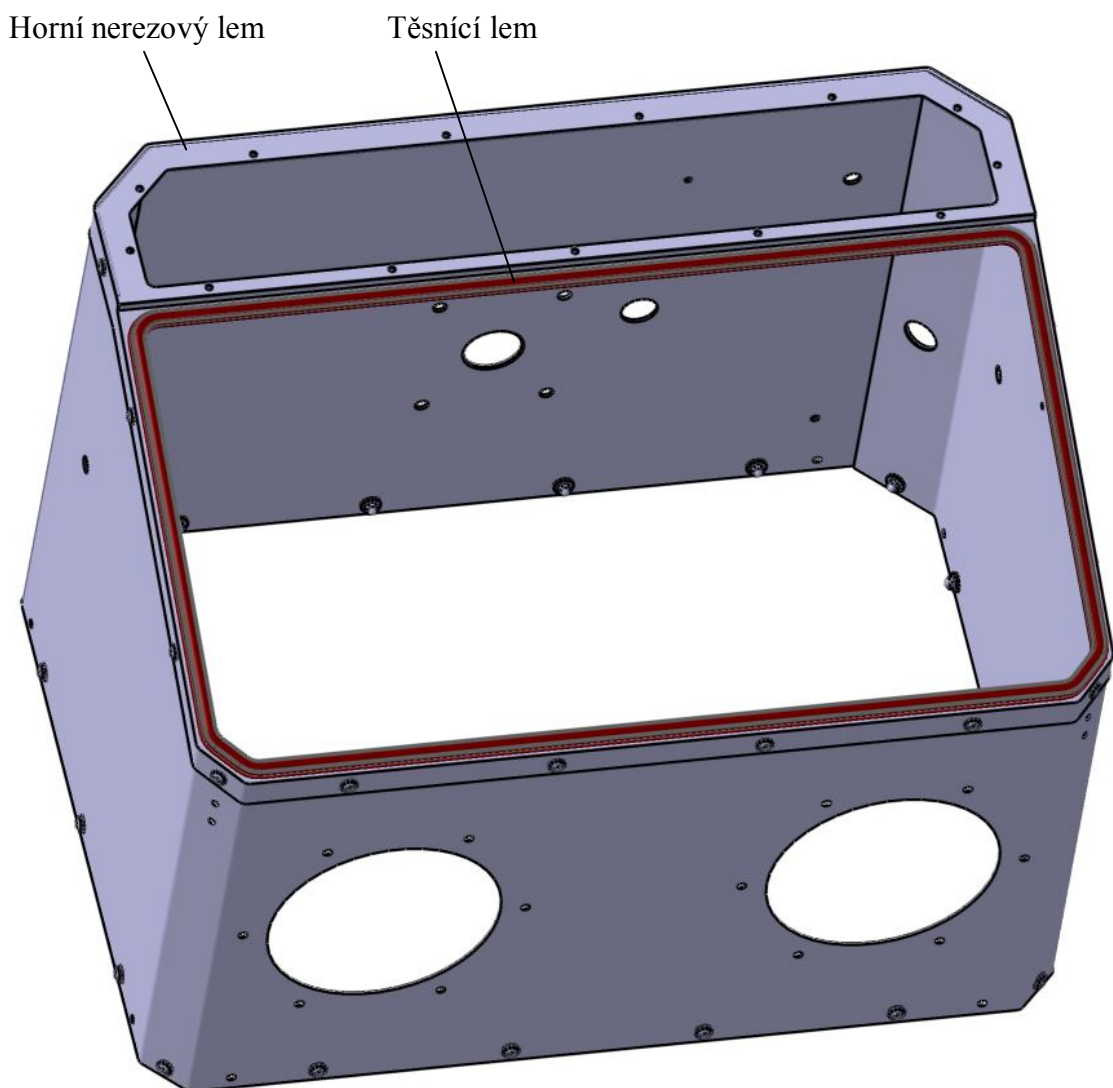
Stěny čistící kabiny a lemující okraje jsou tvořeny plechem z nerezové oceli. Přední a boční strany jsou z jednoho kusu. Rohy jsou ohnuty pod úhlem 45°, tloušťka plechu je 1 mm. Díry pro šrouby jsou voleny podle normy. Problém při montáži by mohla způsobit vůle mezi šroubem a dírou. Jistější řešení, ale také mnohem nákladnější, by bylo použití polyamidových pouzder, které by vymezily vůli. Nejjednodušší řešení by bylo se samořeznými šrouby, ale tato možnost zde není přípustná, ne jen, jak již bylo zmíněno, kvůli případné demontáži, ale hlavně kvůli možnému zranění obsluhy o hrot šroubu, nebo v lepším případě jen protržení rukavice, či hadice od pistole.



Obr. 36 Šroubové spojení s PA6.6 pouzdem

Zadní stěna má tloušťku 2 mm. Tato stěna je záměrně tlustší a samostatná. Tloušťka zajišťuje ochranu proti průhybu vahou hydraulického rozvodu a samostatnost stěny pomáhá při montáži kabiny. Všechny prvky se nejprve připevní ke stěně a až poté se stěna smontuje se zbytkem kabiny.

Horní lem zpevňuje konstrukci a také slouží jako podpora pro světlo a dveře. Bude vyroben z ohýbaného a svařeného plechu. Vstupní otvor, pod dveřmi, lemuje samosvorný těsnicí profil z materiálu EPDM s kruhovým průřezem.

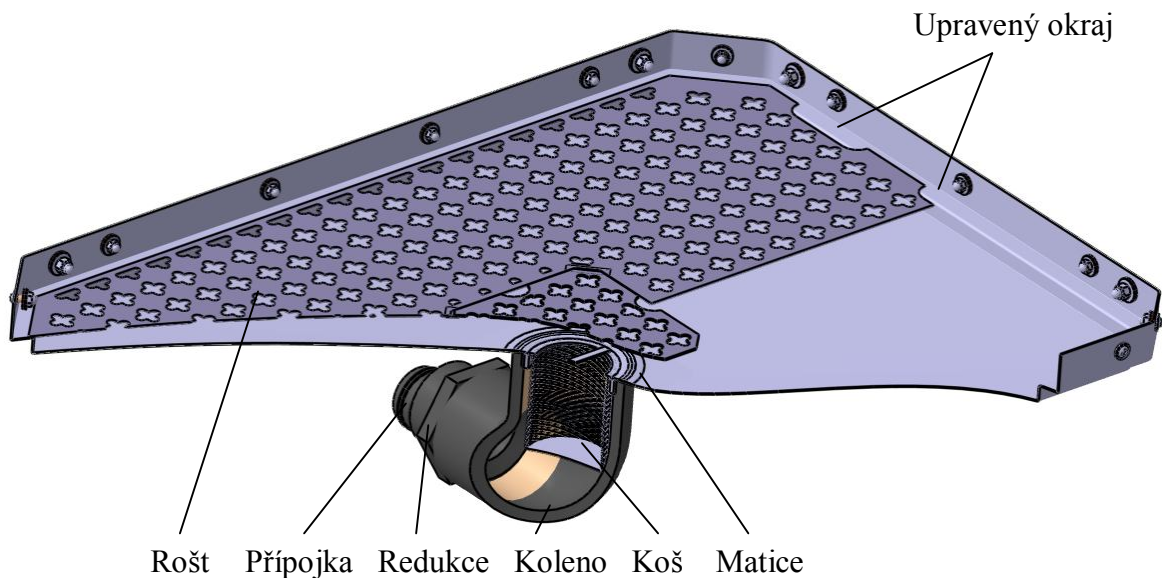


Obr. 37 Umístění těsnícího lemu

8.5.4 Pracovní vana

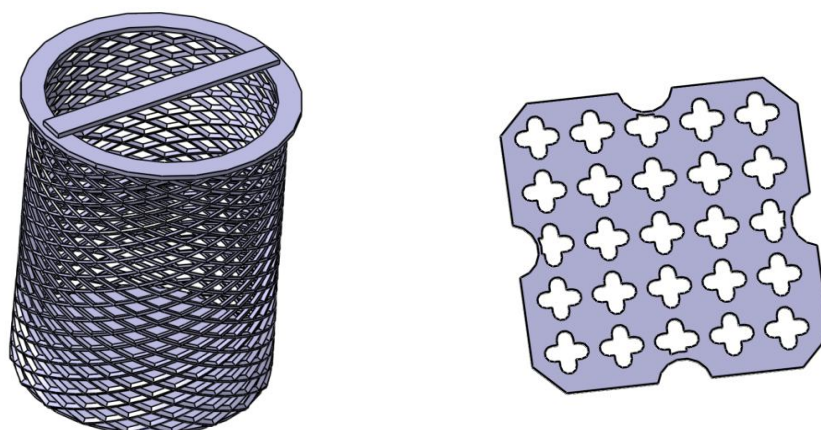
Zhotovení vany je možné v klempířství, specializujícím se na výrobu dřezů a nerezových van. Tloušťka stěny je 0,8 mm. Vana má rovněž stejnou funkci jako horní lem, zpevňuje

konstrukci. Je přizpůsobena tak, aby na ni bylo možné položit rošt. Ten je složený ze tří částí, dvě symetrické poloviny a střední vyjímatelná část nad výpustí. Obě poloviny mají upraveny okraje, aby je bylo možné kdykoliv vytáhnout, ať už při čistění kabiny, vytahování zapadlého modelu, nebo při montáži/demontáži. Prostřední část má čtyři výřezy pro snadné vyjmutí.



Obr. 38 Řez pracovní vanou

Výpust' je ve středu vany. V otvoru je matice, utěsněna pod okrajem a přizpůsobena pro držení koše na odpad. Koš je upraven pro snadné vyjímání. Nevýhodou je jen jeho poloha a to, že je uprostřed, kdyby ústil na straně, mohl se vyjmát bez nutnosti otevření kabiny, tak jak je tomu u varianty 1 (viz obr. 23).



Obr. 39 Detail odpadového koše a vyjímatelného víka

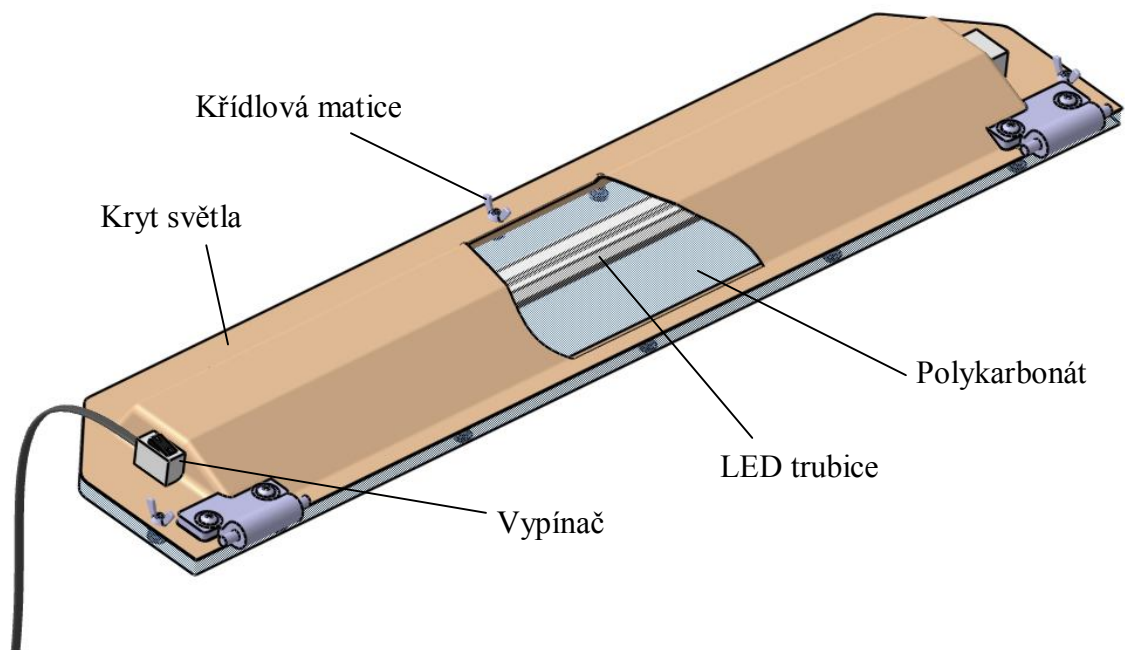
Výroba symetrické vany s výpustí ve středu je méně pracná a levnější, také se nemusí řešit připojení kolena po straně.

Matice výpusti je přitažena kolenem pod vanou. Kleno je voleno s ohledem na rozměr koše. Redukce jej spojuje s přípojkou na hadici. Hadice od výpusti do odpadu by mohla být např. flexi hadice, která se používá běžně u dřezů.

Možnost uzavřeného okruhu vody nebyla uvažována, protože její filtrace by byla časově náročná. Při uvažované frekvenci používání kabiny bezvýznamná.

8.5.5 Osvětlení pracovního prostoru

Světelná LED trubice je umístěna v zadní části kabiny. Od pracovního prostoru je oddělena průhledným antistatickým polykarbonátem o tloušťce stěny 8 mm. Jedná se o stejný polykarbonát, jako na dveřích. Důvodem je, nákup jedné desky a její rozdělení na dvě části a následné obrobení. Polykarbonát je připevněn samořeznými šrouby zevnitř kabiny. Světlo je uloženo pod krytem z plechu o tloušťce 0,4 mm. Tento plech je připevněn třemi šrouby s křídlatými maticemi. V případě nefunkčnosti světla je demontáž krytu velice rychlá a snadná.



Obr. 40 Osvětlení pracovního prostoru

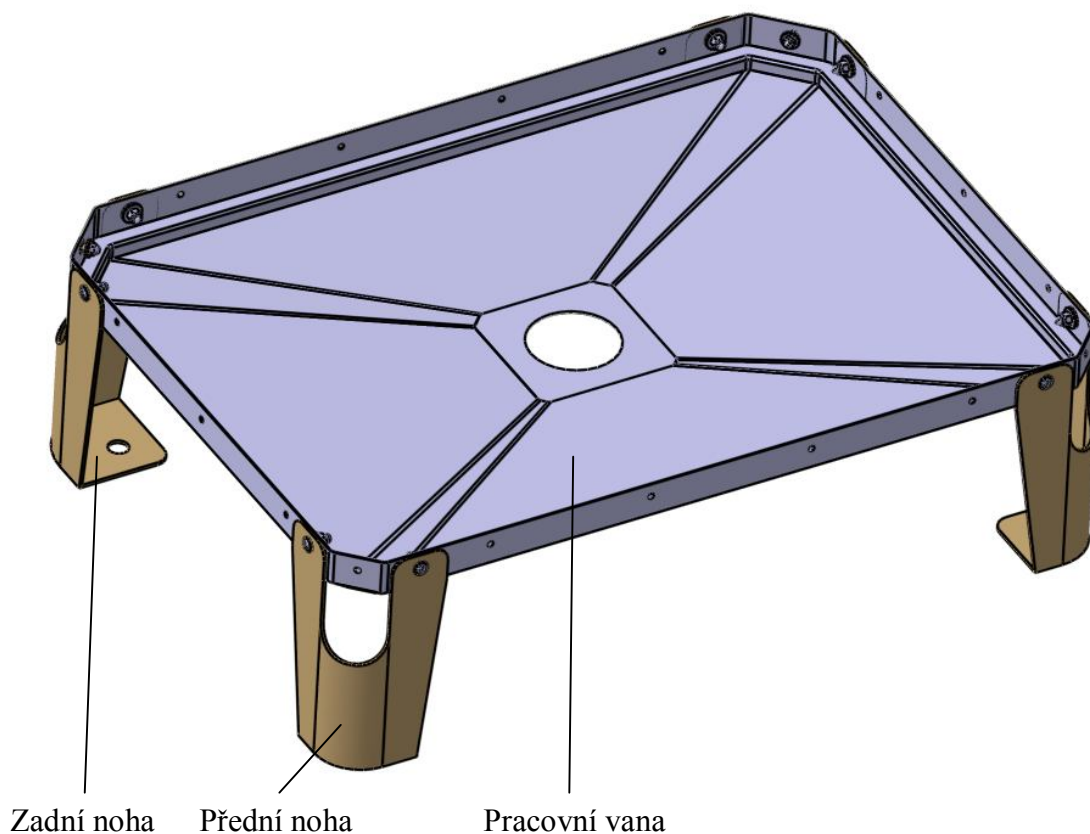
Světelná trubice je připojena do sítě s napětím 24 V. Připojení k síti je vedeno na protější straně, než přívod tlakové vody, aby se zamezilo případnému kontaktu s vodou. Vypínač je přímo na odhalené části trubice.

Barva světla je studená bílá. Tato barva vytvoří lepší osvětlení, než tradiční nažloutlá umělá barva světla, která také působí jako unavující.

8.5.6 Podstava

Podstavu tvoří čtyři stabilní nohy ze silnějšího nerezového plechu o tloušťce 2 mm. Jejich rozměr je pevně daný a není možné kabinu v případě potřeby vyvážit. Zadní nohy jsou s dírami pro šrouby, aby se kabina dala připevnit k pracovnímu stolu. Vzhledem k hmotnosti (přibližně 7kg), je možné, že by poskakovala po stole.

Kdyby se použily šroubovací nohy, byla by možnost kabinu vyvážit, ale také by bylo třeba přidat jednu jistící nohu, s dvěma otvory pro šrouby k připevnění kabiny k pracovnímu stolu. Vyvažování ovšem nemá větší význam, protože se nejedná o optiku ani přesnou výrobu.

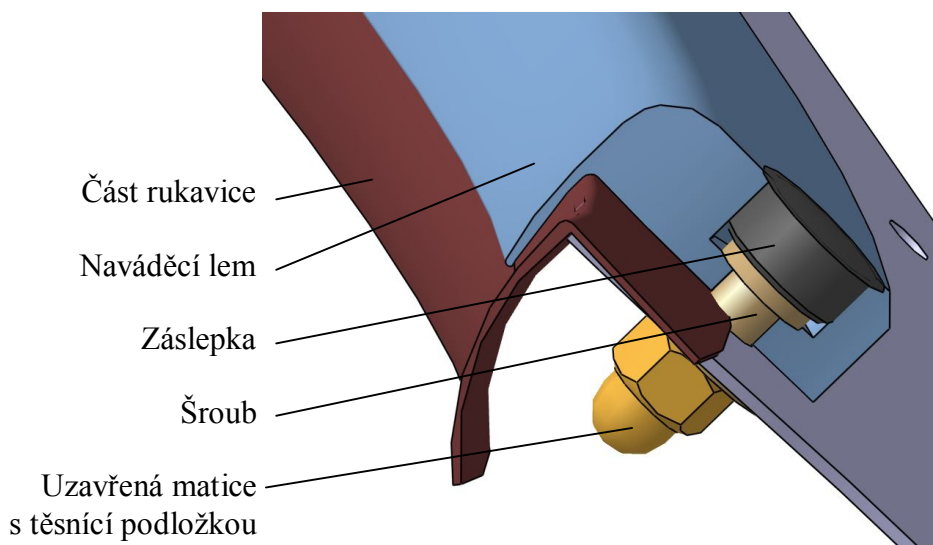


Obr. 41 Podstava

Nohy mají záměrně vyřezanou drážku v ohybovém rádiu. Nejde jen o estetický prvek, ale také usnadnění výroby. Takto stačí nohu ohnout jen jednou s velkým poloměrem. Spodní dosedová plocha se k ohnutému plechu přivaří. Spojení mezi kabinou a nohou tvoří dva šrouby M5.

8.5.7 Rukavice

Na trhu je k dostání mnoho velikostí a provedení rukavic v různých materiálech. Od pískovacích rukavic až k veterinárním. Navržené obruče jsou pro rukavice s tloušťkou 1-2 mm, které se vyrábějí pro pískovací kabiny. V silnějších rukavicích by ruce už ztrácely potřebný cit a rukavice by byly tužší, pokud by se použily příliš tenké, tak by nebylo možné je připevnit pomocí kroužků. Také by se mohly snadno protrhnout proudem tlakové vody.



Obr. 42 Detail obruče

Obruče byly navrženy z PE s naváděcím lemlem pro rukavice. Ke kabině jsou připevněny šesti šrouby. Díry s hlavami šroubů jsou zaslepeny ucpávkami. Demontáž obručí a výměna rukavic je snadná. Šrouby jsou utěsněny podložkami s gumou, po obvodu těšni rukavice.

8.5.8 Kalkulace ceny

Tab. 4. Cena výroby čistící kabiny

	Cena bez DPH [Kč]	Cena vč. DPH [Kč]
Normalizované části	7 284	8 740,8
Materiál	16 081	19 297,2
Celkem	23 365	28 038

Cena normalizovaných částí pro výrobu kabiny činí při 7 284 Kč bez DPH, materiál potřebný na zhotovení kabiny činí 16 081 Kč bez DPH. Výsledná cena včetně daně je tedy 23 038 Kč.

9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro čisticí kabinu se naskytují čtyři možnosti. Tou nejpohodlnější, ale zároveň nejdražší je varianta 1, koupě hotové kabiny. Odpadají požadavky na obrábění, nákup normálií, zjišťování nejlevnějšího dodavatele, čas strávený výrobou a montáží. Druhá cenově nejmíň dostupná je varianta 3 a 4, vlastní konstrukce kabiny a to ve dvou provedeních, levné a ne moc kvalitní a dražší, ale luxusní. Poslední možností je varianta 2, koupě pískovacího boxu, a jeho úprava na čisticí kabinu. Cenově se už moc neliší od levné konstrukce, rozdíl v ceně je sice malý ale provedení kabiny je lepší, a protože už je částečně hotová, tak i čas strávený nad montáží je výrazně kratší.

Originální čisticí kabina (varianta 1) má dobře řešený odpad a rozměry. Oproti tomu pískovací box je zbytečně velký a vyřešit odpad dá spoustu práce.

Vlastní konstrukční provedení skrývá nemálo slepých uliček. U varianty 3 je zřejmý největší problém v rozvodu tlakové vody. Je potřeba, aby hadice byla dost pevná, a čisticí pistole se nemůže použít jen tak obyčejná zahradní, nebo ofukovací. Zahradní pistole jsou stavěny do 2 Bar, ofukovací maximálně do 10 Bar. Použití těchto pistolí je nepřípustné, protože tlak dodávaný vysokotlakým čisticím zařízením je o minimální hodnotě 20 Bar. Je zde možnost zařadit redukční ventil před vstup do kabiny, ale zbytečně by se prodražila výroba a tato varianta by přišla o jedinou výhodu a tou je cena. Jako čisticí pistole se musí použít pistole přímo určená pro vysoké tlaky. Taková se dodává k vysokotlakým čisticím zařízením. Stačí jen přidat krátkou trysku v hodnotě přibližně 500 Kč. Její nevýhoda ovšem spočívá ve velikosti. I se zkrácenou tryskou bude mít pistole velké rozměry v poměru k čisticí kabině. Také pro obsluhu nebude jednoduché zacházet v malém prostoru s pistolí, která bude stříkat vodu s tlakem 90 Bar.

Konstrukční varianta 4 je mnohem promyšlenější. Za kvalitu se sice musí platit, avšak ve výsledku bude radost pracovat s čisticí kabinou. Voda přichází do rozdělovacího šroubení. Odtud se v jednom směru (do hadice) reguluje na nízký tlak. Obsluha nemusí mít strach, že neodhadne správnou hodnotu tlaku, protože regulační ventil nepracuje nad rizikovou hranicí pro spirálovou hadici a pistoli. Pro lepší kontrolu je u regulačního ventilu ještě manometr.

Voda přivedená k tryskám je pod tlakem, který určuje nastavení regulačního ventilu přímo na vysokotlakém čisticím zařízením. Pro vlastní potřebu je možnost přiškrtit až úplně uzavřít proud vody přímo z kabiny.

Ovládání trysek u 1. varianty, s originální kabinou od firmy Objet, je nohou přes pedál. Toto je asi nejpohodlnější varianta.

Řešení dveří u 4. varianty je nápadité v tom, že světlo zůstává pořád na stejném místě, proto při otevření kabiny neoslňuje obsluhu jako u 3. varianty. Vodotěsnost dveří zajišťuje profilové těsnění, které dovoluje stlačení 3,5 mm. Velkou výhodou oproti variantě 3 je rozdělení dveří na dvě části. Odpadají výrobní nepřesnosti a následné problémy s utěsněním.

Ve 3. variantě se dveře skládají ze tří základních částí; polykarbonátového okna, spodního plechu a horního plechu. Všechny tři části musí být ohnuty a to tak, aby na sebe dosedaly s maximální přesností.

Dveře pískovacího boxu jsou velmi nevhodné. Uzavření mají jen v jednom bodě a i po utěsnění je velice pravděpodobné, že bude po nich voda při otevření stékat na pracovní stůl. Je možné přidat pod dveře mini okapy, které budou ústít do odpadního systému kabiny.

Trysky u varianty 1, čisticí kabiny od firmy Objet jsou blízko u sebe. Mají velkou účinnost, ale působí na malou plochu. Ve vlastní konstrukční variantě, variantě 4, jsou trysky od sebe více vzdáleny, tím umožňují čištění větší plochy najednou. Ploché trysky mají výrazně nižší účinnost proti ostré trysce, ale pořád dostatečný tlak na to, aby odstranily podpory z modelu. Výměna trysek je kdykoliv možná. Pokud by navržená kombinace nesplňovala požadavky, není problém zkusit jiné trysky. Jsou dodávány v rozličných průměrech a úhlech rozstříku, dokonce i různých tvarech paprsku.

Frekvence čištění (vyprazdňování) koše s odpadem z kabiny záleží na velikosti modelu, procentuálním podílu podpor a na frekvenci používání čisticí kabiny. U všech variant by se koš měl čistit zpravidla po každém použití kabiny. U originální čisticí kabiny a konstrukční varianty 4 je koš dostatečně velký, aby vydržel jednu větší dávku odpadu, u varianty 3, je koš poměrně menší. Je dost pravděpodobné, že jej bude potřeba často vynášet i v průběhu procesu čištění modelu.

Originální čisticí kabina z 1. varianty nemá žádný rošt, její dno je téměř ploché a odvodňování kabiny je dostatečně rychlé i při velkém znečištění. Varianta 3 a 4 rošt potřebují. Hlavně proto, že dno vany je oproti obručím nízko položené. U pískovacího boxu by bylo také vhodné použít rošt, protože vana má nevhodný tvar pro volné položení modelu.

Rozteč děrování roštu je dostatečně velká, aby malé modely nepropadly, ale kdyby k tomu náhodou došlo, jsou ve všech variantách lehce rozebíratelné. Samostatná část je vždy nad výpustí, aby se mohl koš snadno vynášet.

Obruče jsou voleny z materiálu Murtfeldt. U varianty 4 se rukavice jen přiškrtí, varianta 3 nabízí možnost jak přiškrcení, tak i připevnění mezi šrouby, na to je ale potřeba rukavici upravit (naděrovat).

Montáž vlastní čistící kabiny podle varianty 3 a 4 je kombinací svařování a šroubování. Při sešroubovávání se nesmí opomenout použití těsnícího silikonu mezi lemy a stěny. Úprava pískovacího boxu se moc montáží nazvat nedá. Přibude jen pár ochranných a těsnících prvků.

Tab. 5. Hodnocení pěti základních aspektů

	Název varianty			
	Čistící kabina od firmy Objet – varianta 1	Úprava pískovacího boxu – varianta 2	Vlastní konstrukce – varianta 3	Vlastní konstrukce – varianta 4
Manipulace	+	-	-	+
Nároky na výrobu	+	+	-	-
Účinnost	+	-	-	+
Doba dodání	+	+	-	-
Cena	-	+	+	-
Celkové hodnocení	1	2	4	3

Z tabulky vyplývá, že jako nejlepší se jeví varianta 1, zakoupení čistící kabiny z Izraele. Poté úprava pískovacího boxu (varianta 2) a 4. varianta, vlastní konstrukce. Varianta 3 dopadla nejhůře. Tyto rozhodující aspekty jsou důležité, ale ne nejdůležitější. Nejdůležitější je otázka financí. V tom případě by se koupě hotové kabiny dostala na poslední až předposlední místo. Nejlepší, dle tohoto kritéria, by byla varianta úpravy pískovací kabiny a na druhém místě pak varianta 4.

ZÁVĚR

Teoretická část se zabývala tématem rapid prototyping, se zaměřením na jednotlivé metody, hlavně na metodu Polyjet. Důvodem byl návrh čistící kabiny právě pro tuto metodu. Byly diskutovány používané materiály, principy zhotovování výrobků i problémy vzniklé s odstraňováním podpor.

V praktické části byla diskutována čistící kabina Water-jet od firmy Objet, úprava pískovací kabiny na čistící kabinu a navrženy dvě konstrukční varianty.

Z pohledu dostupnosti je nejlepší čistící kabina od firmy Objet. Není potřeba nic vymýšlet ani upravovat. Cenově je ovšem tato varianta až na místě posledním. V poměru cena a kvalita převažuje cena přibližně o třetinu, což bylo důvodem hlavním k návrhu a konstrukci vlastní čistící kabiny.

Pískovací kabina jako upravená čistící kabina je cenově příznivá, ale málo účinná, i když je cena hlavním kritériem, jak už bylo několikrát zmíněno, kvalita po úpravě je mizivá.

Rozhodovat se mezi variantou 1 a variantou 2 není moc složité. Lepší je připlatit menší částku a získat špičkový čistící stroj, než šetřit drobné a stěžovat si. Nelze to brát doslova ale částečně pravdivá fráze to je.

Cílem práce bylo vytvořit konstrukční návrh, který by předčil čistící kabinu dodávanou firmou Objet. Tento cíl byl splněn. Nelze s určitostí říct, že kabina je účinnější, dokud není zhotovena a otestována. Velmi přesvědčivým argumentem k realizaci je ale finanční úspora až o 76,3%.

Tab. 6. Cenové shrnutí

Varianta	Cena bez DPH	Cena s DPH	Úspora
Čistící kabina od firmy Objet	98 546,5 Kč	118 255,8Kč	
Úprava pískovací kabiny	13 838,3 Kč	16 606 Kč	86%
Vlastní konstrukční návrh – varianta 1	16 742 Kč	20 090,4 Kč	83%
Vlastní konstrukční návrh – varianta 2	23 365 Kč	28 038 Kč	76,3%

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NAVRÁTIL, Robert. *Rapid prototyping* [online]. 2000- [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/>>.
- [2] *Technologie rapid prototypingu* [online]. 2002 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-rapid-prototypingu>>.
- [3] *Selective Laser Sintering* [online]. 2003 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <http://rapid-prototyping.harvest-tech.com/selective_laser_sintering.htm>.
- [4] *Rapid prototyping* [online]. 2006 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <http://www.kvs.tul.cz/download/obor/rp2_skripta1.pdf>.
- [5] *3D Rapid prototyping* [online]. 2009 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.wb-3d.com/products/rapid-prototyping>>.
- [6] *Aplikace technologií rapid prototyping* [online]. 2001 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-technologie-rapid-prototyping>>.
- [7] DRÁPELA, Miloslav. *Modul Rapid Prototyping* [online]. 2007 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.vu.vutbr.cz/digidesign/Moduly/Rapid%20Prototyping%20-%20Ing.%20Milosvav%20Dr%C3%A1pela.pdf>>.
- [8] *Technologie 3D tisku* [online]. 2006 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>>.
- [9] *Solid concepts* [online]. 1995-2008 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.solidconcepts.com/polyjet.html>>.
- [10] *Polyjet technology* [online]. 2004-2006 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.engineershandbook.com/RapidPrototyping/polyjet.htm>>.
- [11] *Polyjet* [online]. 2005-2010 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.xpress3d.com/Objet.aspx>>.
- [12] BAKI-HARI, Zoltan-Gabor, BACILA, Carmen Gabriela. *Objet PolyJet – NEW RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY*. [s.l.] : [s.n.], 2008. 4 s.

- [13] KAI, Chua Chee, FAI, Leong Kai, CHU-SING, Lim. *Rapid Prototyping: Principles and Applications. 2nd edition. Hardcover* : [s.n.], 2003. 448 s. ISBN 978-981-238-117-0.
- [14] ŽÁK, Bronislav . *Výroba prototypu z polymerních materiálů* . [s.l.], 2007. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Lukovics Imrich, doc. Ing. CSc. .
- [15] BREZOČNIK, J., BALIČ, M., VAUPOTIČ, B. *Use of PolyJet technology in manufacture of new product. Journal Amme*. 2006, is. 18, s. 4.
- [16] FERREIRA, J. C. *Core-boxes for foundry with rapid tooling technology. Journal of Materials Processing Technology*. 2004, no. 155-156, s. 1118-1123.
- [17] *Rapid prototyping: LOM* [online]. 2010 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/lom.cfm>.
- [18] DOČKAL, M. *3D modelování* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://istrategie.cz/scripts/detail.php?id=272645>>.
- [19] PÍŠA, Z. *Rychlá výroba prototypů* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <http://esf.fme.vutbr.cz/aktivity/akt-05/mod-07/rpt.pdf>.
- [20] HORÁČEK, M., ROUČKA, J., PÍŠA, Z. *7. výukový modul – Rapid Prototyping* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <esf.fme.vutbr.cz/aktivity/akt-05/mod-07/rp_prehled.pps>.
- [21] FS ČVUT. *Rapid Prototyping* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <http://mechanika.fs.cvut.cz/old/ustav/experiment/rapid.html>.
- [22] *Objet* [online]. 2010 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.objet.com>>.
- [23] *Fullcure Materials* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <http://www.objet.sk/content/products/fullcure_a4.pdf>.
- [24] *Fullcure* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.objet.sk/index.php/page/fullcure>>.
- [25] *Vero* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.objet.sk/index.php/page/vero>>.
- [26] *Tango* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.objet.sk/index.php/page/tango>>.

- [27] *Durus white* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.objet.com/Materials/DurusWhite/>>.
- [28] Tafoya, D. J. *Apparatus and method of removing water soluble support material from a rapid prototype part* US Patent 7546841, April 19, 2005.
- [29] *Objet WaterJet : Site Preparation Guide*. Objet. 2009, s. 1-24.
- [30] *Praktické využití metod rapid prototypingu* [online]. 2003 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prakticke-vyuziti-metod-rapid-prototypingu>>.
- [31] *Rapid prototyping helps separate conjoined twins* [online]. 2002 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/uyg-medikal-conjoined-twins.html>>.
- [32] VLACH, Bohumil. *Technologie obrábění a montáže*. Praha : SNTL, 1990. 464 s. ISBN 04-203-90.
- [33] *Elektroerozivní drátové rezání obrobku ve vodní lázni* [online]. 2004 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-dratove-rezani-obrobku-ve-vodni-lazni>>.
- [34] *Zásady konstrukce* [online]. 2003 [cit. 2010-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Konstrukcni%20zasady.pdf>>.
- [35] *Některé důležité zásady konstrukčního řešení ocelových konstrukcí* [online]. [cit. 2010-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.atryx.cz/prakticka-prirucka/konstrukcni-zasady/>>.
- [36] The seven basic rules of ergonomics. Bosch Rexroth AG. 1999, 1.0, s. 12-13.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EDM	Electrical discharge machining
WEDM	Wire electrical discharge machining
CAD	Computer aided design
RP	Rapid prototyping
RP&M	Rapid Prototyping & Manufacturing
FFF	Free-Form Fabrication
STL	StereoLithography
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective laser sintering
LOM	Laminated Object Modelling
SGC	Solid Ground Curing
FDM	Fused Deposition Modelling
3DP	Three Dimensional Print
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PA	Polyamid
POM	Polyoxymethylen
MIT	Massachusetts Institute of Technology
WAP	Wave Air Pumps
LED	Light-emitting diode
PC	Polycarbonát
PMMA	Polymethylmetakrylát
PA6.6	Polyamid 66 (nylon)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad výrobku zhotoveného metodou RP	14
Obr. 2 Proces RP ve srovnání s CNC obráběním	15
Obr. 3 Princip metody SLA	19
Obr. 4 Princip metody SLS	21
Obr. 5 Princip metody metal laser sintering	23
Obr. 6 Princip metody LOM	24
Obr. 7 Princip metody FDM	26
Obr. 8 Princip metody 3DP	27
Obr. 9 Princip metody PolyJet	28
Obr. 10 Výrobek z materiálu Fullcure 720 Transparent	29
Obr. 11 Výrobek z materiálu Vero	30
Obr. 12 Výrobek z materiálu Tango	30
Obr. 13 Výrobek z materiálu Durus	31
Obr. 14 Hotový model uložený v prášku	32
Obr. 15 Pračka modelů pro FDM	33
Obr. 16 Čistící kabina od firmy Objet	34
Obr. 17 Model lebky	35
Obr. 18 Výška postavy	38
Obr. 19 Poloha vůči srdci	38
Obr. 20 Zorné pole	39
Obr. 21 Model čistící kabiny od firmy Objet	42
Obr. 22 Pískovací kabina	43
Obr. 23 Pohled do pískovací kabiny	44
Obr. 24 Kärcher 4.00 Eco Silent	45
Obr. 25 Čistící kabina	46
Obr. 26 Dveře kabiny	47
Obr. 27 Podstava	48
Obr. 28 Upevnění obručí	49
Obr. 29 Čistící kabina	50
Obr. 30 Práce s čistící kabinou	51
Obr. 31 Hydraulický rozvod	52
Obr. 32 Řez hydraulickým systémem	53

Obr. 33 Rozptyl vodních paprsků	54
Obr. 34 Dveře.....	55
Obr. 35 Bezpečnostní nálepky - detail	55
Obr. 36 Šroubové spojení s PA6.6 pouzdrem.....	56
Obr. 37 Umístění těsnícího lemu	57
Obr. 38 Řez pracovní vanou	58
Obr. 39 Detail odpadového koše a vyjímatelného víka.....	58
Obr. 40 Osvětlení pracovního prostoru	59
Obr. 41 Podstava	60
Obr. 42 Detail obruče	61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Cena kupované čistící kabiny.....	43
Tab. 2. Cena úpravy pískovacího boxu	45
Tab. 3. Cena výroby čistící kabiny.....	49
Tab. 4. Cena výroby čistící kabiny.....	61
Tab. 5. Hodnocení pěti základních aspektů	64
Tab. 6. Cenové shrnutí.....	65

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: Materiálový list pro vytvrzený Fullcure 705

PŘÍLOHA P II: Technické parametry Kärcher K 4 Eco Silent

PŘÍLOHA P III: Seznam položek pro 4. variantu

PŘÍLOHA P IV: CD disk obsahující:

- Diplomovou práci
- Model čistící kabiny
- Výkresovou dokumentaci

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST PRO VYTVRZENÝ FULLCURE 705

SAFETY DATA SHEET Version-2

POLIMERIZED FULLCURE 705

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

1.1 Identification of the substance or preparation:

Synonyms: none
CAS No. : N.A.
EC index No. : N.A. NFPA code : N.D.
EINECS No. : N.A. Molecular weight : N.A.
RTECS No. : N.A. Formula : N.A.

1.2 Use of the substance or the preparation:

Polymer: industrial use

1.3 Company/undertaking identification:

Objet Geometries Ltd. - Europe
Leuvensesteenweg 388
1932 Sint-Stevens-Woluwe
Belgium
Tel: +32-2-717-6502
Fax: +32-2-717-6500
info@2objet.com , www.2objet.com

1.4 Telephone number for emergency:

See 1.3

2. Composition/information on ingredients

Hazardous ingredients	CAS No.	Conc. in %	Hazard symbol	Risks (R-phrases)
	EINECS/ELINCS No.			
propane-1,2-diol	57-55-6	20-40	-	-
	200-338-0			
polyethylene glycol 400	25322-68-3	20-40	-	-
	203-473-3			
glycerol	56-81-5	5-20	-	-
	200-289-5			

(1) For R-phrases in full: see heading 16

3. Hazards identification

- No hazard classification in accordance with directives 67/548/EEC and 1999/45/EC

4. First aid measures

4.1 Eye contact:

- Consult a doctor/medical service if irritation persists
- Rinse immediately with plenty of water
- Do not apply neutralizing agents

4.2 Skin contact:

- Consult a doctor/medical service if irritation persists
- Rinse with water

4.3 After inhalation:

- Consult a doctor/medical service if breathing problems develop
- Remove the victim into fresh air
- Unconscious: maintain adequate airway and respiration

Printing date : 12-2006
Compiled by : Objet Geometries Ltd
MSDS established : 13-04-2004
Reference number :
Reason for revision :
Revision date :
Revision number : 000

1/8

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ KÄRCHER K 4.00 ECO SILENT

K4 vysokotlaké čističe

K 4.00 Eco Silent



K4 – třída Komfort

Vybavení:

- Vysokotlaká pistole
- VT hadice 6 m
- Vario-Power-pracovní nástavec
- Rotační tryska
- Integrovaný vodní filtr
- Nádržka na čisticí prostředky
- Soft bag
- Vozík

Objednací číslo: 1.636-830.0



Technické údaje

Tlak (bar/MPa)	20-Max. 130/2-Max. 13
Průtok (l/h)	Max. 440
Max. teplota přívodní vody (°C)	až do 40
Příkon (kW)	1,9
Hmotnost bez příslušenství (kg)	11,4
Rozměry (D x Š x V) (mm)	334x333x837
Nádržka na čisticí prostředky (l)	1

PŘÍLOHA P III: SEZNAM POLOŽEK PRO 4. VARIANTU

Poz.	název	materiál	Norma objednávací číslo	Ks	Hm.[kg]	dodavatel
01	Přední noha - svařenec	17 040		2	0,034	
02	Zadní noha - svařenec	17 040		2	0,041	
03	Horní lem - svařenec	17 040		1	0,504	
04	Rošt - svařenec	17 040		2	0,269	
05	Kryt světla	17 040	P0,8 - 580x150	1	0,015	
06	Okno	PC	555x120x8	1	0,55	
07	Dveře	PC	555x310x8	1	1,594	
08	Kryt dveří	17 040	P0,4 - 445	1	0,015	
09	Vana	17 040	P0,8 - 610x500	1	0,224	
10	Zadní stěna	17 040	P2 - 590x390	1	0,441	
11	Obal	17 040	P1 - 1360x390	1	0,419	
12	Matice výpusti	17 040	ø85x15	1	0,007	
13	Obruč	Murtfedl	ø180x20	2	0,167	
14	Rozvodný blok	17 040	105x125x45	1	0,46	
15	Šroubová zátka	17 040	ISO 7380	2	0,002	
16	Šroubení L	17 040	35x35x90	1	0,033	
17	Držák manometru	17 040	P1 - 22x35	1	0,001	
18	Podložka regulátoru	17 040	ø45x15	1	0,021	
19	Držák pistole	17 040	P0,5 - 10x45	1	0,001	
20	Podložka pantu	17 040	P0,4 - 55x20	2	0,001	
21	Háček pravý	17 040	P1,6 - 20x35	1	0,001	
22	Háček levý	17 040	P1,6 - 20x35	1	0,001	
23	Rošt - střed	17 040	P1 - 110x100-L	1	0,002	
24	Rošt	17 040	P1 - 545x200-L	2	0,267	
25	Podložka	17 040	P0,5 - 10x30	4	0,001	
26	Zadní noha - stojka	17 040	P2 - 160x160	2	0,034	
27	Zadní noha - podstava	17 040	P2 - 75x57	2	0,009	
28	Přední noha - stojka	17 040	P2 - 135x160	2	0,03	
29	Přední noha - podstava	17 040	P2 - 60x60	2	0,006	
30	Horní lem - podstava	17 040	P0,8 - 555x430	1	0,033	
31	Horní lem	17 040	P0,8 - 1840x110	1	0,032	
32	Šroub M4	17 040	ČSN 02 1143	2	0,001	A
33	Těsnící lem	EPDM	209-0201.1A	1	0,005	D
34	Šroub TC-PH	17 040	TC3x7PH	4	0,001	S
35	Jednoduchá ext. západka	17 040	SR 5096	2	0,006	M
36	Plynová vzpěra	17 040	G03 10 0080 1 170 AU11 WX18 30N /5/	2	0,011	U
37	Kolebka pro vzoěru	17 040	1827001447	2	0,003	B
38	Šroub TC-PH	17 040	TC4x8PH	17	0,001	S

Poz.	název	materiál	Norma objednávací číslo	Ks	Hm.[kg]	dodavatel
39	Podložka s gumou M4	EPDM 17 040	AN 9055/A2	46	0,001	A
40	Šroub M4	17 040	AN 5952/A2	33	0,001	A
41	Šroub M4	17 040	AN 5952/A2	4	0,001	A
42	Uzavřená matice M4	17 040	DIN 9866/A2	43	0,001	A
43	Matice M10	17 040	DIN 439B/A2	2	0,002	A
44	Pant	17 040	E6 Hinge	2	0,017	SO
45	Šroub TC-PH	17 040	TC5x10PH	10	0,001	S
46	Koleno	PVC	koleno 2" PVC 90°	1	0,127	AP
47	Redukce	PVC	redukce závit 2" x 1 1/2"	1	0,025	AP
48	Přípojka	PVC	trn hadic s maticí G1 1/2" x E40	1	0,012	AP
49	Koš	17 040	sací koš	1	0,009	C
50	Těsnící kroužek	EPDM	ČSN 02 9307	1	0,001	R
51	Světelná trubice		LED-trubice T5-50/24 bílá	1	0,203	P
52	Šroub M4	17 040	ČSN 02 1301	3	0,001	A
53	Křídlatá matice M4	17 040	DIN 315/A2	3	0,001	A
54	Šroub M4	17 040	ČSN 02 1143	4	0,001	A
55	Rukavice		PP-TP 0016	1	0,08	PP
56	Šroub M5	17 040	ČSN 02 1143	12	0,003	A
57	Podložka s gumou M5	EPDM 17 040	AN 9055/A2	22	0,002	A
58	Uzavřená matice M5	17 040	DIN 9866/A2	22	0,002	A
59	Krytka pro šroub M5	PP	ZDO-09	12	0,001	BR
60	Rukojeť	PA66- GF30	4622235	1	0,023	M
61	Šroub M5	17 040	AN 5952/A2	8	0,003	A
62	Pistole		41455	1	0,3	U
63	Šroubení tvar L	17 040	XELOM	1	0,028	H
64	Šroubení k zašroubování	17 040	AOVN NW 13 L VA	1	0,008	H
65	Šrktici ventil		DRV 1700-1/2	1	0,1	H
66	Kroužek s těsnící hranou	17 040	DKM 22	1	0,002	H
67	Spojovací vsuvka	17 040	HD260211	2	0,009	K
68	Měřicí přípojka	17 040	HFM KL 15-12	1	0,004	H
69	Regulátor tlaku		BB-1	1	0,053	T
70	Připojovací nátrubek	17 040	Z81_9_10_X_1_0	1	0,008	HA
71	O-kroužek	NBR 70	OR 40-1	1	0,001	H
72	Uzavírací díl	17 040	VS22	1	0,002	H
73	Spirálová hadice			1	0,01	T
74	Hydraulická hadice		1066130	2	0,23	G
75	Kryt trysky		102065	3	0,008	KA

Poz.	název	materiál	Norma objednávací číslo	Ks	Hm.[kg]	dodavatel
76	Tryska s tenkým paprskem	17 040	548	1	0,012	HE
77	Power tryska 36	17 040	103151	2	0,012	KA
78	Spojovací vsuvka	17 040	XGAM NW 13 HL 22	2	0,009	H
79	Měřicí hadicové vedení		HFM SKE 200-12	1	0,013	H
80	Manometr		GMM 50-10	1	0,05	H
81	Hadicova koncovka 0°	17 040	PN 08 HL 13	2	0,008	H
82	Hadicova koncovka 90°	17 040		2	0,008	H
83	Úchytka hadice		013/013-PCLIP12- W1	2	0,001	ME
84	Šroub M8	17 040	ČSN 02 1143	4	0,005	A
85	Podložka s gumou M8	EPDM 17 040	AN 9055/A2	4	0,002	A
86	Šroub M5	17 040	ČSN 02 1143	2	0,004	A

Význam Zkratek dodavatelů:

A	Akros	T	Tescom
D	Dirak	G	Gumex
S	Simaf	KA	Kärcher
M	Moss plastic parts	HE	Hennlich
U	Ulbrich	ME	Meters
B	Bosch		
SO	Southco		
AP	A-pool		
C	Cerpadla-zahrady		
R	Rubena		
P	Power-led-osvetleni		
PP	Powerplus		
BR	Branyposuvne		
H	Hansa-flex		
HA	Hasco		