



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYROBENÍ VZORKU SOUČÁSTI ADITIVNÍ TECHNOLOGIÍ

MANUFACTURING OF COMPONENTS USING RAPID PROTOTYPING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jan PEŇÁZ, DiS.

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Peňáz, DiS.

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Vyrobení vzorku součásti aditivní technologií

v anglickém jazyce:

Manufacturing of Components Using Rapid Prototyping

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Charakteristika technologie Rapid prototyping.
2. Konstrukce součásti v 3D softwarovém produktu (design, funkčnost, materiál, montáž).
3. Vygenerování dat pro Rapid prototyping.
4. Tisk modelu.
5. Posouzení prototypu.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Využití aditivní metody pro přípravu a výrobu prototypu. Znalost práce s 3D softwarovými produkty. Organizační zajištění pracoviště a jednotlivých etap řešení.

Seznam odborné literatury:

1. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 272 s. ISBN 80-214-3068-0.
2. GIBSON, Ian, David W. ROSEN and Brent STUCKER. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2010. P. 459. ISBN 14-419-1120-0.
3. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. Základy konstruování. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. ISBN 80-7204-405-2.
4. FREIBAUER, M., H. VLÁČILOVÁ a M. VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.
5. JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-80-214-3946-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 4.12.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá řešením výroby prototypu třemi technologiemi. Dvě aditivní technologie využívají principu Laminated object manufacturing a Fused deposition modelling. Třetí technologií bylo frézování. Jako podklad výroby byl model vratného kola. Ke tvorbě modelu byl použit CAD systém SolidWorks, kde výstupními formáty byly SLDPRT a STL. Pro kontrolu chyb STL dat byl použit software MiniMagics. Pro přípravu 3D tiskových dat byly použity softwary SD View a Catalyst EX. Sestavení strategie obrábění probíhalo prostřednictvím CAM systému SolidCAM. Zařízení použitá pro výrobu prototypů byla 3D tiskárna Solido SD 300 Pro, 3D tiskárna Stratasys uPrint a 5osá frézka Hermle C20U. Nejvýhodnější použitou technologií pro výrobu jednoho prototypu byl tisk na 3D tiskárně Stratasys uPrint.

Klíčová slova

aditivní technologie, rapid prototyping, 3D tiskárna, SolidWorks, SolidCAM, MiniMagics

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with solution of manufacturing prototype using three technologies. Two of them are additive technologies using principles of Laminated object manufacturing and Fused deposition modelling. The third technology was milling. Model of reversible turbine was used as a base for manufacturing. CAD system SolidWorks was used for the model creation, where output formats were SLDPRT and STL. For error check of STL data software MiniMagics was used. For preparation of 3D printing data softwares SD View and Catalyst EX were used. CAM system SolidCAM was used for creation of machining strategy. Devices used for manufacturing of prototypes were 3D printer Solido SD 300 Pro, 3D printer Stratasys uPrint and 5axis mill Hermle C20U. Print on 3D printer Stratasys uPrint the most advantageous technology for manufacturing one prototype.

Key words

additive technology, rapid prototyping, 3D printer, SolidWorks, SolidCAM, Minimagics

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEŇÁZ, J. *Vyrobění vzorku součásti aditivní technologií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 39 s. 4 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vyrobění vzorku součásti aditivní technologií** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jan Peňáz, DiS.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za rady, informace a investovaný čas pro tisk na VUT v Brně. Také děkuji Zbyňkovi Jeřábkovi vedoucímu školicího střediska společnosti SolidVision s.r.o. za rady, informace, podklady k tisku, obrábění a věnovaný čas.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY	10
1.1 Historie rapid prototyping v ČR	10
1.2 Rapid prototyping RP	11
1.3 Rapid manufacturing RM	11
2 VÝROBNÍ PROCES VRSTVENÍM	12
2.1 Polymerizace	12
Laser stereolithography SL	12
Tištění polymeru – tryskání	13
Digital light processing DLP	13
2.2 Slinování a tavení	13
Selective laser sintering SLS	13
Selective laser melting SLM.....	13
Electron beam melting EBM.....	14
2.3 Extrudování – Fused layer modelling FLM.....	14
Fused deposition modelling FDM.....	14
2.4 Three dimensional printing 3DP	14
2.5 Layer laminate manufacturing LLM	15
Laminated object manufacturing LOM	15
Paper lamination	15
3 VRATNÉ KOLO	16
3.1 CAD systém SolidWorks	16
3.2 Tvorba modelu	17
4 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	20
4.1 SD 300 Pro	20
4.2 uPrint.....	21
4.3 Hermle C20U	22
5 VÝROBA PROTOTYPŮ.....	24
5.1 MiniMagics	24
5.2 SD View 3.00	25

5.3	Catalyst EX.....	27
5.4	SolidCAM.....	29
6	HODNOCENÍ PROTOTYPSŮ	31
6.1	Ekonomické hodnocení	31
6.1.1	Solido SD 300 Pro.....	31
6.1.2	Stratasys uPrint.....	31
6.1.3	Hermle C20U, SolidCAM.....	32
6.2	Diskuze, technické hodnocení	33
	ZÁVĚR.....	35
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	36
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	37
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	38
	SEZNAM PŘÍLOH	39

ÚVOD

Výroba prototypů je klíčová část ve vývoji součástí. Pomáhá k řešení designových a funkčních vlastností budoucí součástí. Prostřednictvím prototypu mohou být odhaleny drobné i vážné nedostatky, které neúmyslně vznikly při vývoji. Prototypová fáze vývoje může vést k výrobě jediného prototypu nebo více prototypů, za použití výrobní technologie stejné nebo různé od technologie plánované v hlavní výrobě.

S příchodem aditivních technologií se otevřely další možnosti výroby součástí, ať už za účelem výroby prototypů nebo funkčních součástí. Tato technologie zaznamenala v posledních letech výrazný vývoj. Tento vývoj přinesl také cenovou dostupnost aditivních technologií. Podobný strmý vývoj bylo možné registrovat v oblasti číslicově řízených strojů, kde z počátku tyto stroje byly velmi nákladné a jejich aplikace byla pouze v hromadné výrobě. Dnes jsou díky jejich vývoji používány i v kusové výrobě. Tento vývoj byl přínosem i v oblasti aditivních technologií, které využívají kombinaci počítač-stroj, počítač-tiskárna. Hlavním pozitivem zařazení aditivních technologií ke stávajícím technologiím tváření a obrábění byla úspora času přípravy výroby, samotného času výroby a nákladů na výrobu prototypů.

Vratné kolo, které je předmětem pro tisk a obrábění, je součástí sestavy generátoru GX30 (viz obr. 1) prodáváného a vyvíjeného firmou SolidVision s.r.o. GX30 je generátor kompaktních rozměrů s nízkou hmotností (6750 g), určený pro dobíjení akumulátorů. Obsahuje asistent pro dobíjení olovených akumulátorů s ukazatelem průběhu nabíjení a stavem nabití. Jmenovité napětí generátoru je 12V a maximální dobíjecí proud je 35 A. Celé ústrojí je díky jednoduché a robustní konstrukci odolné vůči hrubému zacházení. Pohon zajišťuje čtyřtákní jednoválcový motor značky Honda. Výhodou pohonné jednotky je chod ve všech polohách natočení. Varianty generátoru se odvíjí dle použití L – vysoká životnost, S – Zvýšená odolnost vlhkému (mořskému) prostředí, M – snížená hmotnost a přizpůsobení vysoké nadmořské výšce [8].



Obr. 1 Generátor GX30L [8].

1 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

Výraz aditivní technologie pochází z anglického slova add (přidat). Obvykle se označuje zkratkou AM (Additive Manufacturing). Původní název 3D tisk je stále často užíván. Aditivní technologie se dále dělí na RP (Rapid Prototyping) a RM (Rapid Manufacturing) [1].

AM je automatický výrobní proces založený na principu přidávání vrstev za účelem dosažení požadovaného třírozměrného fyzického objektu na základě elektronických dat. Modely, které slouží jako podklad pro AM, lze získat prostřednictvím CAD (Computer Aided Design – počítačem podporované navrhování) nebo formou RE (Reverse Engineering – reverzní inženýrství). AM doplnilo mezeru základních strojírenských technologií obrábění a tváření. [1, 2].

Nezávisle na způsobu získání 3D dat ve formátu *.STL, jsou data rozdělena na jednotlivé vrstvy o konkrétní tloušťce, která odpovídá použité technologii tisku. Data jednotlivých vrstev jsou získána prostřednictvím softwaru dodávaného k příslušnému stroji. Výstupní data z těchto softwarů obsahují data obrysu součásti v daném řezu (rovina XY) a tloušťku vrstvy (osa Z) [1].

1.1 Historie rapid prototyping v ČR

Pojem rapid prototyping zažil značný rozmach v uplynulých 18 letech. První přestavení této technologie proběhlo v roce 1996 na výstavě Invex v Brně. První představená tiskárna na výstavě byla tiskárna s označením FDM 1650 od výrobce Stratasys. Právě při návštěvě výstavy si čeští zákazníci začali uvědomovat přínos a potenciál technologie 3D tisku, a to vyvolalo značný ohlas [4].

Zrod myšlenky zpřístupnění 3D tisku menším firmám a domácnostem odstartoval vícecestný vývoj. Jedna linie šla vývojem velkých tiskáren a druhá se zabývala vývojem menších, méně komplikovaných a především dostupnějších tiskáren. Po šesti letech vývoje byla představena tiskárna, jejíž pořizovací cena byla u hranice 30000 \$, což tehdy po přepočtu bylo těsně nad hranicí 1000000 Kč. V roce 2009 pak byla představena tiskárna s cenovou hranicí 12000 \$, po přepočtu k tehdejšímu kurzu byla cena okolo 235000 Kč [4].

V dnešní době je dostupnost 3D tiskáren výrazně lepší. Jedny z nejlevnějších zařízení začínají s cenovkami v rozmezí 50000 Kč až 100000 Kč. Tiskárny na našem trhu se liší v technologii tisku, velikosti pracovního prostoru, jemnosti vrstev, typem podpor a používaným materiálem.

1.2 Rapid prototyping RP

Výraz rapid prototyping bývá dnes veřejností často užíván spolu s názvem 3D tisk pro identifikaci odvětví aditivních technologií výroby. RP je však jedna ze dvou aplikací AM.

RP se zabývá pouze výrobou prototypů, která se dělí na dvě skupiny [1]:

- „zhmotnění“ návrhu konceptu modelu – definuje součástky, které slouží účelům ověření vzhledu, prezentace tvaru a rozměru,
- funkční prototypy – výstupem jsou komponenty soustav nebo samostatné díly, na kterých je ověřována jedna nebo více specifických funkčních vlastností. Na základě informací z testování prototypu se dělají úpravy pro následující výrobu součástí. Vytisknutá součást nemůže být použita jako výsledný produkt.

Aplikace RP [2]:

- specifikování konceptu,
- testování funkce,
- hmotný model pro změny ve vývoji,
- prezentace zákazníkům,
- studie vzhledu a ergonomie tvaru.

1.3 Rapid manufacturing RM

U obou rapidních technologií je princip stavění vrstev, získávání dat i spektrum používaných technologií stejné. Výsledkem RM jsou na rozdíl od RP součástky, které slouží jako výsledný produkt. Mohou být obarveny nebo do nich může být vyřezán závit, ale nijak výrazně se dále nezpracovávají a neslouží pouze pro účely testování [1].

Postup RM a RP [2]:

- získání CAD modelu,
- exportování dat do formátu *.STL,
- generování dat jednotlivých vrstev pomocí příslušného softwaru,
- tištění součástí,
- čištění a finální úpravy součástí.

2 VÝROBNÍ PROCES VRSTVENÍM

Principem je připojování jednotlivých vrstev, vzniklých na základě elektronických dat, na sebe za účelem dosažení požadovaného tvaru součásti [1].

Základní postup stavby modelu [1]:

- tvorba jedné vrstvy závislé na datech řezu,
- připojení každé další nové vrstvy k předchozí, až po vytvoření finálního tvaru součásti.

Modely vyrobené aditivní technologií mohou být z plastu, papíru, kovu nebo keramiky ve formě prášků, pevné hmoty nebo fólií. Ke zpracování uvedených materiálů jsou dostupné různé technologie.

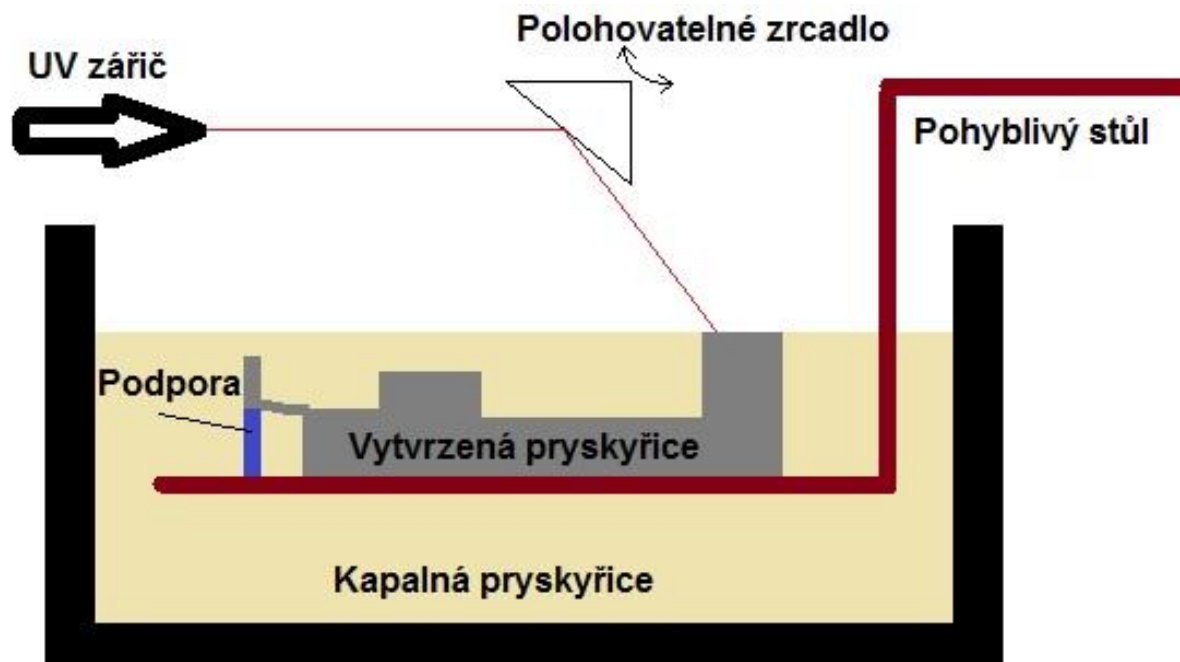
Technologie uvedené v následujících podkapitolách jsou patentovány. Každý výrobce používá vlastní technologii. Toto má pozitivní dopad na vývoj v oblasti aditivních technologií.

2.1 Polymerizace

Principem polymerizace je cílené vytvrzování zkapalněného materiálu pomocí UV záření (ultraviolet – ultrafialového) [1].

Laser stereolithography SL

SL (viz obr. 2.1) je nejstarší technologií aditivní výroby. Součástky jsou vytvářeny po vrstvách lokálním vytvrzováním pryskyřice v kapalně fázi prostřednictvím UV paprsku [1, 2].



Obr. 2.1 Stereolithography [3].

Tištění polymeru – tryskání

Materiál je nanášen více-tryskovou tiskovou hlavou. Vytvrzení probíhá prostřednictvím dvou UV lamp. Síla vrstvy je pouze 0,016 mm. Touto technologií je možné dosáhnout docela hladkých povrchů. Vrstvy se skládají z tištěného modelu a podpor. Podpory jsou po vyjmutí součástky ze stroje odstraněny, aniž by ji znehodnotily [1].

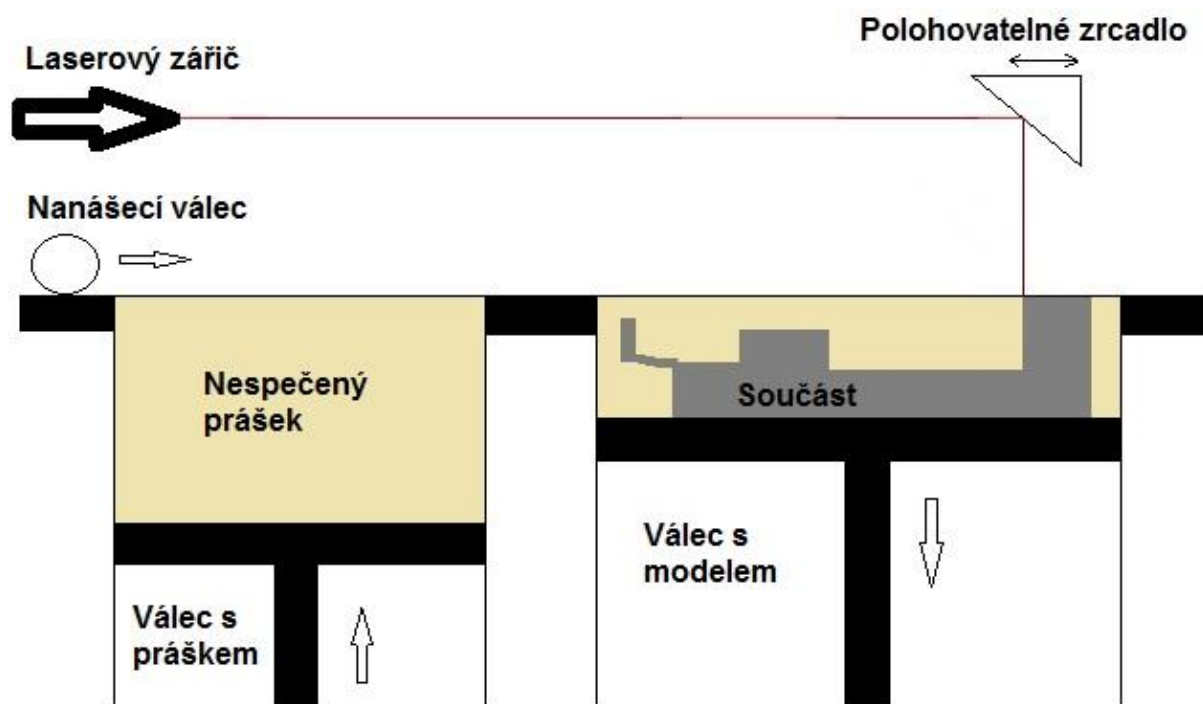
Digital light processing DLP

Zdroj UV paprsků září napříč celou konturou dané vrstvy a vytvrzování probíhá po celé vrstvě současně [1].

2.2 Slinování a tavení

Selective laser sintering SLS

SLS využívá principu slinování prášku za účelem získání součásti. Laserový paprsek slinuje obrys každé vrstvy (viz obr. 2.2). V místě styku paprsku s práškem jsou zrnka lokálně roztavena a poté začínají tuhnout [1, 2].



Obr. 2.2 Selective laser sintering [3].

Selective laser melting SLM

SLM pracuje na podobném principu jako SLS, s tím rozdílem, že materiál není taven lokálně, ale na celém obrysu současně. Slouží ke zpracování kovů jako uhlíková ocel, nerezová ocel, slitiny titanu, slitiny hliníku nebo zlato. Používají se stroje s utěsněnou komorou s vakuem nebo ochrannou atmosférou [1].

Electron beam melting EBM

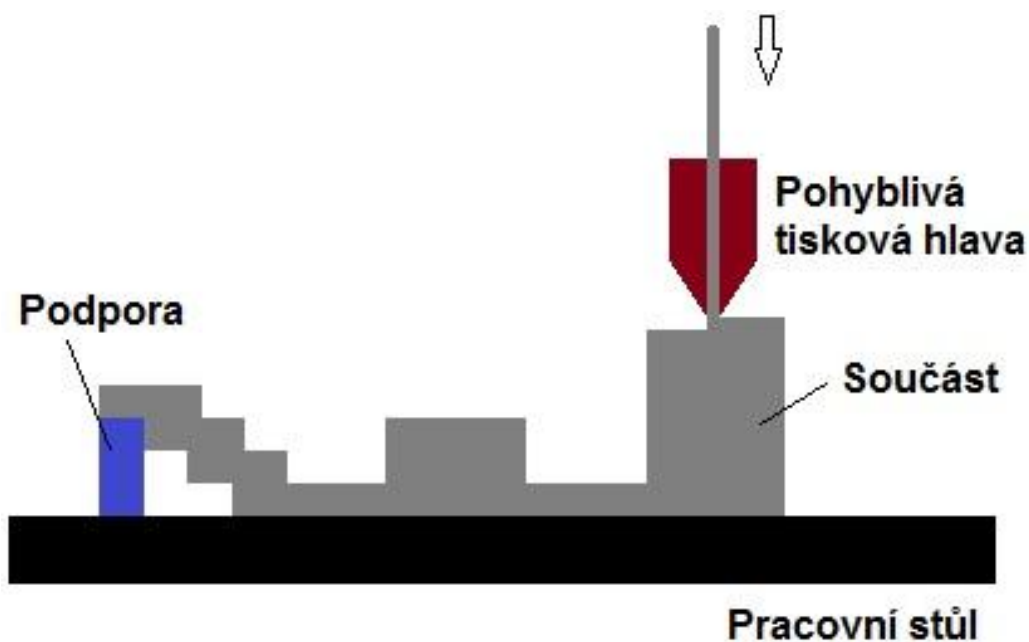
EBM využívá pro spojení paprsek elektronů. Proces je velmi rychlý a potřebuje utěsněnou komoru s vakuem, aby se elektrony neodrážely od částic v atmosféře [1].

2.3 Extrudování – Fused layer modelling FLM

Principem FLM je tvorba vrstev roztaveným plastovým vláknem.

Fused deposition modelling FDM

Tisková hlava (viz obr. 2.3) se pohybuje v osách XY, aby zajistila tvar jedné vrstvy, a následně se posune o tloušťku vrstvy v ose Z a nanáší další vrstvu. Materiál je částečně nataven elektrickým vyhříváním a vytlačen skrz trysku, jejíž průměr definuje průměr vlákna a současně tloušťku jedné vrstvy, které se pohybují v rozsahu od 0,1 mm do 0,25 mm. Materiály jsou ABS plast (Akrylonitril Butadien Styren) nebo vosk [1, 2].



Obr. 2.3 Fused deposition modelling [3].

2.4 Three dimensional printing 3DP

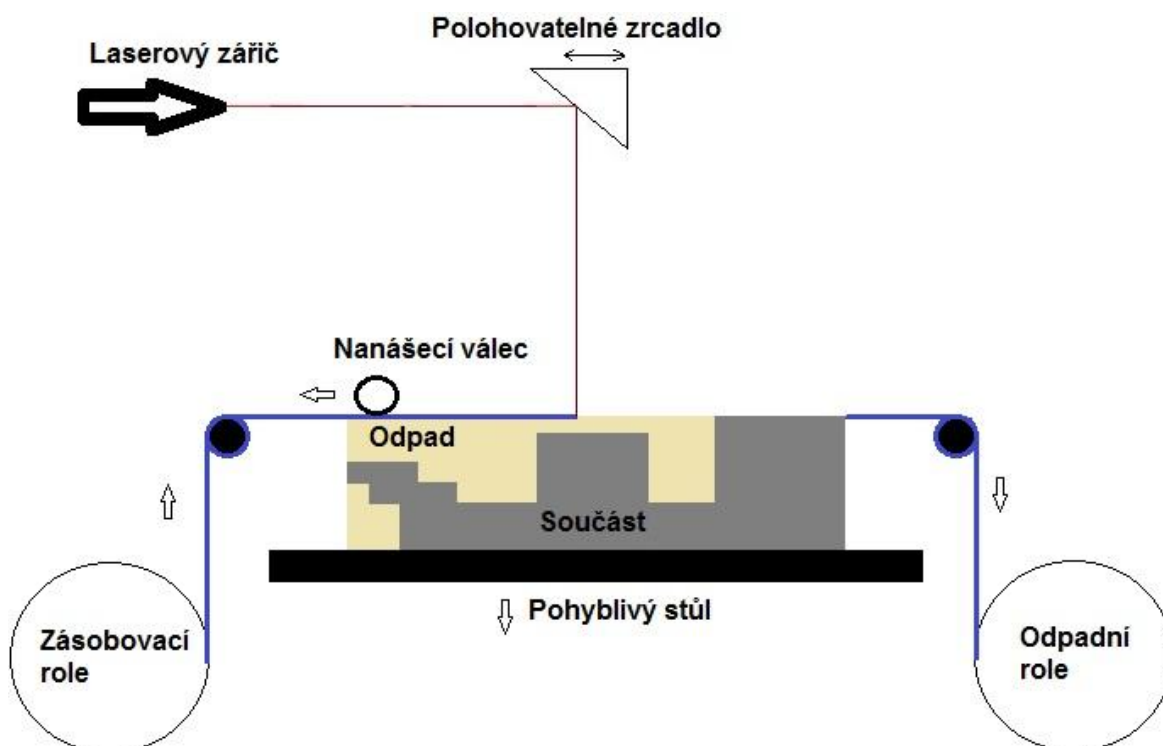
Třírozměrný tisk pracuje na principu vstřikování lepidla na vrstvu prášku. Podpora modelu je tvořena voskem [1, 2].

2.5 Layer laminate manufacturing LLM

Principem LLM je vyřezání obrysu do polotovaru fólií pomocí dat příslušné vrstvy. Materiál fólií může být papír, plast nebo keramika. K vyřezávání se používá laserový paprsek, nůž nebo fréza. Vrstvy na sebe bývají lepeny lepidly [1].

Laminated object manufacturing LOM

Po natažení vrstvy materiálů z role je nanесeno lepidlo a následně je vyřezán tvar dané vrstvy. Přebytečný materiál (viz obr. 2.4) zůstávající z každé vrstvy slouží jako podpora [1, 2].



Obr. 2.4 Laminated object manufacturing [3].

Paper lamination

Tvar obrysu vrstvy je vyřezán nožem namísto laserem a je slepen pomocí PVA lepidla (Polyvinylacetat) [1].

3 VRATNÉ KOLO

Pro tvorbu modelu byl použit SolidWorks. Tvorba modelu probíhala ve společnosti SolidVision s.r.o. pro účely použití součástí v generátorech vyvíjených touto společností. Výkres ani výpočtové podklady nebyly poskytnuty společností SolidVision s.r.o. Pro účely bakalářské práce byl dán k dispozici pouze model.

3.1 CAD systém SolidWorks

SolidWorks je jeden z mnoha produktů na trhu, sloužících primárně k tvorbě modelů. Základními možnostmi tohoto softwaru jsou:

- tvorba výkresové dokumentace,
- skládání sestav z jednotlivých dílů,
- simulace napětí a deformací,
- kontrola kolizí v pohybových mechanismech.

SolidWorks má možnost plošného, objemového modelování, práci s plechovými díly a svařovanými konstrukcemi. Součástí jednoho modelu může být více objemových nebo plošných těl. V SolidWorksu lze efektivně využít vazeb ať už při modelování nebo při sestavování, což umožňuje jednodušší zpětnou editaci dílu.

Základní prvky Objemového modelování jsou přidání vysunutím, odebrání vysunutím, přidání rotací, odebrání rotací, přidání tažením po křivce, odebrání tažením po křivce, přidání spojením profilů, odebrání spojením profilů, zrcadlení, lineární a kruhové pole, zaoblení a zkosení. Pomocí těchto základních prvků lze dosáhnout téměř jakéhokoliv tvaru.

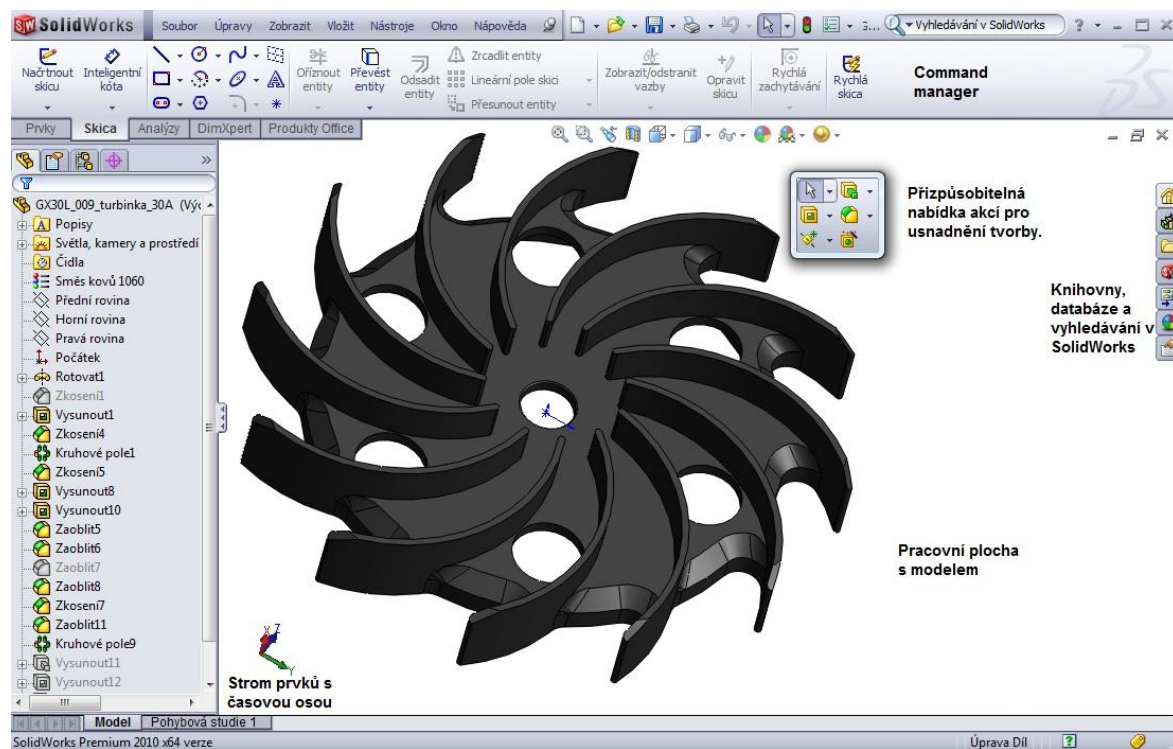
Základními prvky plošného modeláře jsou pak vysunutí, rotování, tažení po křivce, spojení profilů, zaoblení, odsazení, záplata, prodloužení, oříznutí, doplnění a sešití. Pro vytvoření libovolného tvaru je možné použít kombinace plošného i objemového modelování.

Tvorba každého modelu začíná konstruováním skic v jedné ze tří základních rovin (přední, zadní a horní). Další skici je možné konstruovat na již vytvořených plochách nebo na referenčních rovinách. Každá skica může být použita pro konkrétní prvek objemového nebo plošného modeláře. Skica může být také sdílena pro více prvků. Tvorba, úprava dílů je možná také v sestavě v závislosti na vazbách vůči ostatním dílům sestavy. Modely vytvořené v SolidWorks je možné uložit v mnoha formátech (viz obr. 3.1), stejně tak je možné tyto formáty otevřít.

Díl (*.prt;*.sldprt)	Adobe Portable Document Format (*.pdf)
Lib Feat Part (*.sldlfp)	Universal 3D (*.u3d)
Part Templates (*.prttdot)	3D XML (*.3dxml)
Form Tool (*.sldftp)	Adobe Photoshop Files (*.psd)
Parasolid (*.x_t)	Adobe Illustrator Files (*.ai)
Parasolid Binary (*.x_b)	Microsoft XAML (*.xaml)
IGES (*.igs)	Catia Graphics (*.cgr)
STEP AP203 (*.step;*.stp)	ProE Part (*.prt)
STEP AP214 (*.step;*.stp)	JPEG (*.jpg)
ACIS (*.sat)	HCG (*.hcg)
VDAFS (*.vda)	HOOPS HSF (*.hsf)
VRML (*.wrl)	Dxf (*.dxf)
STL (*.stl)	Dwg (*.dwg)
eDrawings (*.eprt)	Tif (*.tif)

Obr. 3.1 Podporované formáty SolidWorks.

Grafické rozhraní pro práci konstruktéra se dá libovolně upravit a přizpůsobit. Defaultní rozhraní SolidWorks (viz obr. 3.2) je dostačující pro nárazovou tvorbu nebo studijní účely. Jednotlivé prvky, možnosti a úpravy mají téměř totožná dialogová okna, která vedou konstruktéra k přesnému definování prvků.



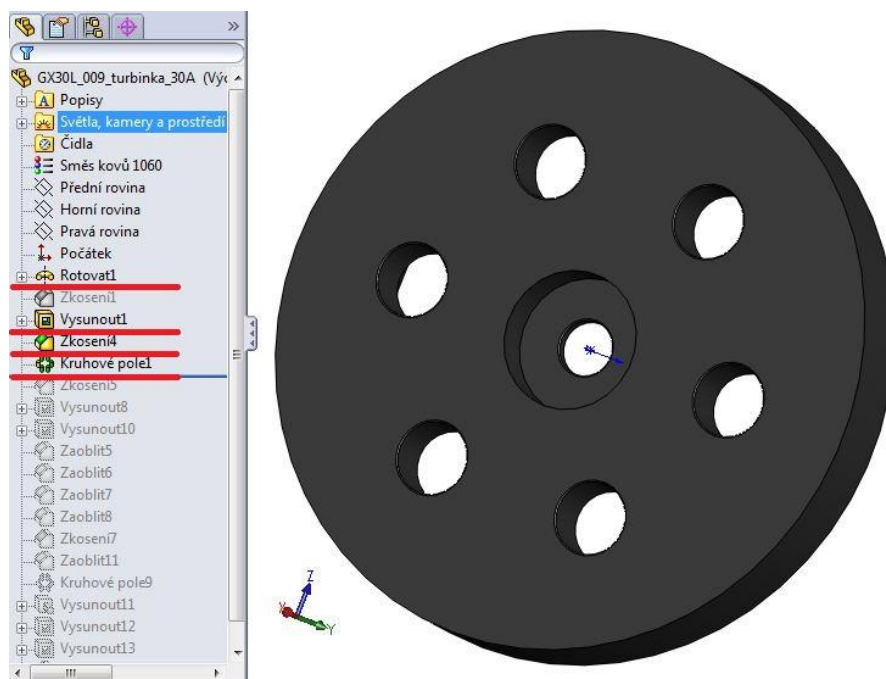
Obr. 3.2 Pracovní prostředí SolidWorks.

3.2 Tvorba modelu

Vzhled a konstrukce součástky byla navržena společností SolidVision s.r.o. Součást slouží jako komponent na konci rotoru generátoru a zajišťuje chlazení elektronických komponentů.

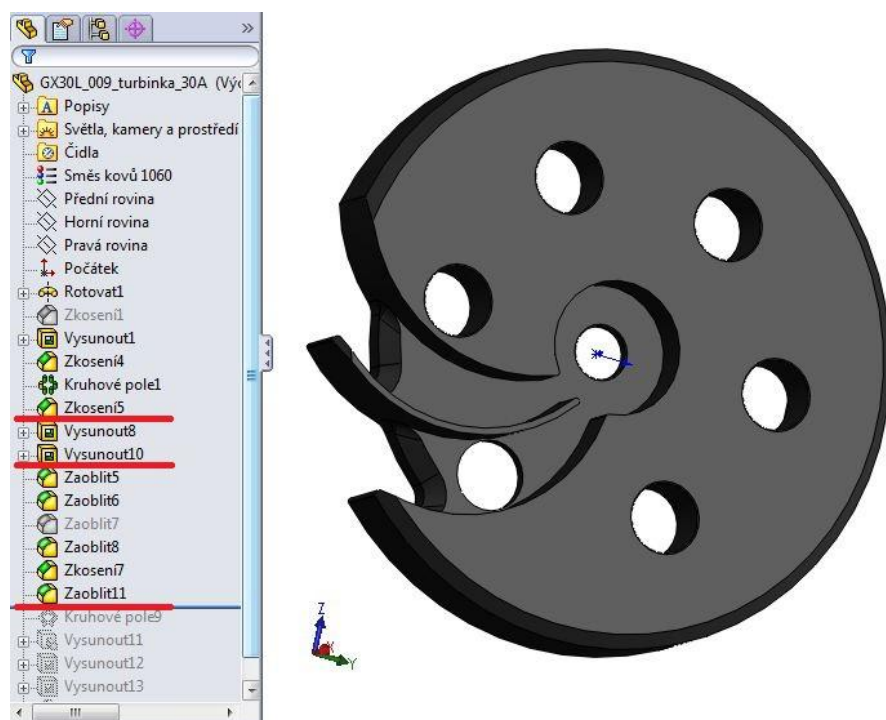
Pomocí SolidWorks lze tento model vytvořit více způsoby. Každý konstruktér dosahuje požadovaných tvarů modelu postupem, na který je zvyklý. Na základě toho se může strom prvků lišit dle tvorby konstruktéra.

V prvním kroku (viz obr. 3.3) byl pomocí prvku přidání rotací vytvořen základní disk, ze kterého bylo následně odebráno pro dosažení požadovaného tvaru. Současně byl odebrán otvor pomocí prvku odebrat vysunutím. Hrana odebraného otvoru byla sražena a pomocí prvku kruhové pole byl otvor kopírován šestkrát kolem osy rotace modelu.



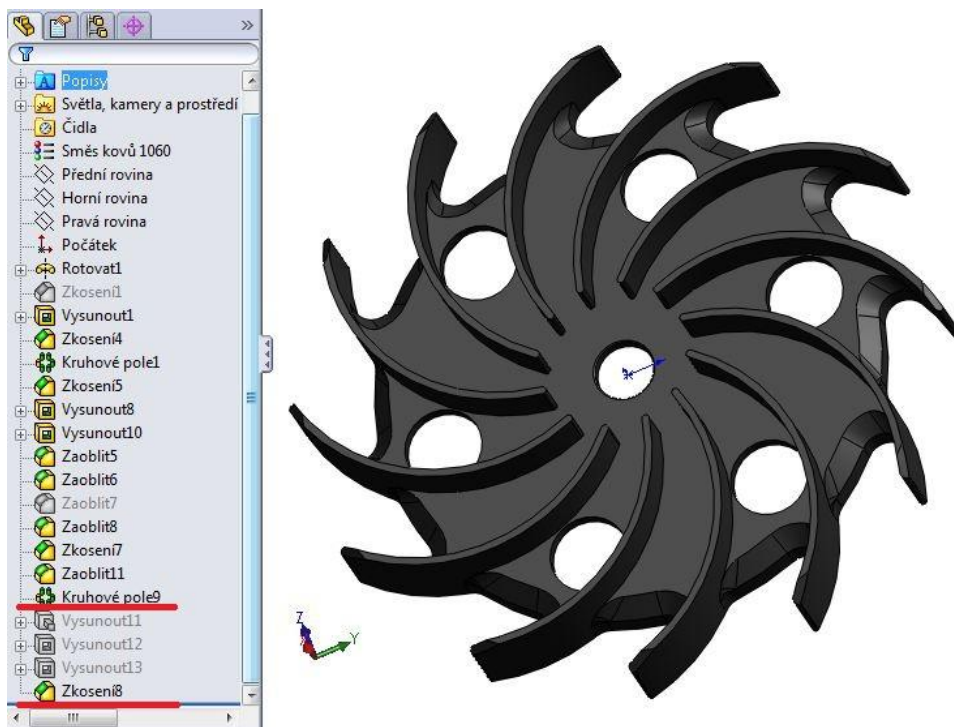
Obr. 3.3 První kroky modelování.

Jako další byla zkosená obvodová hrana disku. Následně byl odebrán tvar jedné lopatky (viz obr. 3.4) pomocí dvojice prvků odebrání vysunutí. Prostřednictvím kombinace prvků zkosení a zaoblení byly vytvořeny přechody ploch, díky kterým je možné součást obrábět.



Obr. 3.4 Vytvoření jedné lopatky.

Závěrečná část obsahuje kopírování prvků, které jsou popsány v předchozím kroku pomocí jediného prvku kruhového pole (viz obr. 3.5). Závěrečným prvkem zkosení byly vytvořeny sražení otvorů na zadní straně součásti.



Obr. 3.5 Dokončení modelu.

Veškeré potlačené (šedé) prvky, které lze ve stromě vidět na obrázcích, jsou součástí první tvorby modelu. Následně byly nahrazeny jinými prvky za účelem jednodušší možnosti modifikace tvaru a rozměru v budoucnu.

4 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

Pro výrobu součástky byla použita tři zařízení (dvě tiskárny a CNC frézka). Zde budou uvedeny základní charakteristiky každého zařízení.

4.1 SD 300 Pro

Solido SD 300 Pro je 3D tiskárna, která využívá technologie LOM, jejíž princip je vysvětlen v kapitole 2.5. Tiskárna využívá technologii vyvinutou a patentovanou společností Solido Ltd. Tisk na tiskárně SD 300 Pro (viz obr. 4.1 a tab. 4.1) byl zajištěn spoluprací se společností SolidVision, s.r.o.

Postup tisku je takový, že tiskárna odvine pás fólie, kterou přilepí na pracovní stůl. Nůž vyřízne konturu první vrstvy. Následně nanese trysky separační tekutinu v místech, které k sobě nemají být přilepena. Poté klesne stůl o 0,168 mm, což odpovídá tloušťce jedné vrstvy a celý proces se opakuje do úplného zhotovení součásti.



Obr. 4.1 SD 300 Pro [5].

Materiál, se kterým tiskárna pracuje, je dodáván jako balíček (viz obr. 4.2). Jedna sada obsahuje 7,5 kg PVC (Polyvinylchlorid) fólie, jednu kazetu s lepidlem a jeden zásobník se třemi pery a separátorem.



Obr. 4.2 Materiálový balíček pro SD 300 Pro [9].

Tab. 4.1 Specifikace SD 300 Pro [5].

Modelovací materiál	PVC fólie
Barva materiálu	transparentní, červená, modrá, černá a bílá
Modelovací prostor x, y, z	160 mm, 210 mm, 135 mm
Rozlišení vrstvy = přesnost x, y, z	0,1 mm, 0,1 mm, 0,168 mm
Podporované OS	Windows XP, Vista, 7
Síťové připojení	Ethernet TCP/IP 10/100
Rozměry (š, h, v)	465 mm, 770 mm, 420 mm
Hmotnost	45 kg
Napájení	(100 až 120 / 200 až 240) V
Zatížení sítě	620 W

4.2 uPrint

Jedná se o zařízení pro 3D tisk technologií FDM uvedenou v kapitole 2.3. Zařízení využívá technologii vyvinutou a patentovanou společností Stratasys, Inc. Tisk na tiskárně uPrint (viz obr. 4.3 a tab. 4.2) je dostupný studentům VUT v Brně.



Obr. 4.3 Tiskárna uPrint [10].

Legenda k obr. 4.3 [10]:

- 1- 3D tiskárna uPrint,
- 2- dvoudílný zásobník – jedna část pro materiál podpor a druhá pro ABS plast,
- 3- cívky s ABS plastem a materiálem podpory,
- 4- stavěcí podložky – podložka pro stavbu modelu,
- 5- čisticí zařízení WaveWash – slouží k odstranění podpor (rozpouští podpory).

Tab. 4.2 Specifikace uPrint [6].

Modelovací materiál	ABSplus
Barva materiálu	slonová kost
Modelovací prostor	203 mm, 152 mm, 152 mm
Rozlišení vrstvy = přesnost x, y, z	0,254 mm
Podporované OS	Windows XP, Vista, 7
Síťové připojení	Ethernet TCP/IP 10/100
Rozměry (š, h, v)	635 mm, 660 mm, 787 mm
Hmotnost	76 kg
Napájení	220-240 V, 50/60 Hz
Rychlost tisku	20 cm ³ .hod ⁻¹
Zatížení sítě	1540 W

Tiskárnu je možné osadit druhým zásobníkem s materiálem. Pro generování, editaci a nastavení dat potřebných pro tisk je software CatalystEX.

4.3 Hermle C20U

Hermle C20U je 5osá frézka, která využívá kinematiku (čtvrté a páté osy) stůl-stůl. Řídicí systém stroje je Heidenhain 530i. Řídicí systém umožňuje ruční programování formou dialogů, které využívají definovaných cyklů, G-kódu (ISO-kódu) nebo jejich kombinací přímo na ovládacím panelu stroje. Také je možno obrábět dle technologie připravené na počítači prostřednictvím CAM (Computer Aided Manufacturing) systému.

Součást ze slitiny hliníku byla obrobena na stroji Hermle C20U (viz obr. 4.4 a tab. 4.3), který je majetkem firmy SolidVision, s.r.o. a je součástí školicího střediska TTC (Technology Training Center).



Obr. 4.4 Hermle C20U v prostředí TTC [11].

Tab. 4.3 Specifikace Hermle C20U [7].

Pracovní oblast x, y, z	600 mm, 450 mm, 450 mm
Rychlost rychloposuvu	45 m.min ⁻¹
Zrychlení	6 m.s ⁻²
Maximální otáčky vřetene	18000 min ⁻¹
Krouticí moment vřetene	130 Nm
Výkon vřetene	15 kW
Počet nástrojů v zásobníku	30
Maximální rozměr nástroje D, L	Ø 80 mm, 250 mm
Upínací plocha	Ø 280 mm
Rozsah osy A, 5osy	± 115°
Maximální zatížení stolu	300 kg
Napájení	400 V, 50 Hz
Rozměry š, h, v	2350 mm, 3300 mm, 2800 mm

Stroj se dá upravit dalším příslušenstvím jako je měřicí sonda Renishaw, laserové měření délky nástroje, větší zásobník nástrojů, robotizovaný podavač polotovarů a vřetena s nižším i vyšším počtem otáček.

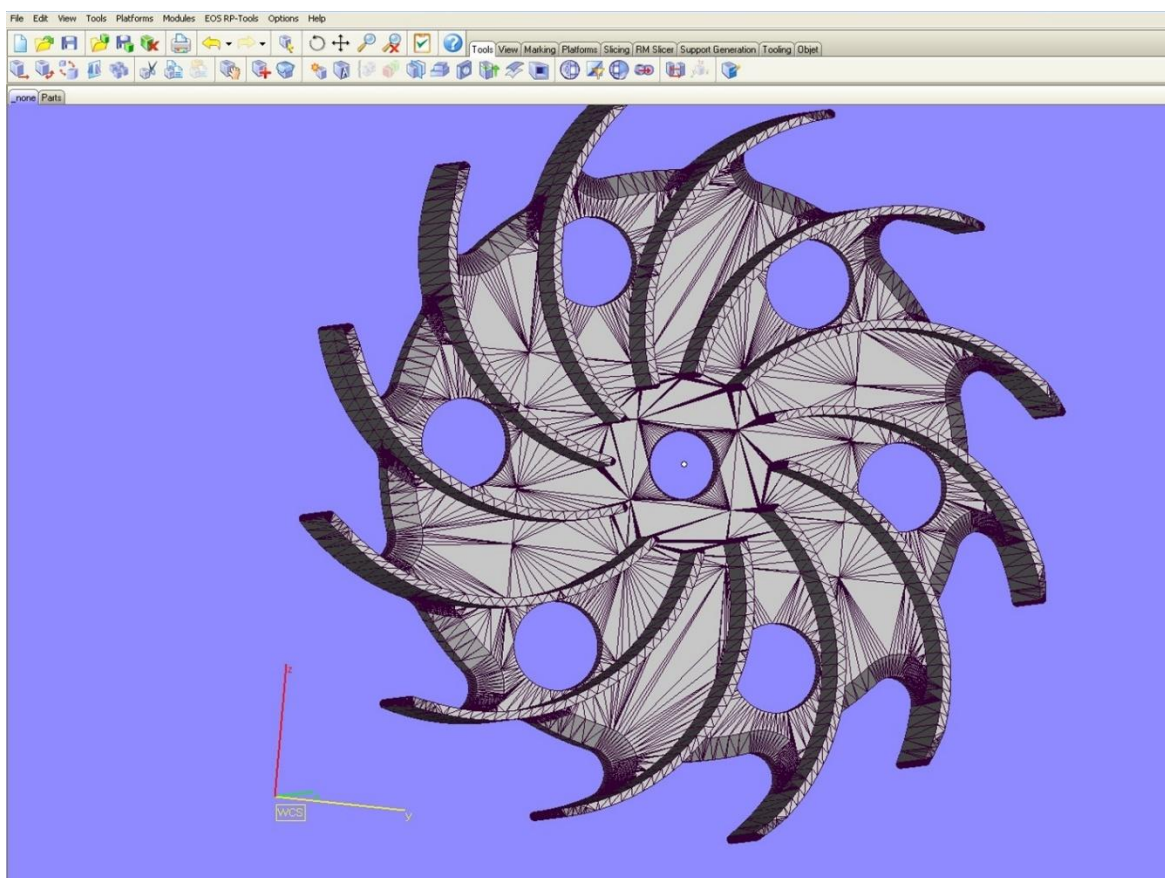
5 VÝROBA PROTOTYPŮ

Data pro výrobu součástek byla připravována na počítači a každé zařízení pro 3D tisk má vlastní software. Pro získání dat potřebných k obrábění byl použit SolidCAM, jako jeden z mnoha dostupných CAM systémů na trhu. Vstupní formát modelu pro softwary obou tiskáren je STL, jehož kontrola probíhala v programu MiniMagics. Pro SolidCAM byl pak vstupní formát dílu SolidWorks s příponou SLDPRT.

5.1 MiniMagics

MiniMagics je volně stažitelný software sloužící pro prohlížení modelu, měření rozměrů a vzdáleností, kontrolu chyb modelu, prohlížení modelu v řezu. Prostřednictvím MiniMagics je možné kontrolovat vadné hrany, obrácené polygony a prolínající se těla [12].

Tento software byl použit i pro kontrolu modelu vratného kola po exportu (viz obr. 5.1) z CAD systému SolidWorks. V případě špatně exportovaného modelu je možnost pouze opětovného exportu se změnou rozlišení STL modelu v nastavení exportu. Model vratného kola byl exportován korektně a poté mohl být otevřen v softwarech k 3D tiskárnám.

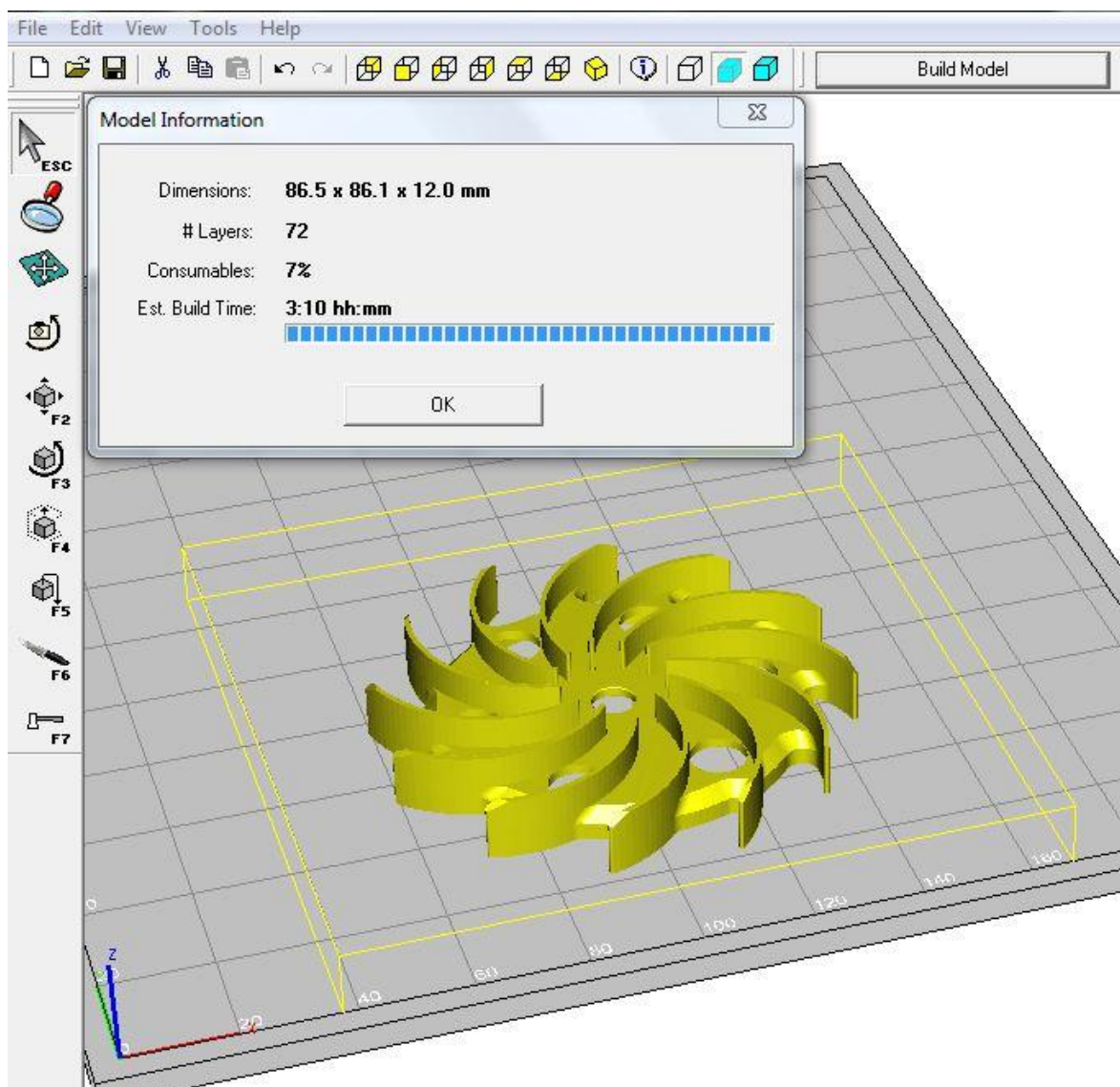


Obr. 5.1 STL model při kontrole v MiniMagics.

5.2 SD View 3.00

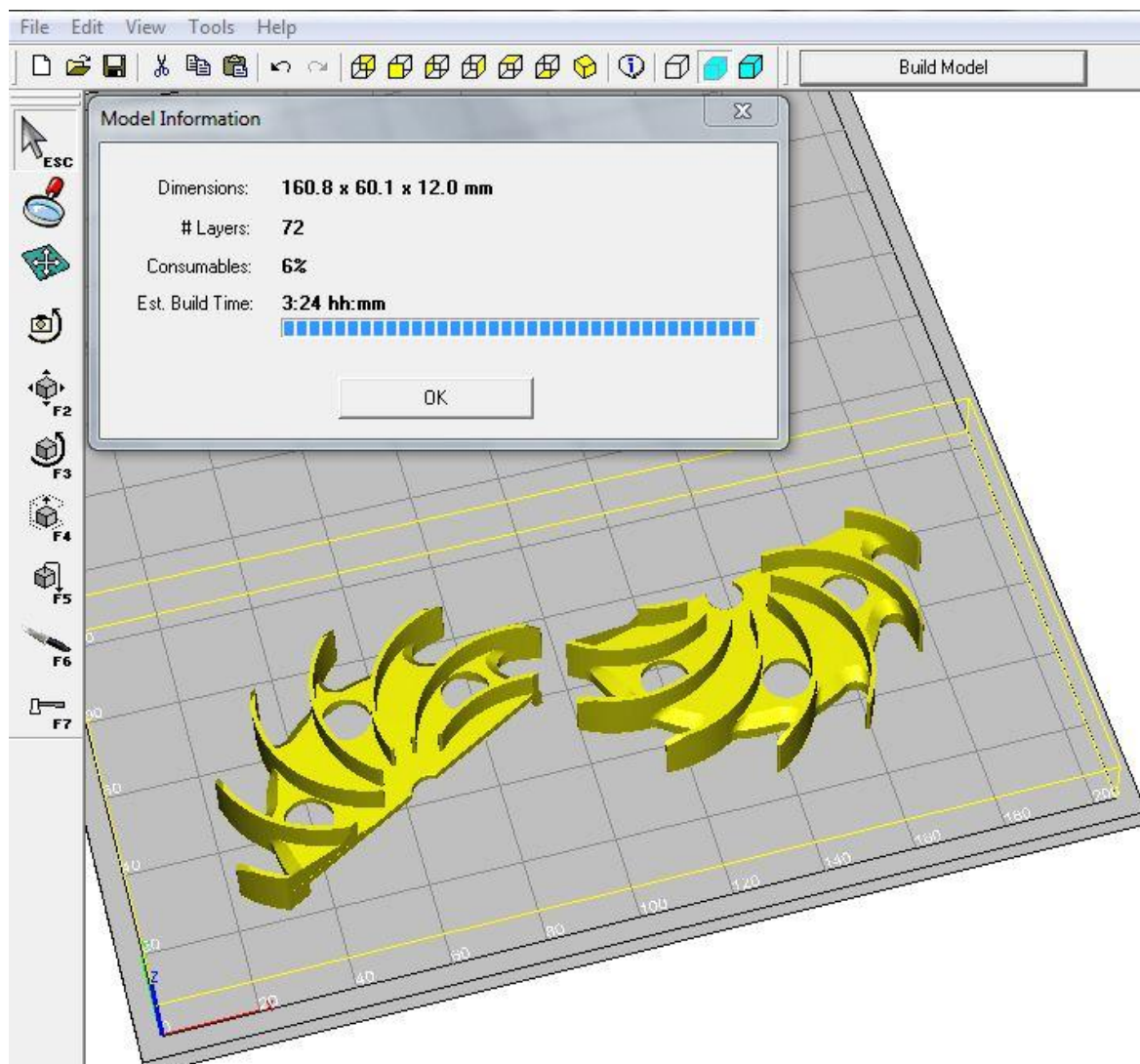
SD View je software dodávaný k tiskárně Solido SD 300 Pro. Slouží k ustavení modelu na pracovní stůl stroje. Pokud je součást příliš velká, je možné ji rozdělit pomocí prvku dělicí Z řezy nebo libovolných přímek v rovině x-y. Tyto prvky je také možno použít pro dosažení nižší spotřeby materiálu. Dělenou součást je nutné slepit ze všech dělených dílu za účelem dosažení celku. Snížení spotřeby materiálu je dáno tím, že tiskárna natáhne celou šíři role, ale její délka je dána rozložením a ustavením součásti v pracovním prostoru stroje. Při ustavování je možné kdykoliv zobrazit počet vrstev, celkový čas tisku a spotřebu materiálu pro aktuální ustavení součásti.

Okolo každé součásti vložené do softwaru SD View je automaticky vytvořen rám (viz obr. 5.2), který se mění v závislosti na rozložení, ale jeho minimální vzdálenost od okraje součásti je pevně nastavena. Tento okraj zajistí přebytečný materiál, který tiskárna využívá k oříznutí součásti pro vyjmutí a současně slouží jako podpora.



Obr. 5.2 Základní ustavení vratného kola s tiskovými údaji.

V případě tisku této součásti díky pevnému rámcí bylo možné provést rozdělení součásti (viz obr. 5.3), nicméně při tomto rozdělení byl čas tisku prodloužen ze 3 hodin a 10 minut o 14 minut a bylo ušetřeno pouze 1 % role. V tomto případě by bylo dělení nevýhodné, protože úspora materiálu by byla velmi nízká a přibyla by pracnost s lepením rozdělených částí. Tak byla zvolena předchozí varianta tisku jedné součásti.



Obr. 5.3 Rozdělení s ohledem na nejnižší spotřebu materiálu.

Lepší spotřeby materiálu by mohlo být dosaženo v případě tištění dvou až tří kusu, kde počet hladin by byl stejný, ale součásti by byly ustaveny v těsné blízkosti a tím by se zmenšil minimální okraj, protože mezi jednotlivými součástkami je minimální vzdálenost nižší.

5.3 Catalyst EX

Catalyst EX je software dodávaný k tiskárně Stratasys uPrint. Jeho funkcí je stejně jako u SD View ustavení součásti na pracovním stole stroje a nastavení parametrů tisku.

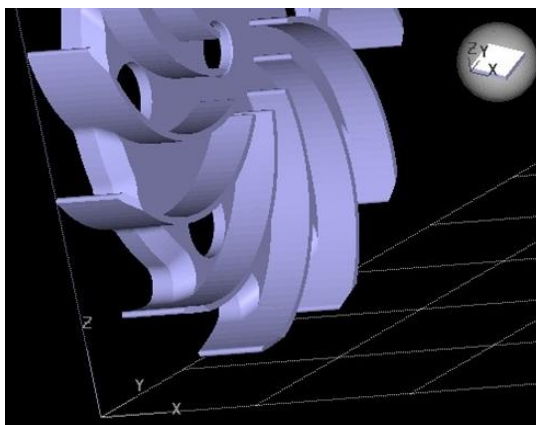
V Catalyst EX se také nastavují tiskové údaje (viz obr. 5.4). Rozlišení vrstvy je současně přesnost ve všech osách, činí 0,254 mm a je dána zařízením. Hustota tisku, kde se volí mezi součástí z plného materiálu, vyplněného sítí nebo skořepinou. Hustota tisku se volí s ohledem na cenu a využití výtisku. Dále se nastavuje hustota podpor, počet kopií, jednotky STL modelu a jeho měřítko.



Obr. 5.4 Nastavení tisku.

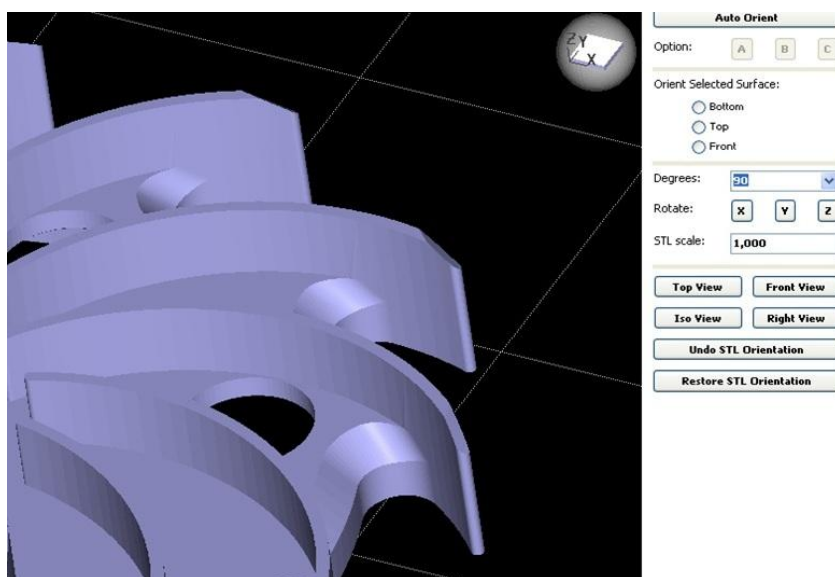
Při tisku na tiskárně uPrint je možné menší součást ustavit kamkoliv na pracovní plochu stroje. To je umožněno prostřednictvím technologie stavby modelu FDM, která materiál přidává pouze pro tvorbu součástky a podpor. U tiskárny SD 300 Pro je z kraje stolu natažena celá šíře pásu PVC fólie do vzdálenosti dle rozložení součásti, proto musí být součást umístěna na hranu pracovního stolu, ze které je natahována fólie. Při tištění jednoduchých součástí na tiskárně uPrint nemusí být součást dělena za účelem snížení spotřeby materiálu.

Při otevření STL modelu vratného kola se sjednotí souřadný systém modelu se souřadným systémem tiskárny (viz obr. 5.5).



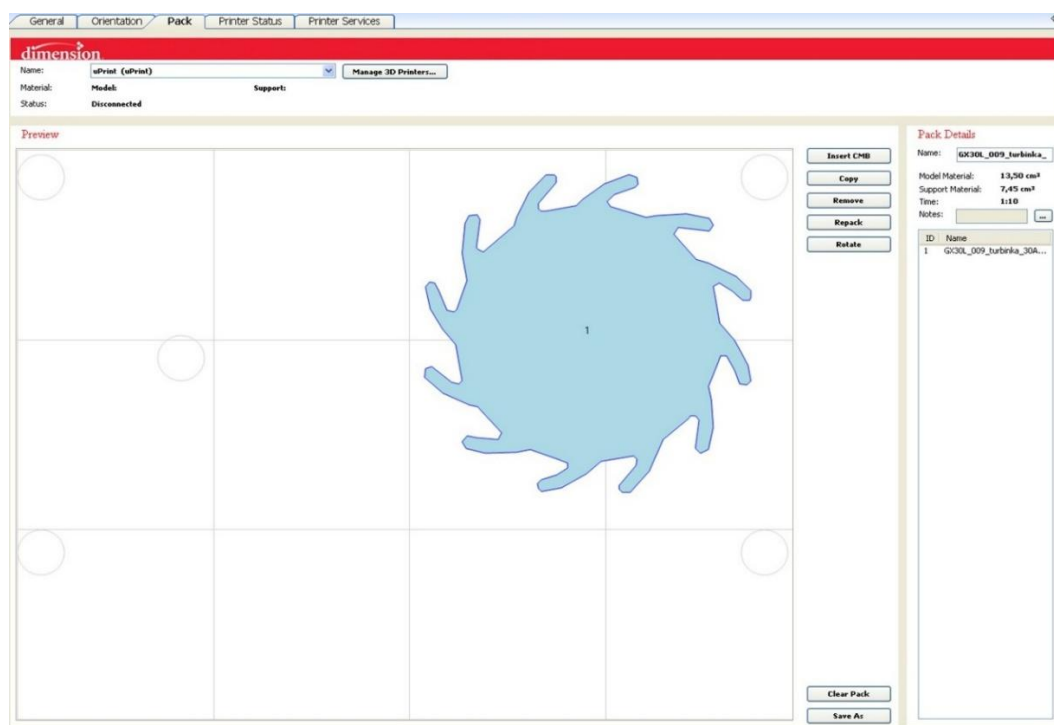
Obr. 5.5 Orientace součásti po otevření STL modelu.

Součást byla pomocí nástrojů pro změnu orientace součástí natočena, aby byla co největší a nejstabilnější plochou na pracovním stole (viz obr. 5.6).



Obr. 5.6 Nástroj pro změnu orientace se správně orientovanou součástí.

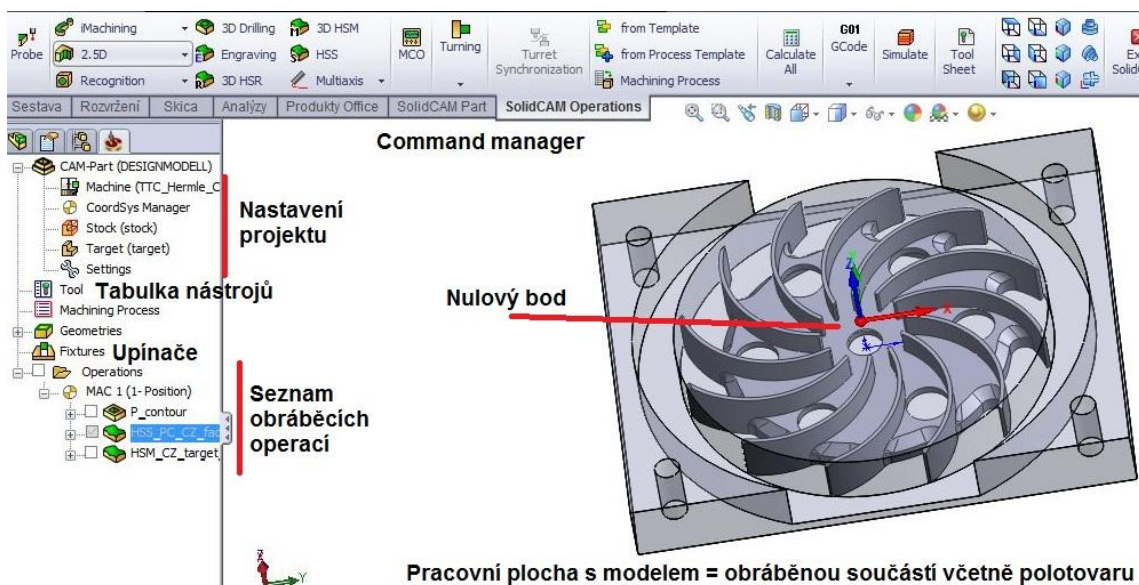
Součástí ustavování bylo situování součásti na pracovním stole do libovolného bodu (viz obr. 5.7). Na pracovní ploše jsou také referenční body, které tiskárna využívá k zjištění její polohy po spuštění stroje. Tyto body by neměly být zakryty součástí. Před tiskem je možné také zobrazit tiskové údaje, které obsahují objem materiálu součásti $13,5 \text{ cm}^3$, objem materiálu podpor $7,45 \text{ cm}^3$ a čas tisku 1 hodina a 10 minut.



Obr. 5.7 Situování součásti na pracovním stole s tiskovými údaji.

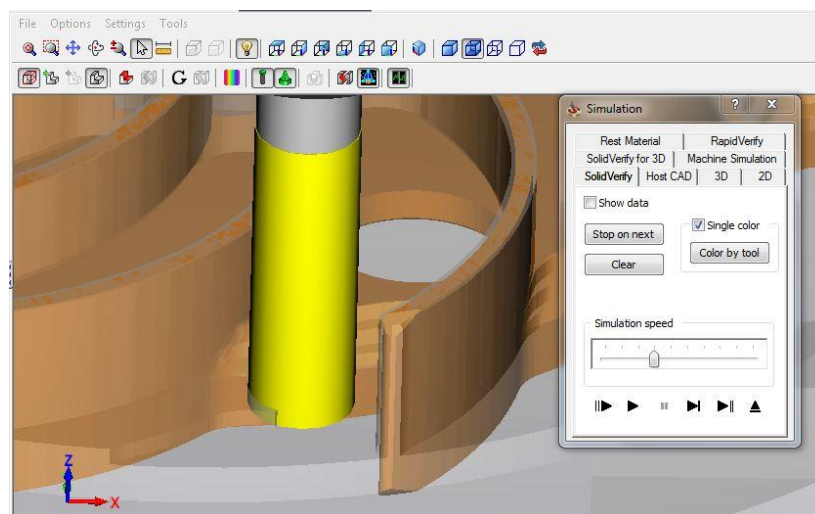
5.4 SolidCAM

SolidCAM je jeden z mnoha CAM systémů na trhu. Je plně integrovaný CAM systém do CAD systému SolidWorks. Díky integraci uživatel pracuje ve známém prostředí SolidWorks (viz obr. 5.8), které je rozšířené o možnosti SolidCAM. Podporované formáty SolidCAM jsou totožné s podporovanými formáty SolidWorks, protože každý nový projekt v SolidCAM musí být založen na základě modelu uloženého v nativním formátu s příponou SLDPRT, který může obsahovat jedno nebo více objemových těl (součást, polotovár, upínač, atd.) a současně libovolný počet plošných těl.



Obr. 5.8 Integrovaný SolidCAM v prostředí SolidWorks.

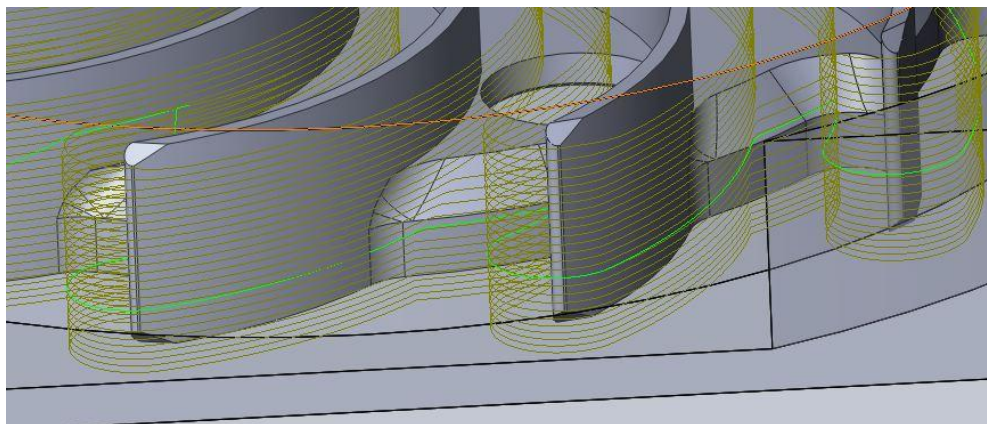
SolidCAM slouží k sestavení strategie obrábění součásti, včetně generování dat pro obrábění na daném stroji. Disponuje také možností simulace (viz obr. 5.9) celého obrábění nebo jeho jednotlivých částí, což výrazně snižuje možnost kolize nástroje s polotovarem, obrobkem, upínačem a jinou částí stroje.



Obr. 5.9 Simulace včetně součásti, zbytkového materiálu a nástroje.

Mezi simulace patří:

- CAD simulace – zobrazí dráhy nástroje (viz obr. 5.10),
- Strojní simulace – tato simulace umožňuje odhalit všechny druhy kolizí a vyžaduje korektní definici nástrojů, držáků, upínačů a přesný model stroje,
- SolidVerify (viz obr. 5.9) – simulace kontrolující kolize nástroj – obrobek a polotovar, lze zobrazit výsledný obrobek se zřetelnými přídávky.



Obr. 5.10 Zobrazení drah nástroje v CAD simulaci.

SolidCAM disponuje těmito možnostmi tvorby programu:

- frézování,
- frézování STL,
- soustružení,
- frézování – soustružení,
- řezání drátem.

SolidCAM se skládá z mnoha frézovacích modulů, které si zákazník volí v závislosti na využití. Počet a druh modulů určuje cenu celého softwaru. Moduly SolidCAM jsou:

- 2D frézovací operace,
- 3D modul,
- I-machining 2D a 3D,
- HSM a HSR modul,
- HSS modul,
- 5osý modul.

Po otevření nového projektu se zvolí v nastavení projektu (viz obr. 5.8) postprocessor pro daný stroj, nulové body, obráběná součást, polotovar. Nadefinují se potřebné nástroje, případně se mohou importovat z jiného projektu nebo databáze nástrojů. V případě potřeby strojní simulace a kontroly kolizí je možno nadefinovat také upínač. Následuje tvorba strategie obrábění prostřednictvím přidávání dílčích operací. Tabulky pro vyplnění hodnot každé operace jsou téměř totožné a liší se pouze zadávané údaje, v závislosti na technologii obrábění. Po sestavení strategie obrábění jedné i více poloh (3osé obrábění z více poloh nebo víceosé indexované obrábění) jsou vygenerována data k obrábění na příslušném stroji. Vratné kolo bylo obráběno ze dvou poloh, a proto byly generovány dva programy (1. poloha a 2. poloha).

6 HODNOCENÍ PROTOTYPŮ

Technologie výroby všech tří prototypů jsou naprosto odlišné. Je důležité srovnat klady a zápory technologie výroby i výsledných součástí.

6.1 Ekonomické hodnocení

Výsledné ceny pro tištění nebo obrábění jednoho vratného kola.

6.1.1 Solido SD 300 Pro

Vstupní hodnoty pro výpočet nákladů ve vztazích (6.1, 6.2, 6.3) jsou:

- spotřeba materiálu 7 % $S_m = 0,07$,
- čas tisku $t_{sd} = 3,17$ h,
- čas ručního dokončení 25 minut $t_{rd} = 0,42$ h,
- cena 100 % materiálu $C_r = 8700$ Kč,
- hodinová cena tiskárny a obsluhy $C_{sd} = 150$ Kč.h⁻¹.

Náklady na materiál N_{msd} :

$$N_{msd} = S_m \cdot C_r \quad (6.1)$$

$$N_{msd} = 0,07 \cdot 8700 = 609 \text{ Kč}$$

Náklady na tisk a odstranění přebytečného materiálu N_{tsd} :

$$N_{tsd} = (t_{sd} + t_{rd}) \cdot C_{sd} \quad (6.2)$$

$$N_{tsd} = (3,17 + 0,42) \cdot 150 = 538,5 \text{ Kč}$$

Celkové náklady pro SD 300 Pro N_{sd} :

$$N_{sd} = N_{msd} + N_{tsd} \quad (6.3)$$

$$N_{sd} = 609 + 538,5 = 1147,5 \cong 1148 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na výrobu jednoho kusu na této tiskárně by bylo možné snížit při výrobě 3 součástí současně. Cena by klesla přibližně o 10 až 15 procent.

6.1.2 Stratasys uPrint

Vstupní hodnoty pro výpočet nákladů ve vztazích (6.4, 6.5, 6.6) jsou:

- objem materiálu součásti $V_s = 13,5$ cm³,
- objem materiálu podpor $V_p = 7,45$ cm³,
- čas tisku $t_{up} = 1,17$ h,
- cena materiálu součásti $C_s = 14,4$ Kč.cm⁻³,
- cena materiálu podpor $C_p = 14,4$ Kč.cm⁻³,
- hodinová cena tiskárny $C_{up} = 220$ Kč.h⁻¹.

Náklady na materiál N_{mup} :

$$N_{mup} = (V_s + V_p) \cdot \frac{C_s + C_p}{2} \quad (6.4)$$

$$N_{mup} = (13,5 + 7,45) \cdot \frac{14,4 + 14,4}{2} = 301,68 \text{ Kč}$$

Náklady na tisk N_{tup} :

$$N_{tup} = t_{up} \cdot C_{up} \quad (6.5)$$

$$N_{tup} = 1,17.220 = 257,4 \text{ Kč}$$

Celkové náklady pro uPrint N_{up} :

$$N_{up} = N_{mup} + N_{tup} \quad (6.6)$$

$$N_{up} = 301,68 + 257,4 = 559,08 \cong 559 \text{ Kč}$$

V případě výroby na tiskárně uPrint jsou náklady na každý kus stejné, bez ohledu na počet současně vyráběných kusů. Zde při výrobě více kusů nedojde k další úspoře.

6.1.3 Hermle C20U, SolidCAM

Vstupní hodnoty pro výpočet nákladů ve vztazích (6.7, 6.8, 6.9) jsou:

- čas obrábění 1. polohy $t_{1p} = 0,056$ h,
- čas obrábění 2. polohy $t_{2p} = 0,270$ h,
- čas zaměření nulového bodu $t_z = 0,033$ h,
- čas programování $t_{pr} = 4,2$ h,
- čas seřízení stroje pro obě polohy $t_{se} = 0,58$ h,
- cena polotovaru plochá tyč AlMgSi 0,5 – 120.100.15 $C_{pol} = 44,5$ Kč,
- hodinová cena programátora a obsluhy stroje $C_{pr} = 480$ Kč.h⁻¹,
- hodinová cena provozu stroje $C_{cu} = 720$ Kč.h⁻¹.

Náklady na chod stroje N_{str} :

$$N_{str} = (t_{1p} + t_{2p} + t_z) \cdot C_{cu} \quad (6.7)$$

$$N_{str} = (0,056 + 0,27 + 0,033) \cdot 720 = 258,48 \text{ Kč}$$

Náklady na programování a seřízení stroje N_{pgm} :

$$N_{pgm} = (t_{pr} + t_{se}) \cdot C_{pr} \quad (6.8)$$

$$N_{pgm} = (4,2 + 0,58) \cdot 480 = 2294,4 \text{ Kč}$$

Celkové náklady pro Hermle C20U + SolidCAM N_{cu} :

$$N_{cu} = C_{pol} + N_{str} + N_{pgm} \quad (6.9)$$

$$N_{cu} = 44,5 + 258,48 + 2294,4 = 2597,38 \cong 2597 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu frézovaného prototypu jsou výrazně vyšší při výrobě pouze jednoho kusu, než u tištěných prototypů. Návratnost této metody se zvyšuje s vyšším počtem vyrobených kusů. Při obrábění jiného materiálu by mohly být použity jiné rezné podmínky nástrojů a byl by zkrácen čas obrábění. V případě výroby z materiálu vhodného pro obrábění prototypů např.: Ebaboard 60 (známý také jako „umělé dřevo“) by bylo možno dosáhnout i krátkého času programování, které je výraznou položkou v nákladech. V SolidCAMu by bylo možné využít obrábění v plné délce vyložení nástroje a program by pak měl malý počet operací.

6.2 Diskuze, technické hodnocení

Každá z použitých metod výroby prototypu má své výhody a nevýhody. Ty jsou dány technologií tisku nebo obrábění, použitým materiálem, možnostmi použitého zařízení, časovou náročností. Předpokládané požadavky na funkci prototypu jsou:

- nízké pořizovací náklady,
- slouží pro prezentaci vzhledu součásti,
- kontrola osazení při montáži do sestavy,
- funkce v sestavě je zajištění proudění vzduchu.

Charakteristika prototypu tištěného na Solido SD 300 Pro.

Klady:

- + nízká pořizovací cena zařízení,
- + žádné specifické podmínky pro provoz tiskárny,
- + velmi jednoduché ovládání softwaru,
- + technologie vhodná na součástky s rovnou stěnou a nízkých součástí,
- + vysoká přesnost tisku v rovině x-y,
- + velikost a hmotnost zařízení.

Zápory:

- delší čas tisku než tiskárny uPrint,
- čas potřebný k odstranění přebytečného materiálu,
- přibližně dvojnásobné náklady na tisk prototypu než u tiskárny uPrint,
- pouze jeden druh materiálu PVC v pěti barvách,
- nejmenší pracovní prostor z použitých zařízení.

Charakteristika prototypu tištěného na Stratasys uPrint.

Klady:

- + nejnižší náklady na výrobu prototypu z použitých metod,
- + nejnižší čas výroby prototypu,
- + jednoduché ovládání softwaru,
- + možnost tisku jakéhokoliv tvaru součásti,
- + jednoduché odstranění podpor.

Zápory:

- nejnižší přesnost výroby z použitých zařízení,
- téměř čtyřnásobná pořizovací cena zařízení než tiskárna SD 300 Pro,
- pouze jeden druh materiálu ABSplus v jediné barvě,
- přídatné zařízení pro odstranění podpor.

Charakteristika prototypu frézovaného na Hermle C20U:

Klady:

- + jakost obrobených ploch,
- + široký výběr obráběných materiálů,
- + není potřebné odstraňování přebytečného materiálu nebo podpor,
- + velký pracovní prostor stroje,
- + přesnost obrábění,
- + možnost tepelné či povrchové úpravy součástí.

Zápory:

- nejdražší metoda výroby prototypu,
- při obrábění vzniká odpad,
- pořizovací cena zařízení,
- problematické obrábění tvarů některých dutin a tenkých stěn nebo žeber,
- čas potřebný k programování a přípravě prvního kusu.

ZÁVĚR

Z uvedených aditivních technologií pro výrobu prototypu byly dostupné:

- Laminated object manufacturing,
- Fused deposition modelling.

Jako vyráběná součást bylo použito vratné kolo vyvinuté společností SolidVision s.r.o. Model vratného kola byl konstruován v CAD systému SolidWorks, jehož základní výstupní formát je SLDPRT a prostřednictvím SolidWorks byl model exportován do formátu STL.

Pro výrobu prototypu vratného kola byla použita 3 zařízení:

- 3D tiskárna Solido SD 300 Pro pracující na principu technologie LOM,
- 3D tiskárna Stratasys uPrint pracující na principu technologie FDM,
- 5osá frézka Hermle C20U.

Pro kontrolu chyb modelu STL, které mohly vzniknout exportováním v SolidWorks, byl použit software MiniMagics.

Pro přípravu dat do 3D tiskárny Solido SD 300 Pro byl použit software výrobce SD View, kde vstupním formátem byl model STL.

Pro přípravu dat do 3D tiskárny Stratasys uPrint byl použit software výrobce Catalyst EX, kde vstupním formátem byl model STL.

Pro sestavení strategie obrábění a generování dat obrábění na 5osé frézce Hermle C20U byl použit CAM systém SolidCAM, kde vstupním formátem byl model SLDPRT.

Pro tisk jednoho prototypu na 3D tiskárně Solido SD 300 Pro byly v SD View dvě varianty ustavení součásti na pracovním stole tiskárny. Byla zvolena varianta tištění celé součásti bez rozdělení. Součást je v této variantě vytištěna v kratším čase, s 1% vyšší spotřebou materiálu a nižší pracností ručního dokončení.

Pro tisk jednoho prototypu na 3D tiskárně uPrint byly voleny tři režimy hustoty výplně prototypu. Vzhledem k požadavkům na použití prototypu byla zvolena střední hustota. Součást mohla být na pracovním stole situována libovolně.

Celkové náklady na výrobu jednoho prototypu uvedenými technologiemi byly:

- Solido SD 300 Pro – 1148 Kč,
- Stratasys uPrint – 559 Kč,
- Hermle C20U – 2597 Kč.

Celkový čas na výrobu jednoho prototypu uvedenými technologiemi byl:

- Solido DS 300 Pro – 3,59 h,
- Stratasys uPrint – 1,17 h,
- Hermle C20U – 5,139 h.

Nejvýhodnější z uvedených technologií výroby prototypu po stránce celkových nákladů a celkových časů potřebných na výrobu prototypu je tisk technologií FDM na tiskárně Stratasys uPrint.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. GEBHARDT, Andreas. *Understanding additive manufacturing: Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing* [online]. Munich: Hanser Publisher, 2011 [vid. 2014-03-15]. ISBN 978-3-446-42552-1. Dostupné z: http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpUAMRPRT5/viewerType:toc/root_slug:understanding-additive-manufacturing---rapid-prototyping-rapid-tooling-rapid-manufacturing
2. NOORANI, Rafiq. *Rapid prototyping: principles and applications* [online]. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2006, xxi, 377 p. [vid. 2014-03-15]. ISBN 978-0-471-73001-9. Dostupné z: http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpRPPA0002/viewerType:toc/root_slug:rapid-prototyping---principles-and-applications
3. *International journal of machine tools* [online]. 1998 [vid. 2014-03-15]. ISSN 0890-6955. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695597001375#>
4. *CAXMIX: Počítačové technologie v průmyslu*. Praha: Springwinter, s.r.o., 2010-2012, roč. 2010, č. 2. ISSN 1804-5154.
5. SOLIDO Ltd. *SD 300 Pro: Desktop 3D Printer* [online]. 2010, 4 s. [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://solido3d.com/adminlockedfiles/file115604.pdf>
6. STRATASYS, Inc. *uPrint: Bring your ideas to life with the uPrint™ personal 3D printer* [online]. 2009, 2 s. [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: http://cdn.hagerman.com/assets/products/SellSheet_uPrint_web.pdf
7. BERTHOLD HERMLE AG. *C 20: The Dynamic* [online]. 22 s. [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.makinaalsat.com/Katalog/47752.pdf>
8. SOLIVISION S.R.O. *GX30: Generátor pro dobíjení akumulátorů* [online]. 3 s. [vid. 2014-03-14]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/download/pdf/generator-gx30-cz.pdf>
9. Technické údaje. SOLIVISION S.R.O. *Solido3d* [online]. 2010 [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.solido3d.cz/content/o-tiskarne-technicke-udaje>
10. uPrint SE Plus 3D Print Pack. MCAE SYSTEMS, s.r.o. *MCAE Systems* [online]. 2014 [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/novinka-uprint-se-3d-print-pack-1329746500-kopie-cz>
11. Technology Training Center. SOLIVISION S.R.O. *Technology Training Center* [online]. 2014 [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://ttc.testujeme.cz/article.asp?nArticleID=1&nLanguageID=1>
12. MiniMagics: Free STL Viewer and Communication Tool. MATERIALISE NV. *Software for additive manufacturing* [online]. 2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://software.materialise.com/minimagics>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
3DP	[-]	Three Dimensional Printing
ABS	[-]	Akrylonitril Butadien Styren
AM	[-]	Additive Manufacturing
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CNC	[-]	Computer Numerical Control
DLP	[-]	Digital Light Processing
EBM	[-]	Electron Beam Melting
FDM	[-]	Fused Deposition Modelling
FLM	[-]	Fused Layer Modelling
HSM	[-]	High Speed Machining
HSR	[-]	High Speed Roughing
HSS	[-]	High Speed Surface milling
LLM	[-]	Layer Laminate Manufacturing
LOM	[-]	Layer Object Manufacturing
PVA	[-]	Polyvinylacetat
PVC	[-]	Polyvinylchlorid
RE	[-]	Reverse Engineering
RM	[-]	Rapid Manufacturing
RP	[-]	Rapid Prototyping
SL	[-]	Stereolithography
SLDPRT	[-]	SolidWorks part
SLM	[-]	Selective Laser Melting
SLS	[-]	Selective Laser Sintering
STL	[-]	Stereo Lithography
TCP/IP	[-]	Transfer Control Protocol / Internet Protocol
TTC	[-]	Technology Training Center
UV	[-]	Ultraviolet, Ultrafialové
VUT	[-]	Vysoké učení technické

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
C_{cu}	[Kč.h ⁻¹]	hodinová cena provozu stroje C20U
C_p	[Kč.cm ⁻³]	cena materiálu podpor u uPrint
C_{pol}	[Kč]	cena polotovaru pro obrábění
C_{pr}	[Kč.h ⁻¹]	hodinová cena programátora a obsluhy pro C20U
C_r	[Kč]	cena materiálového balíčku pro SD 300 Pro
C_s	[Kč.cm ⁻³]	cena materiálu součásti u uPrint
C_{sd}	[Kč.h ⁻¹]	hodinová cena provozu tiskárny a obsluhy u SD 300 Pro
C_{up}	[Kč.h ⁻¹]	hodinová cena provozu tiskárny u uPrint
N_{cu}	[Kč]	celkové náklady na výrobu u C20U+SolidCAM
N_{msd}	[Kč]	náklady na materiál u SD 300 Pro
N_{mup}	[Kč]	náklady na materiál u uPrint
N_{pgm}	[Kč]	náklady na programování a seřízení stroje C20U
N_{sd}	[Kč]	celkové náklady u SD 300 Pro
N_{str}	[Kč]	náklady na chod stroje C20U
N_{tsd}	[Kč]	náklady na tisk a odstranění přebytečného materiálu u SD 300 Pro
N_{tup}	[Kč]	náklady na tisk u uPrint
N_{up}	[Kč]	celkové náklady na tisk u uPrint
S_m	[%]	spotřeba materiálu u SD 300 Pro
V_p	[cm ³]	objem materiálu podpor
V_s	[cm ³]	objem materiálu součásti
t_{1p}	[h]	čas obrábění první polohy
t_{2p}	[h]	čas obrábění druhé polohy
t_{pr}	[h]	čas programování v SolidCAM
t_{rd}	[h]	čas ručního dokončení u SD 300 Pro
t_{sd}	[h]	čas tisku u SD 300 Pro
t_{se}	[h]	čas seřízení pro obě polohy
t_{up}	[h]	čas tisku u uPrint
t_z	[h]	čas zaměření nulového bodu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Prospekt Solido SD 300 Pro
Příloha 2 Prospekt Stratasys uPrint
Příloha 3 Prospekt Hermle C20U
Příloha 4 Prospekt Generátor GX30

SD300 Pro

Desktop 3D Printer

The desktop 3D printer that enables you to create three-dimensional models directly from 3D CAD data, right at your workstation.

When you use the SD300 Pro 3D desktop printer you benefit from a leading edge tool along with the output models that improve your design process.

SD300 PRO UNIQUE FEATURES

3D Printer

- Low cost of ownership
- Easy to use
- Reliable

The models produced by the SD 300 Pro are:

- Strong and durable
- Transparent
- Flexible



Create a design and hold it in your hands without leaving your desk!

ADD A NEW DIMENSION TO YOUR PRINTING





Applications

Choose the right application for you to see how the SD300 Pro solution can help improve the way you work.

Form, Fit & Assembly **The 3-D Printer That Gets You Out Of a Tight Spot**

When it comes to creating the part that fits your design, the SD300 PRO is the precise choice. You have the ability to quickly produce and test models for snap-fit and assembly in-house.

Concept Modeling **From Perception and Conception to Inspection**

The SD300 Pro allows designers to take the shortest path from conceiving an idea to inspection of the physical object. Immediate creation of models leads to inspection and feedback which get you to the final stages of product development.

Ergonomic Studies **The Printer That Makes You Feel Comfortable**

The models you create can be tested for size, weight,

strength and shape with the SolidVC® material forming a durable yet smooth surface. Reduce time and costs by producing the part that fits your needs.

Functional & Presentations Models **Instant Models for Your Presentations**

Take your presentation into the third dimension with the SD300 Pro. You can create models that are functional and flexible, giving you a hands-on demonstration capability.

Rapid Manufacturing **From Design to Production Line**

When it comes to producing a small batch of a finished part or product, the SD300 Pro does the job quickly and accurately. The rugged SolidVC® plastic offers durability for your finished product as well as flexibility.

Form and Fit



Fine Details



Flexible



SD300 Pro Desktop 3D Printer

Using Plastic Sheet Lamination, the SD300 Pro produces rugged yet flexible models made of SolidVC®, a rigid PVC based plastic. The accuracy, strength and durability of the parts produced by the SD300 Pro make them perfectly suitable for wide range of applications at all stages of the design cycle.

Models can be machined, drilled, finished and painted, and they show no distortion over time.

SD View

The SD300 Pro 3D Printer's robust front-end software, SDview® - an intuitive, feature-rich, windows-like application that supports STL input files. SDview® enables the user to manipulate and edit the model prior to sending the "build" file.

Materials

The materials used in the SD300 Pro are a combination of PVC (PolyVinyl Chloride) and our own adhesive which results in rugged yet inexpensive models. These models can be machined, drilled, finished and painted and show no distortion over time.



Specifications

Technology	3D printing - Plastic Sheet Lamination
Build Material	Engineered Plastic
Material color	Amber transparent, Red, Blue, Black and Cream
Accuracy	+/- 0.1 mm (XY)
Layer thickness	0.168 mm (Z)
Maximum model size	160 X 210 X 135 mm (XYZ)
Dimensions	W465 x L770 x H420 mm
Gross Weight	45 Kg







Transparency



Functionality

The Market

Our advanced 3D printing solutions improve the manufacturing process, allowing you to design and print models at your desktop. Solido's 3D desktop printers are easy to operate and suit every market and application:

-  Industrial Manufacturing
-  Medical & Dental
-  Education
-  Automotive
-  Consumer Products and Electronics
-  Product Design & Engineering

Solido Ltd. is revolutionizing the way designers and engineers use physical models in their workflow by providing a new class of 3D printer.

Solido Ltd. is the industry leader in the development of model building technologies, that utilize rigid plastic materials and require no post-build curing.

By combining our patented technology with fresh, innovative thinking in mechanical design, chemistry, electronic design and software, Solido Ltd. developed the first desktop 3D printer, adding a new dimension to the world of 3D printing.

Your local distributor



Solido Ltd. Headquarters

Solido US offices

444 East Industrial Park
Dr. Manchester, NH. 03109-5317, USA
Tel: +1-888-669-4238

Solido European offices

Via Volta 57
21038 Leggiano (VA), Italy
Tel: +39 0332 771772
Mobile +39 347 3418541

Solido Great China offices

1500 Century Blvd.
Dongfang Bldg, Suite 1320
Pudong Shanghai 200122, China
Tel: +86 21 6841 6878
Fax: +86 21 6841 6028



www.solido3d.com

BRING YOUR IDEAS TO LIFE WITH THE uPRINT™ PERSONAL 3D PRINTER

At last — affordable, no-hassle 3D printing right at your desk. The uPrint Personal 3D Printer builds durable ABSplus™ models for visualization, collaboration, functional testing and planning.



uPrint™
by dimension.

ONLY

\$14,900* USD

Building 3D models at your desk is now as easy as clicking the print button.

uPrint: a better way to work for designers and engineers.

Yesterday, you captured your brainstorm in 3D CAD. This morning, it's a functional 3D model you can hold in your hands, show to your team and test in the field. Only uPrint makes 3D printing so affordable, trouble-free and *personal*. Through every design iteration, uPrint brings your ideas into the real world as durable 3D models ready for collaboration and testing.



With a footprint of just 635 x 660 mm (25 x 26 in), uPrint puts 3D printing right on your desk. No waiting for a shared printer, no waiting for models from an outside service bureau.

Discuss and test your ideas with durable ABSplus models.

What's more powerful: Showing a flat drawing, or a 3D model that everyone can examine from every angle? uPrint builds durable, accurate 3D models in ABSplus plastic. They're ideal for determining form, fit and function in everything from ergonomics to manufacturing processes.



uPrint ABSplus models fit dozens of applications: product mockups, architectural models, even jigs, fixtures and vacuum forming molds.

These aren't fragile lab beauties, either; ABSplus is stronger than other materials typically used to make 3D models. When it's time to test your concepts, ABSplus models stand up to functional testing under real-world conditions.

Accelerate your designs from CAD to model to production.

Conquer deadline pressures and speed your projects to conclusion with help from a uPrint 3D Printer. It turns CAD files into models faster than outsourcing or an RP center. With uPrint, you can easily integrate 3D printing into your workflow.

If you use CAD tools, uPrint is for you. Every uPrint 3D Printing System comes with our Catalyst® EX software which automatically prepares your CAD files for 3D printing.



Whatever your profession — designer, engineer, architect, artist or teacher — there's room on your desk and in your budget for the uPrint Personal 3D Printer.

Get full details about the uPrint 3D Printer at www.DimensionPrinting.com/uPrint

INSIDE THE uPRINT PERSONAL 3D PRINTER



uPrint™
by dimension.

ONLY

\$14,900* USD

The basic uPrint 3D Printing System includes everything you need to start making 3D models in durable ABSplus plastic.

For a price less than you'd expect, you get the uPrint Personal 3D Printer with one material bay, CatalystEX software, modeling bases, ABSplus model material, soluble support material and a start-up kit with cables, parts and tools. Just unpack, set up, install software, load materials and start making 3D models.

With uPrint, making models is as easy as 1-2-3.

- 1 Prepare the file.** Create your 3D model in CAD software, then click "print." CatalystEX software converts your CAD system's STL output into 3D model printing instructions, including support structures, that guide the uPrint extrusion head.
- 2 Print your model.** uPrint uses patented Stratasys FDM® (Fused Deposition Modeling) technology to build your 3D model and its support material, layer by layer, from the bottom up on a removable modeling base.
- 3 Remove the support.** Take your printed model out of the uPrint build chamber, pop it off the modeling base and dissolve away the soluble support material. Then, your model is ready to use, or ready for any post-processing you want: drilling, tapping, machining, sanding, painting, even chrome plating.

Enhance the performance and efficiency of your uPrint 3D Printing System with these accessories.



A second material bay gives you twice the uninterrupted print capacity plus the flexibility of reloading materials during printing. The second bay easily installs under the bay that comes with your uPrint printer.

A support removal system makes soluble support removal a hands-free operation by soaking your model at the right solution temperature and agitation.

uPrint Product Specifications

Model material:

ABSplus in ivory

Build size:

203 x 152 x 152 mm (8 x 6 x 6 in)

Layer thickness:

.254 mm (.010 in) of precisely deposited model and support material

Workstation compatibility:

Windows® XP / Windows Vista®

Network connectivity:

Ethernet TCP/IP 10/100 base T

Size and weight:

(uPrint printer and one material bay)
635(w) x 660(d) x 787(h) mm (25 x 26 x 31 in); 76 kg (168 lbs)

(uPrint printer and two material bays)
635(w) x 660(d) x 940(h) mm (25 x 26 x 37 in); 94 kg (206 lbs)

Power requirements:

100–127 VAC 50/60 Hz, minimum 15A dedicated circuit, or
220–240 VAC 50/60 Hz, minimum 7A dedicated circuit

Regulatory compliance:

CE / ETL / RoHS / WEEE

Special facility requirements:

None

Worldwide warranty:

12 months on uPrint 3D Printing System.
See User Guide for warranty statement.

Dimension 3D Printing

A business unit of Stratasys, Inc.

7665 Commerce Way

Eden Prairie, MN 55433-2020 U.S.A.

888-uPrint-0 (toll-free number in the US)

+1-952-937-3000 (non-US number)

ContactUs@uPrintDimension.com

www.DimensionPrinting.com/uPrint

*Manufacturer's worldwide list price. Additional options, shipping, applicable taxes/duties not included. ©2009 Stratasys, Inc. All rights reserved. Stratasys, Dimension, Catalyst, FDM, and uPrint are registered trademarks of Stratasys, Inc., registered in the U.S.A. and other countries. ABSplus is a trademark of Stratasys, Inc. Windows XP and Windows Vista are trademarks of their respective owner. Stratasys assumes no responsibility with regard to the selection, performance or use of this product. Product specifications are subject to change without notice. Printed in U.S.A.

Příloha 3

C 20

The Dynamic

C 20

Unbeatable in 5-axes / 5-sided machining



The C 20 U -
at home in all fields

Tool and mould making
Highly dynamic simultaneous
5-axes machining

Medical engineering
Difficult to machine material -
in record time

Aerospace
Precision in perfection

Mechanical engineering
Fully automatic and flexible
manufacturing systems

Motor sport
Highest precision at
high availability

Subcontract industry
Dynamic, precise and reliable



C 20

Dynamic in a new dimension

Central drive

centrally arranged Y axis main drive

Collision protection

with collision monitor

Easy to service

ideal accessibility to the auxiliary units

3 axes in the tool

component independent dynamics

Force characteristics

3 guideways with one guideshoe
for ideal force balance

Linear axes

above the working area

Pick-up magazine

integrated in the base, thereby saving space

Ideal chip clearance

dry machining

Accessibility

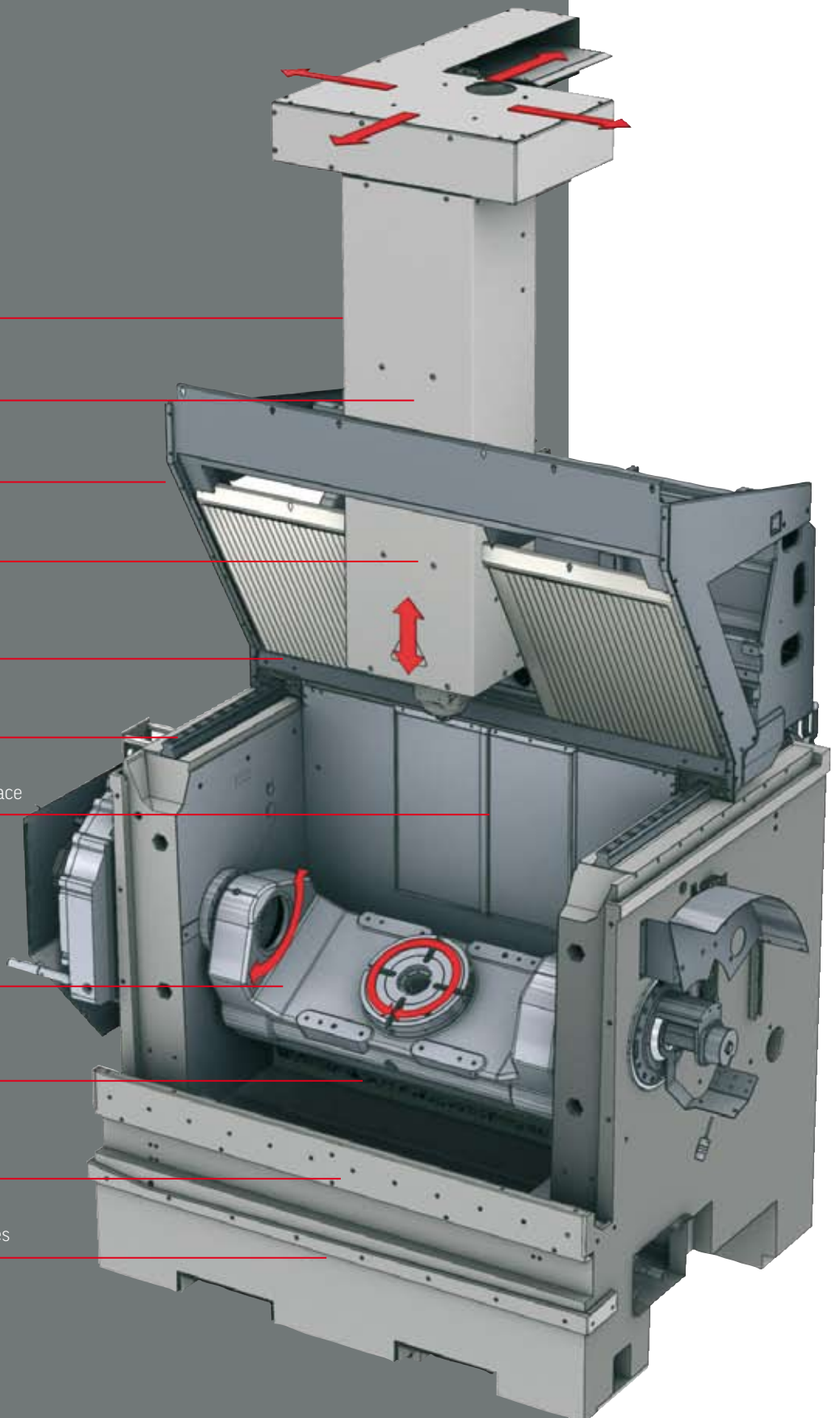
very good ergonomics

Modified gantry design

with ideal main axis support

Mineral casting design

very good vibration dampening properties



Design principle

- Modified gantry design, the disadvantages of the conventional gantry design have been avoided
- Three axes in the tool, thus workpieces independent dynamics, ideal pre-requisite for rapid traverses and feed up to 45 m/min.
- Modular configuration of the table and expansion variants in the multi-functional machine base
- Drives and guideways outside / above the working area
- Z axis with electrical and mechanical quick stop against uncontrolled drop
- Compact design, thus little space required
- Complete transport
- No foundation required (3-point-support)
- Optimised static and dynamic properties
- Maximum utilisation, positioning and long term accuracy
- High dynamics in the machining process
- Short positioning and start times on account of high acceleration of 6 m/s²

Mineral casting version

- Mineral casting has excellent cushioning properties, very low thermal conductivity and will not absorb moisture
- Extremely high form and contour accuracy in all planes
- Optimum surface finish in combination with very narrow tolerances
- Ecological manufacturing and disposal of mineral casting

Drives and guideways

- Y slide as a traverse rests on three carriages with three staggered guideways
- Good guideway ratio of the traverse through three-point rest and central drive
- Ball screw and position measuring system are in direct vicinity of the central linear guideway
- Very rigid dynamic cross slide rest
- Roller recirculating guideways in all linear axes, thus constant dynamic conditions
- Digital AC servo motors with pretensioned ball screws
- Permanent position monitoring system
- Low-maintenance automatic central grease lubrication system

Tool change

- Automatic tool change in cycle
- Ring magazine for 30 tools as SK 40, HSK A 63 or HSK E 40
- Integrated in the machine base unit
- Protected outside of the working area, thus no contamination of the tools

Electronics

- Digital drives
- Absolute measuring systems
- Latest control technologies
- Frequency-based recovery of the braking energy into the mains
- Switch cabinet with air-conditioning unit

Machine

ADVANTAGES OF A UNIQUE MACHINE CONCEPT

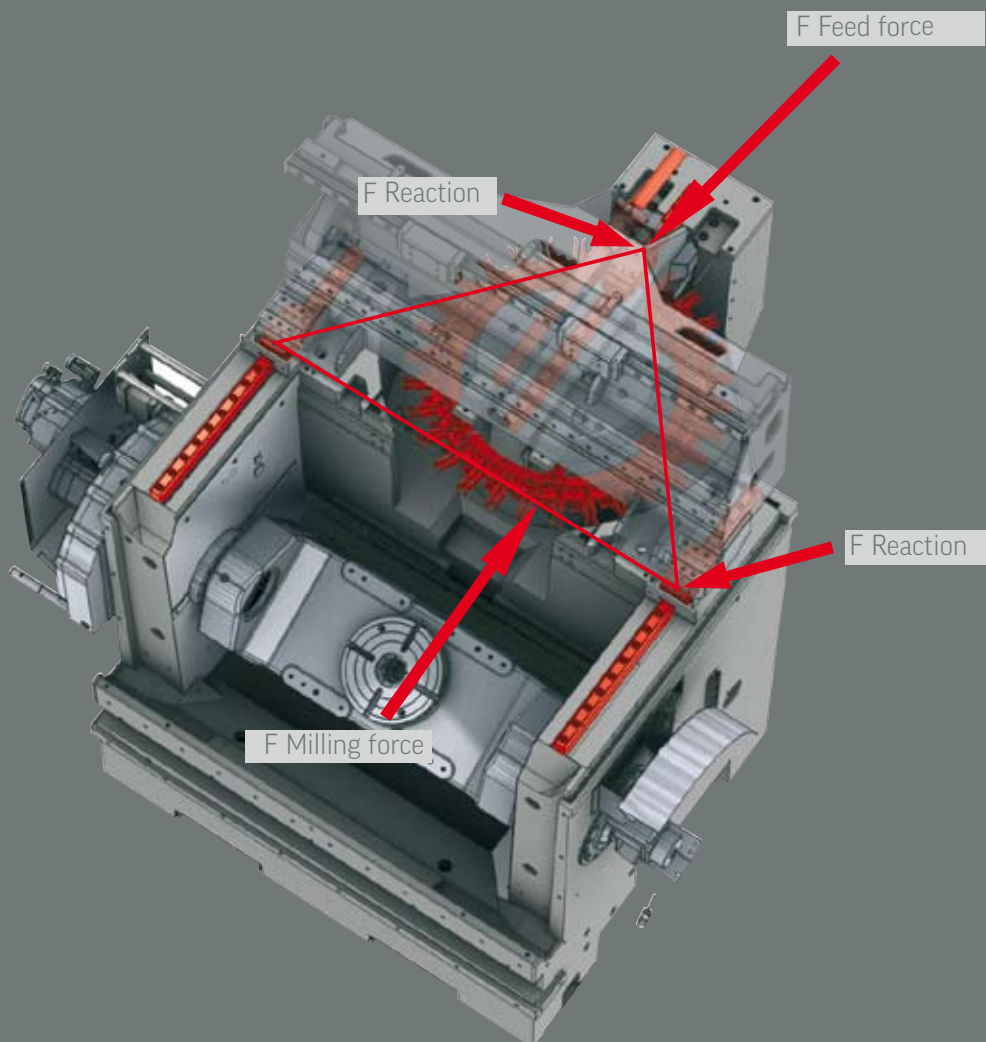
LARGEST WORKING AREA RELATIVE TO THE INSTALLATION SURFACE

UNIQUE AXIS CONCEPT

SHORT CHIP-TO-CHIP TIMES ON ACCOUNT OF INTEGRATED TOOL MAGAZINE

SINGLE LIFT TRANSPORT AND BOLT FREE INSTALLATION

CONSISTENT MODULAR DESIGN FROM THE STANDARD MACHINE
TO THE FLEXIBLE MACHINING CENTRE



Ideal power transmission through
three staggered guideways with central drive



Working area

Traverse	
X-Y-Z	600-450-450 mm
Rapid linear traverse	
X-Y-Z	45 m/min
Linear acceleration	
X-Y-Z	6 m/s ²

Main spindle drive

Speed:	10,000, 18,000, or 40,000 rpm
Torque	up to 200 Nm
Main power	up to 32 kW

Tool changer (pick-up)

Magazine positions	30
Chip-to-chip time*	approx. 5,0 s

Control

Heidenhain	iTNC530
Siemens	S 840 D

*[chip-to-chip times were determined in accordance with VDI 2852, sheet 1 in a 3-axis design]

Table variants

HIGH DEGREES OF FREEDOM IN THE WORKING AREA

VERY HIGH TABLE LOAD (UP TO 1,000 KG AT HIGHEST PRECISION)

NO CHIP COLLECTION ON THE TABLE (TABLE SWIVELLING)

SWIVELLING AXIS A AND ROTARY AXIS C ARE IN THE WORKPIECE (U SHAPE)

WIDE TRUNNION SUPPORT DISPLACEMENT RESULTS
IN A LARGE COLLISION FREE CIRCLE

SWIVELLING AXIS A IN THE COMPONENT

Complicated 5-axis machining processes are carried out by comparatively small traverses of the linear axes

VERY LARGE COLLISION CIRCLE

Optimum utilization of the working area

SEPARATION OF THE ROTARY AND SWIVELLING AXES

User and programmer friendly based on easy follow-up of the table movements

TABLE LOAD

High masses on all table variants



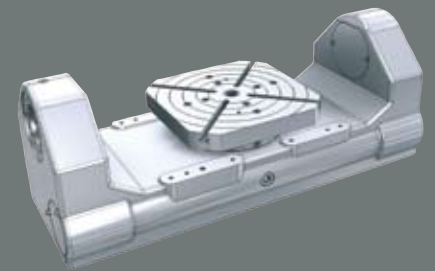
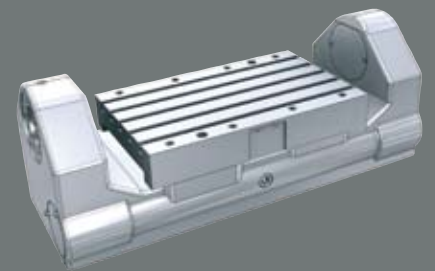
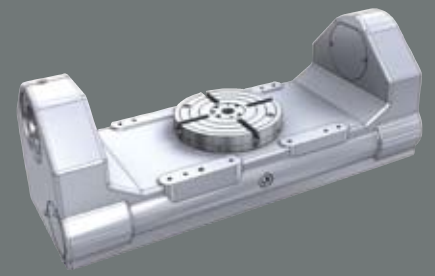
Important table features

- Indexing device to be used as 4th axis
- Zero-point clamping system / pallet clamping system
- Medium supply lines



NC-controlled swivelling rotary table

Clamping surface:	Ø 280 mm
Swivel range:	+ / - 115°
Speed - swivelling axis A:	25 1/min
Speed - rotary axis C:	25 1/min
Type of drive:	worm
Maximum table load:	300 kg
T-grooves:	star 4 / 14 H7
Adjacent clamping plate (option)	650 x 370 mm
Upper clamping plate (option)	600 x 370 mm
Clamping plate (option)	Ø 450, 370 x 370 mm



Rigid clamping table

Clamping surface:	800 x 465 mm
Maximum table load:	1,000 kg
T-grooves:	parallel 7 / 14 H7



Spindles

HIGH-TECH SPINDLES FOR DEMANDING MILLING PROCESSES

COLLISION PROTECTION WITH COLLISION MONITORING

SLIM-END SPINDLE FOR MACHINING DEEPER CAVITIES

FEW IRREGULAR EDGES (PREVENTION OF COLLISION)

TWO-PART SPINDLE (FASTER REPLACEMENT)

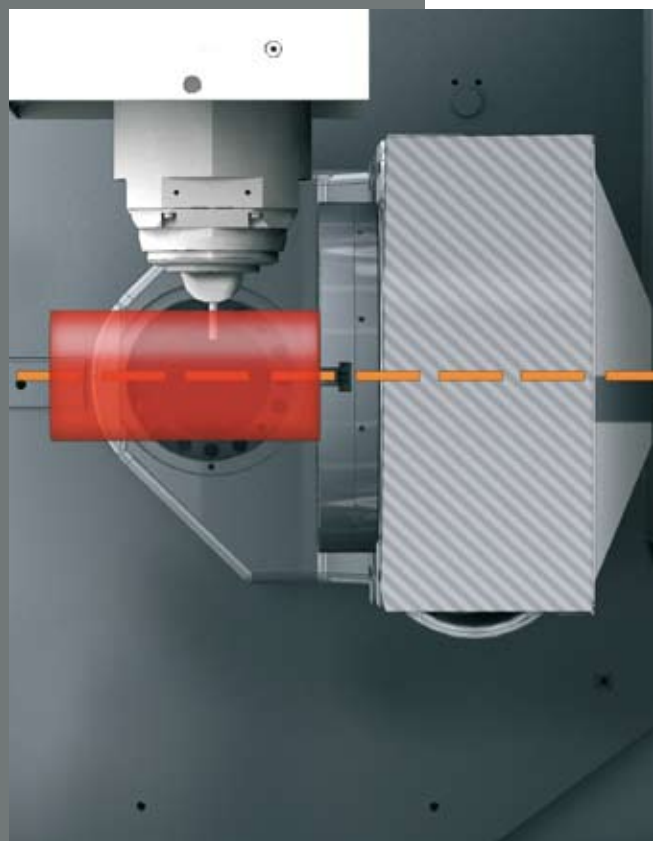
Each spindle has six displacement sleeves to compensate the collision energy.

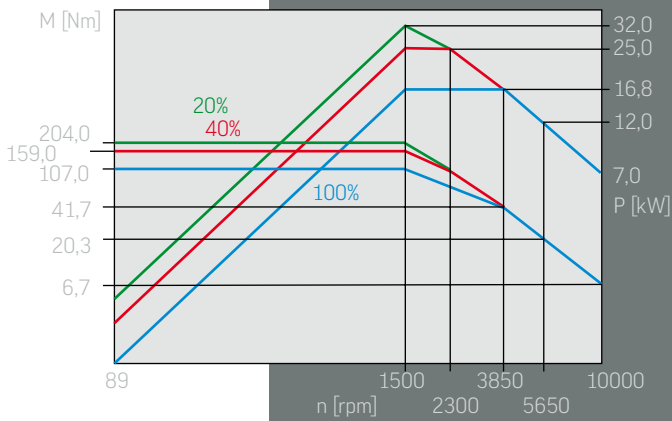
Prior to a collision

After a collision



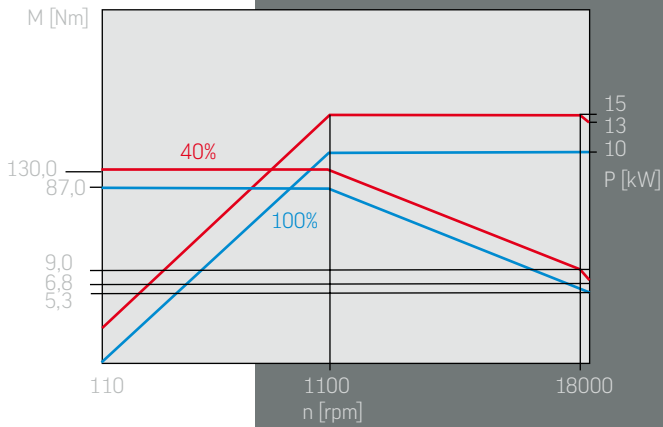
Very slender spindle end.





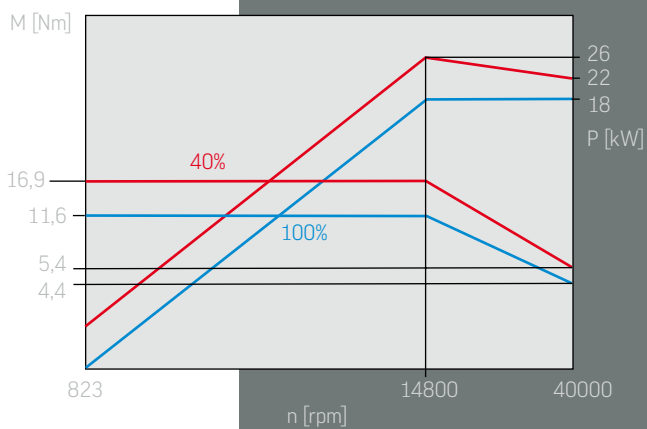
Spindle

Spindle speed:	10,000 rpm.
Torque:	200 Nm
Main power:	32 kW
Interface:	SK 40 / HSK A 63
Collision protection:	Upsetting sleeves



Spindle

Spindle speed:	18,000 rpm.
Torque:	130 Nm
Main power:	15 kW
Interface:	SK 40 / HSK A 63
Collision protection:	Upsetting sleeves



Spindle

Spindle speed:	40,000 rpm.
Torque:	17 Nm
Main power:	26 kW
Interface:	HSK E 40
Collision protection:	-

Magazine

PICK-UP MAGAZINE

INTEGRATION INTO THE MACHINE BASE

VERY GOOD ACCESSIBILITY

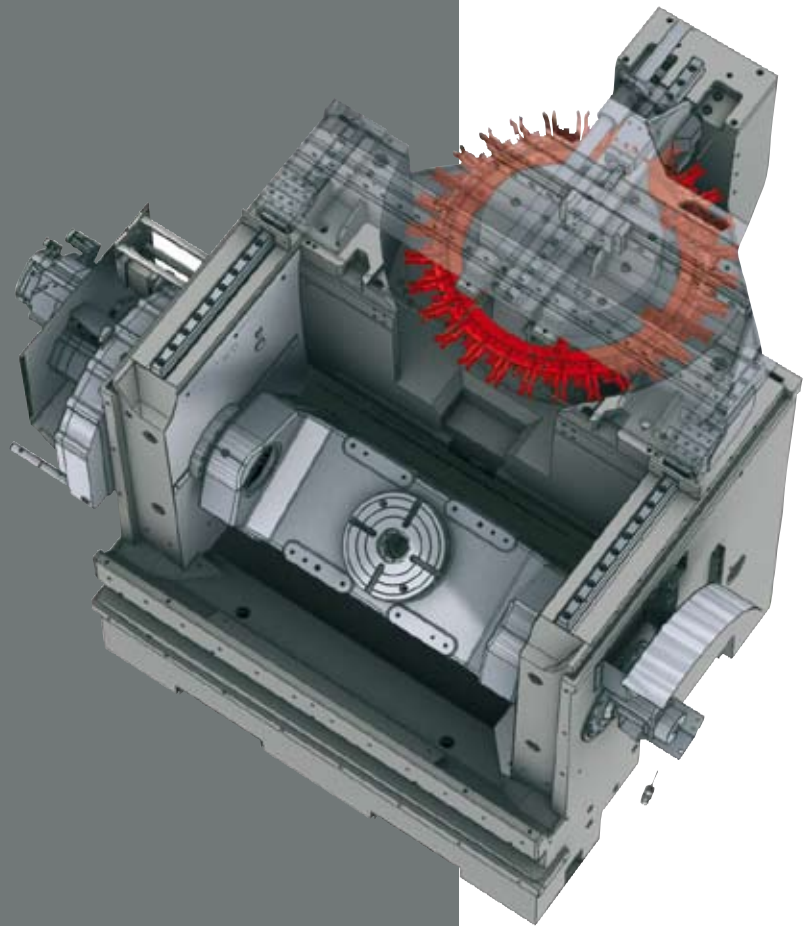
CONTROL PANEL MOVEABLE TO THE LOADING POINT

COVERS FOR THE SPINDLE TAPERS

Tool changer (pick-up)

Magazine positions:	30
Chip-to-chip time*:	ca. 5,0 s
Maximum tool length:	250 mm
Maximum tool diameter:	Ø 80 mm
Maximum tool diameter with corresponding adjacent pocket allocation:	Ø 125 mm
Maximum magazine load at 30 units:	120 kg

*(chip-to-chip times were determined in accordance with VDI 2852, sheet 1 in a 3-axis design)

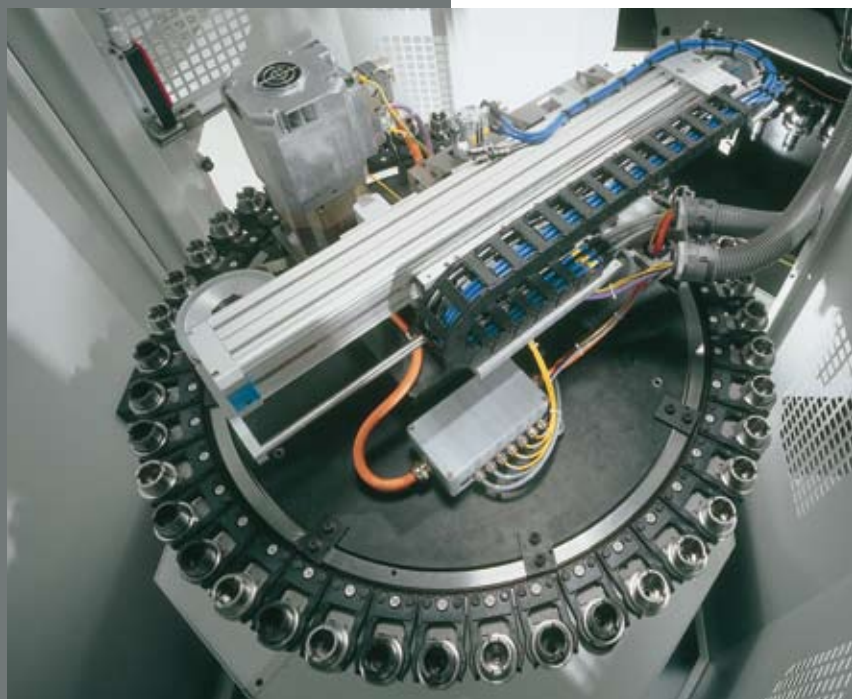


Additional magazines for complex machining processes

- Own tool management software integrated in the control
- Adapted to magazine loading point
- Control panel moveable up to the machining point of the additional magazines

Expansion of the tool storage capacity by:

Additional magazine:	43 pockets
Additional magazine:	87 pockets
Maximum tool length:	250 mm
Maximum tool diameter:	Ø 80 mm
Maximum tool diameter with corresponding adjacent pocket allocation:	Ø 125 mm
Maximum tool weight:	6 kg



Pallet loading

PALLET CHANGER PW 160

PALLET STORAGE SYSTEMS

HERMLE PALLET CLAMPING SYSTEM

RETRACTABLE ROOF TOP SECTION FOR CRANE LOADING

FEED CHUTE WITH DRAWER



Pallet changer PW 160

NC-controlled swivelling rotary table: \varnothing 280 mm

Swivel range: $\pm 115^\circ$

Pallet dimensions: 320 x 320 / \varnothing 400 mm

400 x 400 / \varnothing 500 mm

Number of pallets without storage: 3 pallets

Number of pallets with 4-fold storage: 7 pallets

Transport weight per side including pallet: max. 160 kg

Repeating accuracy $< 0,01$ mm

Options

OPTIONS FOR

INCREASING THE SAFETY FEATURES

THE INDIVIDUAL APPLICATION POSSIBILITIES

THE PROCESS SAFETY

THE ECONOMIC EFFICIENCY

Options in detail

- Through the spindle coolant supply (paper tape filter)
- Chip conveyor (scraper belt or hinged belt conveyor)
- Minimal quantity lubrication internal + external
- Blowing attachment / bed flushing
- Oil mist extractors
- Accuracy packages
- Graphite machining packages
- Tool breakage monitoring system
- Tool measurement
- Automatic front doors / automatic cabin roof
- Laminated safety glass panes



Controls

HEIDENHAIN iTNC 530 OR SIEMENS S 840 D

3D SOFTWARE

15" TFT-TECHNOLOGY

USER-DEFINED SOFTKEYS

smarTNC

ShopMill

CONTROLS FOR DEMANDING MILLING PROCESSES

Whether for tool and mould making, in production or in high-speed machining, they stand out for their many advantages.

SAFE CONTROLS

Controls with integrated safety technology keeping with category 3 described in European standard EN 954-1.

E-MESSENGER

Increases the availability of the machines and minimises production failures.

TELESERVICE

Teleservice ensures even faster support in case of programming and operating problems.



For detailed information, please refer to the individual leaflets.

Automation

HANDLING SYSTEMS

ROBOT SOLUTIONS

TURN-KEY SOLUTIONS



From machine supplier to process supplier

The demand of the market for turn-key solutions for machining processes has caused us to further expand our activities in the so-called "turn-key projects".

Not only complicated machining with every increasing demands for automation, handling and equipment, but also intricate manufacturing strategies for part time guarantee, clamping means and tool packages, programming systems and the integration in an existing PPS system are demands which are increasingly voiced.

MACHINE

CLAMPING UNITS

TOOL SELECTION

PROGRAMMING

AUTOMATION

CAD / CAM



Technical data

Working area	Traverse	X axis	600 mm	
	Traverse	Y axis	450 mm	
	Traverse	Z axis	450 mm	
	Linear rapid traverse	X-Y-Z	45 m/min	
	Linear acceleration	X-Y-Z	6 m/s ²	
	Linear feed force	X-Y-Z	7,000 N	
Main spindle drive	Speed	10,000 rpm.	SK 40 / HSK A 63	■
	Main power / torque	20% c.d.f.	32 kW / 200 Nm	
	Speed	18,000 rpm.	SK 40 / HSK A 63	●
	Main power / torque	40% c.d.f.	15 kW / 130 Nm	
	Speed	40,000 rpm.	HSK E 40	●
	Main power / torque	40% c.d.f.	26 kW / 17 Nm	
Control unit	Heidenhain		iTNC 530	■
	Siemens		Sinumerik 840 D	■
Tool changer (pick-up)	Magazine pockets		30	■
	Chip-to-chip time*		approx. 5,0 s	
	*(chip-to-chip times were determined in accordance with VDI 2852, sheet 1 in a 3-axis design)			
	Maximum tool length		250 mm	
	Maximum tool diameter		Ø 80 mm	
	Maximum tool diameter with corresponding adjacent pocket allocation		Ø 125 mm	
	Maximum magazine load at 30 units		120 kg	
Extension of tool storage capacity	Additional magazine		43 pockets	●
	Additional magazine		87 pockets	●
	Maximum tool diameter in additional magazine		Ø 80 mm	
	Maximum tool diameter with corresponding adjacent pocket allocation in additional magazine		Ø 125 mm	
	Maximum tool weight		6 kg	
Connection-values (machine)	Mains connection		400 V / 50 Hz	
	Power consumption		41 kVA	
	Compressed air		6 bar	
Weight	(Standard version)		approx. 7.0 t	
Transport dimensions C 20 (basic machine)	Width		2,350 mm	
	Depth		3,300 mm	
	Height		2,800 mm	

Hermle AG reserves the right to carry out modifications without prior notification, which may lead to deviating technical data.

Table variants	NC-controlled swivelling rotary table	Ø 280 ●	Rigid Clamping table ●
	Clamping surface	Ø 280 mm	800 x 465 mm
	Swivel range	+ / - 115°	-
	Speed - swivelling axis A	25 1/min	-
	Speed - rotary axis C	25 1/min	-
	Maximum table load	300 kg	1000 kg
	T-grooves radially arranged	4 / 14H7	-
	T-grooves parallel	-	7 / 14H7
	Adjacent clamping plates	650 x 370 mm ●	-
	T-grooves parallel	5 / 14 H7	-
	Upper clamping plate	600 x 370 mm ●	-
	T-grooves parallel	5 / 14 H7	-
	Clamping plate	Ø 450, 370 x 370 mm ●	-
	T-grooves radially arranged	4 / 14 H7	-

In another version the clamping table can be fitted 30 mm lower.

NC indexing device	Clamping chuck	Ø 200 mm ●
--------------------	----------------	------------

Position measuring system direct	Resolution	0,0001 mm ■
----------------------------------	------------	-------------

Position tolerance	Tp in X-Y-Z axis keeping with German standard VDI/DGQ 3441 (determined at 20° Celsius +/- 1° Celsius constant ambient temperature. Our products are subject to German export laws and exports have to be approved as the achievable accuracy may be smaller / equal than 6 µm.)	0,008 mm ■
--------------------	--	------------

Volume of coolant	Amount of coolant	300 l ■
-------------------	-------------------	---------

Through the spindle coolant supply with paper tape filter	Amount of coolant	1000 l ●
	Pressure (infinitely variable manuel)	max. 80 bar / 20 l/min
	Mains connection	400 V / 50 Hz
	Power consumption	18,5 kVA

Chip pan	Removable chip pan	●
----------	--------------------	---

Chip conveyor	Scraper belt or hinged belt conveyor	●
	Ejection height of swarf conveyor	1,100 mm ●
	Chip cart	450 l ●

Hydraulic system	Operating pressure	120 bar ■
------------------	--------------------	-----------

Central lubrication system	Minimum quantity lubrication	■
----------------------------	------------------------------	---

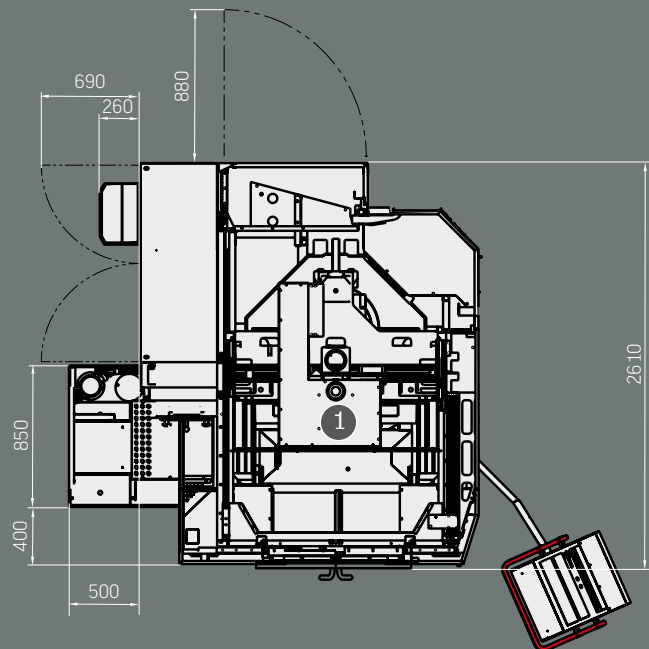
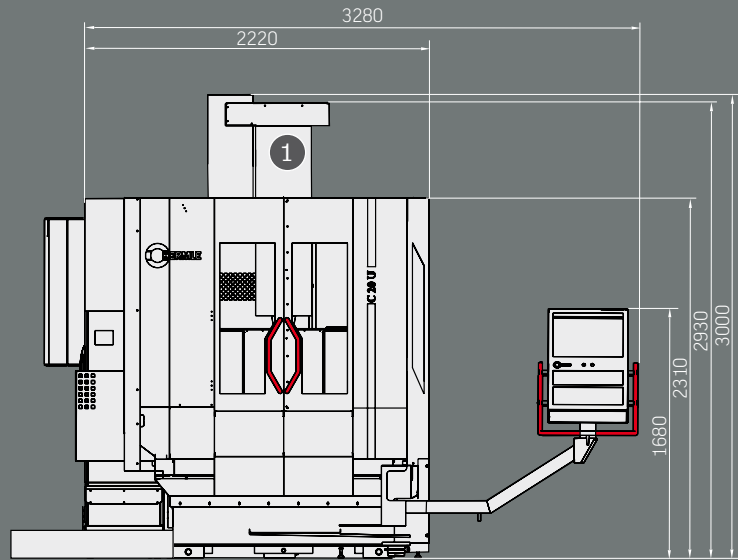
Options

Automatic cabin door	●
Automatic cabin top	●
Laminated safety glass panes	●
Rotating clear-view window	●
Electrical heat compensation	●
Electrical hand-held control module	●
Touch probe including preparation	●
Preparation for touch probe	●
Tool breakage monitoring / measuring system	●
Coolant nozzle	●
Minimal quantity lubrication internal + external	●
Air blast through the spindle centre	●
Bed flushing	●
BDE signal	●
Oil mist extractor	●
Air purge for linear scales	●
Status lamp	●
Accuracy packages	●
Graphite machining package	●
Pallet changer PW 160	●
Pallet storage	●
Pallet clamping system	●
Handling System HS 30	●

■ standard equipment

● to order

Dimensions



C 20

1 Standard machine

Hermle

all over the world

Hermle + Partner Vertriebs GmbH

Industriestraße 8-12
D-78559 Gosheim
Phone +49 (0)7426 95-0
Fax +49 (0)7426 95-6109
vertrieb.hpv@hermle.de
www.hermle-partner-vertrieb.de

Hermle-Leibinger Systemtechnik GmbH

Daimlerstraße 14
D-78532 Tuttlingen
Phone +49 (0)7461 96628-0
Fax +49 (0)7461 96628-398
info.hls@hermle.de

Innovaris GmbH & Co. KG

Daimlerstraße 6
D-85521 Ottobrunn
Phone +49 (0)89 6735950-950
Fax +49 (0)89 6735950-952
info@innovaris.de
www.innovaris.de

Hermle (Schweiz) AG

Tobelackerstrasse 6
CH-8212 Neuhausen am Rheinfall
Phone +41 (0)52 67400-40
Fax +41 (0)52 67400-41
info@hermle-schweiz.ch
www.hermle-schweiz.ch

Hermle Nederland B.V.

Molliërelaan 176
NL-5924 AN Venlo-Blerick
Phone +31 (0)77 3961761
Fax +31 (0)77 4641070
info@hermle-nederland.nl
www.hermle-nederland.nl

Verkaufsbüro Belgium

Martin Coun
Meldertsestraat 55 - BE-3545 Halen
Phone +32 (0)13 5563-83
Fax +32 (0)13 5563-84
hermle@scarlet.be

Hermle Machine Co. LLC

5100 West Franklin Drive
Franklin, WI 53132, USA
Phone +1 414 421-9770
Fax +1 414 421-9771
info@hermlemachine.com
www.hermlemachine.com

Hermle Italia S.r.l.

Via Papa Giovanni XXIII 9-b
IT-20090 Rodano (MI)
Phone +39 02 95327-241
Fax +39 02 95327-243
info@hermle-italia.it
www.hermle-italia.it

Hermle Österreich

Rudolf Fluch
Sportplatzstraße 31/2 - AT-8712 Proleb
Phone +43 (0)3842 83377
Fax +43 (0)3842 82410
rudolf.fluch@hermle.co.at

Florian König
Rofansiedlung 449 D - AT-6210 Wiesing
Phone +43 (0)5244 62373
Fax +43 (0)5244 62378
florian.koenig@hermle.co.at

Hermle Česká Republika

Miloš Branda
Chudenická 1060/28
CZ-102 00 Praha 10
Phone +420 (0)272 652 340
Fax +420 (0)272 652 977
milos.branda@hermle.cz

Martin Skukálek
Podhájom 1365/164-73
SK-01841 Dubnica nad Váhom
Phone +421 (0)424 441 888
Fax +421 (0)424 441 886
martin.skukalek.hpv@stonline.sk

Hermle China

Shanghai Representative Office
Floor 21 E, Shanghai Industry Building No. 18
North Cao Xi Road
Shanghai 200030, P.R.China
Phone +86 21 2281 9188
Fax +86 21 6427 1887
hermlesha@126.com

Beijing Representative Office No. 1707
Tower A, Dongyu Building No. A1
Shuguang Xili Road
Chaoyang District
100028 Beijing, P.R.China
Phone +86 10 5822 0951/2/3
Fax +86 10 5822 1426
hermlebeijing@vip.163.com

Hermle WWE AG

Zuger Strasse 72
CH-6340 Baar/ZG
Phone +41 (0)41 768 51-51
Fax +41 (0)41 768 51-50
info@hermle-wwe.com

000 Hermle Vostok

ul. Polkovaya 1
RU-127018 Moskau
Phone +7 495 221 83 68
Fax +7 495 221 83 93
info@hermle-vostok.ru

The machining examples used in this leaflet are published with the explicit approval of our friendly customers.

The information in this leaflet only contains general descriptions or performance characteristics which in a real application do not always meet the description or which may change by further development of the products.

The requested performance parameters shall be binding only, if they are explicitly agreed within the sales contract.



Maschinenfabrik
Berthold Hermle AG
Industriestraße 8-12
D-78559 Gosheim
Phone +49 (0)7426 95-0
Fax +49 (0)7426 95-6109
info@hermle.de
www.hermle.de

VYBITÝ AKUMULÁTOR! KONEC VŠECH NADEJÍ?

Známe řešení

Generátor pro dobíjení akumulátorů GX 30



Zařízení pro rychlé dobíjení akumulátorů o jmenovitém napětí 12V. Patentovaná kompaktní konstrukce, malé rozměry, nízká hmotnost a jednoduchá obsluha. Díky unikátním technickým parametrům jej snadno instalujete všude tam, kde nelze využít konvenční elektrický generátor se spalovacím motorem. Základní předností je schopnost transportu a provozu v libovolné poloze a to i „vzhůru nohama“. Využijete jej všude, kde není možné udržet generátor ve stabilní poloze. Ocení především expedice, piloti či jachtaři. Rozměry a hmotnost umožňují snadný transport a provoz i v situacích, kdy to doposud nebylo možné. Díky malé hmotnosti je vždy v pohotovosti a při ruce. Je velkým pomocníkem servisním technikům, horolezcům a záchranným sborům. Úsporný pohon miniaturním čtyřtaktním benzínovým motorem je základní předpoklad pro snadný start, zásobování palivem, dostupný servis, čistotu a ekologii v provozu. Jednoduchost obsluhy a spolehlivost spočívá ve využití technologie HONDA. Elektronika pro dobíjení je zapojena patentovaným způsobem a její případné poškození hrubým zacházením nemá vliv na základní funkci soustrojí = dodávat chybějící ENERGII.

...všichni jsme to už někdy zažili

VYBITÝ AKUMULÁTOR! KONEC VŠECH NADEJÍ?

Známe řešení

Generátor pro dobíjení akumulátorů GX 30



Zařízení pro rychlé dobíjení akumulátorů o jmenovitém napětí 12V. Patentovaná kompaktní konstrukce, malé rozměry, nízká hmotnost a jednoduchá obsluha. Díky unikátním technickým parametrům jej snadno instalujete všude tam, kde nelze využít konvenční elektrický generátor se spalovacím motorem. Základní předností je schopnost transportu a provozu v libovolné poloze a to i „vzhůru nohama“. Využijete jej všude, kde není možné udržet generátor ve stabilní poloze. Ocení především expedice, piloti či jachtaři. Rozměry a hmotnost umožňují snadný transport a provoz i v situacích, kdy to doposud nebylo možné. Díky malé hmotnosti je vždy v pohotovosti a při ruce. Je velkým pomocníkem servisním technikům, horolezcům a záchraným sborům. Úsporný pohon miniaturním čtyřtákním benzínovým motorem je základní předpoklad pro snadný start, zásobování palivem, dostupný servis, čistotu a ekologii v provozu. Jednoduchost obsluhy a spolehlivost spočívá ve využití technologie HONDA. Elektronika pro dobíjení je zapojena patentovaným způsobem a její případné poškození hrubým zacházením nemá vliv na základní funkci soustrojí = dodávat chybějící ENERGII.

Technické parametry:

Hmotnost	6 750	g
Jmenovité výstupní napětí	12	V
Max. dobíjecí proud	35	A
Rozsah regulace dobíjení	5 - 25	A
Spotřeba (NATURAL 98)	0,1 - 0,3	l/h
Objem palivové nádrže	0,55	l
Rozměry D x Š x V	315 x 221 x 230	mm



Generátor pro dobíjení akumulátorů

Bezpečnost provozu je zajištěna nízkým provozním napětím 12V a odolností k chybám obsluhy. Ani nedodržení základních pravidel při zacházení s el. proudem nemohou ohrozit uživatele a okolí. Soustrojí je všestranné, bezpečné a spolehlivé. Užité vlastnosti jej předurčují pro využití v mnoha oborech lidské činnosti, jako je servisní činnost, horolezectví, letectví, rybolov, námořní jachting, záchranné sbory, karavanning, vědecké expedice, izolovaná pracoviště, chalupaření, terénní engineering.

Soustrojí obsahuje elektronický asistent pro dobíjení olověných akumulátorů se zobrazovačem průběhu nabíjení/vybíjení akumulátoru.

Soustrojí je standardně vybaveno madlem pro snadný transport a zavěšení a konzolou pro stabilní instalaci.

Soustrojí GX30 lze objednat v modifikacích: L - vysoká životnost, S - zvýšená odolnost mořskému prostředí, M - snížená hmotnost a přizpůsobení vysokým nadmořským výškám.

K soustrojí lze objednat:

- KIT odvodu zplodin z pracovního prostoru EPR- v modifikaci L, S nebo M.
- potrubí odvodu zplodin v modifikaci L, S nebo M
- koncovku potrubí s uzavíratelným průvlakem pro montáž do pevné přepážky

