



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Volba CAD/CAM systému pro návrh a výrobu forem

Diplomová práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Pavel Vokřál**
Vedoucí práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Vokřál**
Osobní číslo: **S17000514**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní systémy a procesy**
Název tématu: **Volba CAD/CAM systému pro návrh a výrobu forem**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je vybrat nejvhodnější CAD/CAM systém pro potřebu firmy zabývající se vstřikováním plastových dílů, který umožní efektivní návrh a podporu výroby forem pro vstřikování plastů.

1. Udělejte rešerši CAD/CAM systémů dostupných na trhu pro danou oblast použití.
2. Navrhněte metodiku pro vzájemné porovnávání jednotlivých CAD/CAM systémů jak z hlediska konstrukčního tak technologického návrhu výroby forem.
3. Ve spolupráci s dodavateli CAD/CAM systémů proveďte otestování vhodných softwarů.
4. Proveďte praktické testy vybraných systémů.
5. Proveďte zhodnocení a výběr nejvhodnějšího CAD/CAM systému z hlediska potřeb firmy zabývající se návrhem a výrobou vstřikovacích forem.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 55 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- [1] KAZMER, D. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-570-8.
- [2] ŘEHULKA, Z. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2015. ISBN 978-80-7204-919-6.
- [3] ŠTULPA, M. CNC: programování obráběcích strojů. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [4] KELLER, P. Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek, 2.část. Liberec: TU v Liberci, 2005.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Keller, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání diplomové práce: **1. února 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2019**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. února 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

8. 4. 2019

Bc. Pavel Vokřál



Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za čas, který mi věnoval, za pomoc a rady při zpracování této práce.

TÉMA: Volba CAD/CAM systému pro návrh a výrobu forem

ANOTACE: Tato práce se zabývá výběrem nejvhodnějšího CAD/CAM systému pro potřebu firmy zabývající se vstřikováním plastových dílů. Pro tento úkol se vytvořil seznam vhodných programů, které se následně testovaly, a pomocí vícekritériální analýzy se zvolil nejvhodnější software.

KLÍČOVÁ SLOVA: (CAD, CAM, vstřikovací forma, EDM technologie, CNC, konstrukce forem, elektroda)

THEME: Selection of CAD/CAM system for mold design and production

ANNOTATION: This study is about finding the most suitable CAD/CAM system for a company dealing with an injecting a plastic parts. For this task a list of programs has been created, tested and then the best software has been chosen by a multi-criteria analysis.

KEYWORDS: (CAD, CAM, Injection mold, EDM technology, CNC, Mold design, Electrode)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace
Dokončeno: 2018

Počet stran:	69
Počet příloh:	1
Počet obrázků:	56
Počet tabulek:	12
Počet modelů:	0
nebo jiných příloh:	0

Obsah:

Seznam znaků a zkratk	9
1 Úvod	10
1.1 Cíl práce	10
2 Úvod do vstřikování plastů	11
2.1 Technologie vstřikování plastů	11
2.2 Plasty	12
2.3 Vstřikovací formy.....	13
2.3.1 Části vstřikovací formy	14
2.3.2 Vtoková soustava	15
2.3.3 Vyhazovací systém forem.....	15
2.3.4 Hlavní materiály pro konstrukci forem.....	16
3 CAD/CAM systémy.....	18
3.1 Cimatron E	19
3.2 SolidWorks.....	19
3.3 VISI.....	20
3.4 NX CAD/CAM	20
4 Hlavní technologie používané při výrobě forem	21
4.1 Konvenční obrábění.....	21
4.1.1 Obrábění velmi tvrdých materiálů	21
4.1.2 Obrábění elektrod	21
4.1.3 Obrábění dlouhých děr.....	22
4.1.4 Broušení.....	22
4.2 Nekonvenční obrábění	23
4.2.1 Elektroerozivní hloubení	23
4.2.2 Elektroerozivní drátové řezání	24
4.2.3 Elektroerozivní vrtání	25
5 Testování a výběr CAD/CAM systémů	26
5.1 Obecné srovnání.....	26
5.2 Workshop	27
5.2.1 Porovnání modelů	27
5.2.3 Vytvoření geometricky čistých ploch z naskenovaných ploch	29
5.2.4 Konstrukce formy	30
5.2.5 Konstrukce elektrod	31

5.2.6 Programování	32
5.2.7 Vyhodnocení workshopu	32
5.2.7.1 Bodovací metoda.....	32
5.2.7.2 Metoda váženého pořadí	33
5.2.7.3 Saatyho metoda	35
5.3 Podrobné testování	37
5.3.1 Úkosová analýza	37
5.3.3 Tvorba elektrody – vtok.....	39
5.3.2.1 Cimatron	39
5.3.2.1 VISI.....	41
5.3.3 Tvorba elektrody – jádro formy.....	42
5.3.4 Rychlost tvorby elektrod na vložkách pro opravu	47
5.3.5 CAM	50
6 Závěr	59
Použitá literatura.....	61
Seznam obrázků	62
Seznam tabulek	63
Seznam příloh.....	64
Obsah přiloženého CD	64

Seznam znaků a zkratek

2D	dvoudimenzionální, dvourozměrný
3D	trojdimenzionální, třírozměrný
CAD	Computer-Aided Design (Drafting), počítačem podporované projektování (kreslení)
CAM	Computer-Aided Manufacturing, počítačová podpora obrábění
CNC	Computer Numerical Control, číslíkové řízení počítačem
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsche Industrie, Norm, německá národní norma
IPT	specifický formát souboru pro díly v Inventoru
ISO	International Organization for Standardization, mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem
NC	Numerical Control, číslíkově řízený stroj
STEP	Standard for the Exchange of Product model data, mezinárodní standard pro výměnu CAD dat
EDM	Electric Discharge Machining, elektroerozivní obrábění
WEDM	Wire Electric Discharge Machining, drátové elektroerozivní obrábění
VDI	stupnice drsnosti u elektroerozivního obrábění

1 Úvod

V dnešní době si zákazník žádá stále rychlejší dodání dílů. Zároveň ale firmy řeší nedostatek pracovní síly, a proto se více prosazuje automatizace. Tato automatizace musí být velmi flexibilní, aby mohla reagovat na rychlé změny ve výrobě. Proto, aby byla firma konkurenceschopná a úspěšná, potřebuje nejen kvalitní personál a dobré stroje, ale i software s kvalitní technickou podporou.

1.1 Cíl práce

Tato práce si dává za cíl zvolit takový CAD/CAM systém, aby co nejlépe vyhovoval požadavkům firmy, která se živí vstřikováním plastů.

Protože dnes existuje nespočet CAD/CAM systémů, musela se nejprve vytvořit rešerše dostupných softwarů a z nich byli zvoleni nejvhodnější kandidáti pro testování. Výběr programů probíhal především podle referencí od nástrojářen, které se zabývají návrhem a výrobou vstřikovacích forem.

Pro první otestování vybraných programů se zvolil jednodenní workshop, na kterém se testovaly programy a jejich technická podpora na předem vybraných a připravených datech z praxe, které dostali účastníci až přímo na workshopu.

Při workshopech budou sledovány vybrané parametry, kterým se bude podle jejich důležitosti dávat různá váha. Nakonec budou za pomoci vícekritériální analýzy zvoleny dva programy, které se budou testovat dlouhodobě po několik měsíců tak, aby se ukázaly slabé i silné stránky CAD/CAM systému a zároveň se ověřila kvalita technické podpory produktů, jelikož ta hraje při zavádění nového softwaru klíčovou roli. Také pro dlouhodobé testování se vytvoří tabulka sledovaných parametrů, jejichž vyhodnocení proběhne opět pomocí vícekritériálních metod.

Při výběru ideálního softwaru se dávala velká váha především možnosti automatizace kroků výroby – jak při konstrukci formy, tak u tvorby elektrod a při programování. Dalším požadavkem bylo, aby program co nejvíce předcházel lidským chybám a při jejich výskytu je co nejvíce eliminoval.

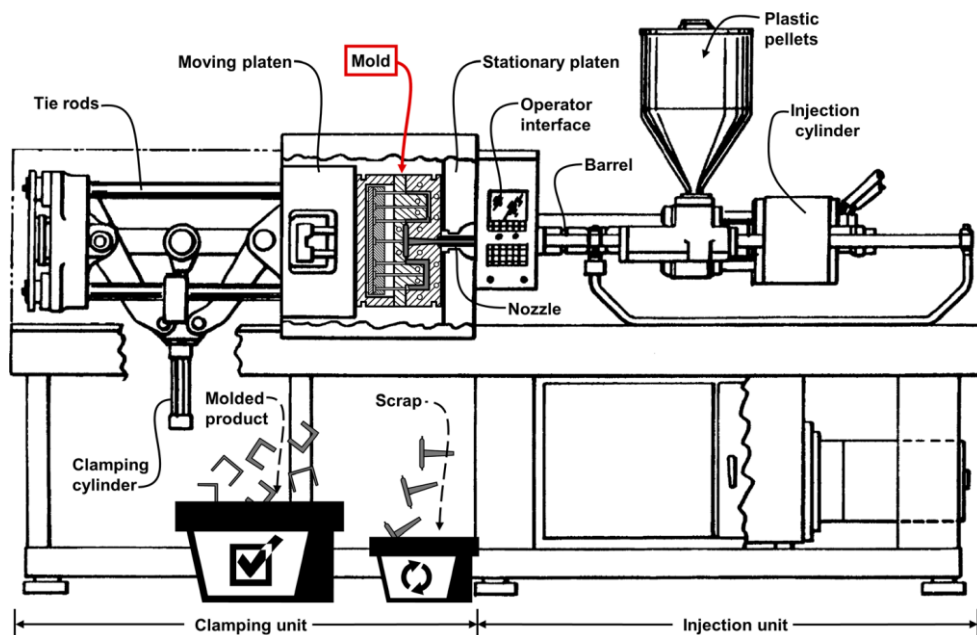
2 Úvod do vstřikování plastů

2.1 Technologie vstřikování plastů

Historie technologie vstřikování plastů sahá do roku 1870, kdy si v USA dva bratři John Wesley a Isiah Hyattovi nechali patentovat první termoplast (celuloid). Na zpracování tohoto materiálu postavili bratři Hyattové zařízení sestávající z parou vytápěného válce s hydraulickým pístem a tryskou, umístěnou kolmo na osu válce a dosedající na dvoudílnou ocelovou formu, která byla uzavírána druhým hydraulickým válcem. Vtok byl veden přímo do dělicí roviny formy. Na tomto stroji byly vyrobeny první vstřiky: nitrátem celulózy byly obštrikované kovové přezky určené pro potřebu americké armády a dřevěná jádra štětek na holení. Hlavní rozmach vstřikování plastů nastal po 1. světové válce. [4]

Vstřikování je metoda určená pro sériovou výrobu a je často upřednostňováno před jinými procesy, neboť umožňuje ekonomicky a ve velmi přesných tolerancích (až 0,02 mm) vyrábět složité součástky. Vstřikování je definovatelné jako takový způsob zpracování plastů a kompozitů, při kterém je potřebná dávka roztaveného materiálu vstříknuta pomocí šneku nebo pístu velkou rychlostí z plastikační (tavicí) komory do uzavřené dutiny kovové vstřikovací formy, kde v důsledku odvodu tepla (chlazení) ztuhne v konečný výrobek. Plastikační komora je přitom součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu (taveniny plastu) se v ní během výrobního cyklu neustále doplňuje.

Princip technologie vstřikování je následující: plast (nejčastěji v podobě granulí), recyklát nebo regranulát je umístěn do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory. Zde za současného působení tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a získá její tvar a objem. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a postupným ochlazováním ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře, výrobek je vyhozen a celý výrobní proces se cyklicky opakuje. Forma je při výrobě vložena a upnutá mezi pevnou a vyhazovací deskou (viz obrázek č. 1).



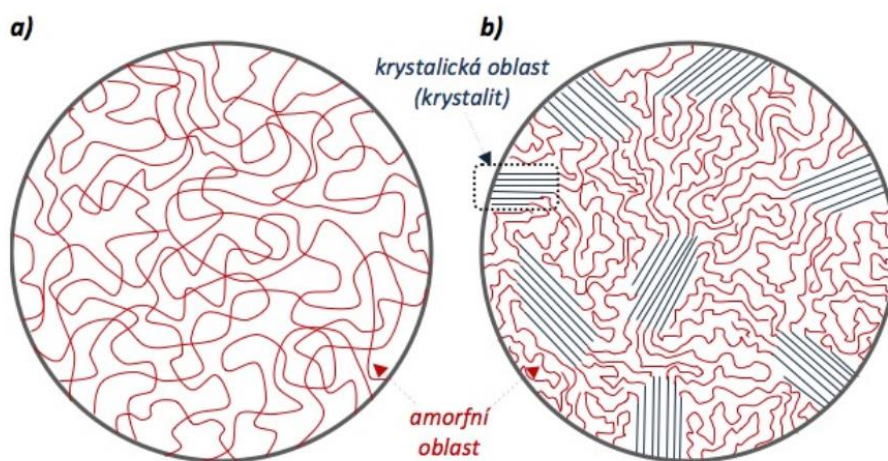
Obrázek 1 – Vstřikovací stroj s formou. [6]

2.2 Plasty

Plasty jsou materiály založené na makromolekulárních látkách neboli polymerech. Tlakem a teplem je lze tvářet a tvarovat, tedy měnit jejich formu a tvar.

Jedno ze základních dělení plastů je podle nadmolekulární struktury (morfologie), a to na amorfní a semikrystalické:

- Amorfní (náhodné, nepravidelné uspořádání) – Makromolekuly zůstávají náhodnými klubky, která mohou být vzájemně propletena (viz obr. 2a).
- Semikrystalické (částečné uspořádání) – Makromolekuly vytváří oblasti uspořádaných makromolekul (tzv. krystality), které jsou obklopeny makromolekulami v neuspořádaném amorfním stavu (viz obr. 2b). Tomuto procesu, který probíhá především ve fázi chlazení taveniny (při zpracování polymeru, například ve vstřikovací formě), říkáme krystalizace. [8]



Obrázek 2 – Schéma nadmolekulární struktury polymerů a) amorfní; b) semikrystalické. [8]

amorfni	semikrystalické	amorfni nebo semikrystalické
ABS	POM	PI
PMMA	CA,CP	PVDF
PC	PA	PET
CEI	PBT	PVDC
PS	LCP	PPS
Polysulfon	PEEK	
PPO	PP	
PVC	PTFE	
	PEEK	
	PPA	

Tabulka 1 – Rozdělení plastů podle nadmolekulární struktury.

2.3 Vstřikovací formy

Vstřikovací forma je nejdůležitější nástroj pro výrobu plastových výlisků. Její hlavní funkcí je doprava roztaveného polymeru do dutiny formy a její naplnění. Takže dutina formy má být zcela naplněna, tak aby vytvořila plastovou součást, jejíž tvar replikuje dutiny formy. Druhou funkcí formy je efektivní přenos tepla od horké polymerní taveniny k chladicí kapalině protékající formou, díky tomu mohou být výlisky vyrobeny tak rychle. A třetí funkcí formy je vysunout výlisek z formy účinně a konzistentním způsobem, aniž by docházelo k nadměrnému namáhání výlisků, proto je konstrukce a výroba tak náročná na odborné znalosti a na finanční náklady.

Volba materiálu formy především závisí na druhu zpracovávaného plastu, na velikosti výlisku a jeho složitosti, na velikosti série ale i na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, na požadované rychlosti cyklu vstřikování i na interních pravidlech jednotlivých nástrojářen. Hlavní faktor životnosti nástroje je provedené tepelné zpracování na tvarových částech. Pro konstrukci forem je dále významné stanovování rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující tolerance jednotlivých rozměrů výlisku, smrštění a opotřebení činných částí nástroje. [7]

Forma musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výrobky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výrobku z formy a pracovat automaticky po celou dobu své životnosti bez zásadnějších oprav, jen s klasickou údržbou.

Části forem jsou z velké části ze standardizovaných dílů, jejichž výrobou se zabývá celá řada firem jako například Meusburger, DME, Hasco apod. Normy přispívají k rychlejší a levnější výrobě forem.

Formy se mohou dělit podle rozličných kritérií, a to například podle:

a. počtu vstřikovaných materiálů:

- jednokomponentní,
- dvoukomponentní,
- vícekomponentní;

b. typu vstřikovaného materiálu:

- termoplasty,
- elastomery,
- reaktoplasty;

c. násobnosti kavit:

- jednonásobné,
- dvojnásobné,
- čtyřnásobné,
- vícenásobné;

d. konstrukce:

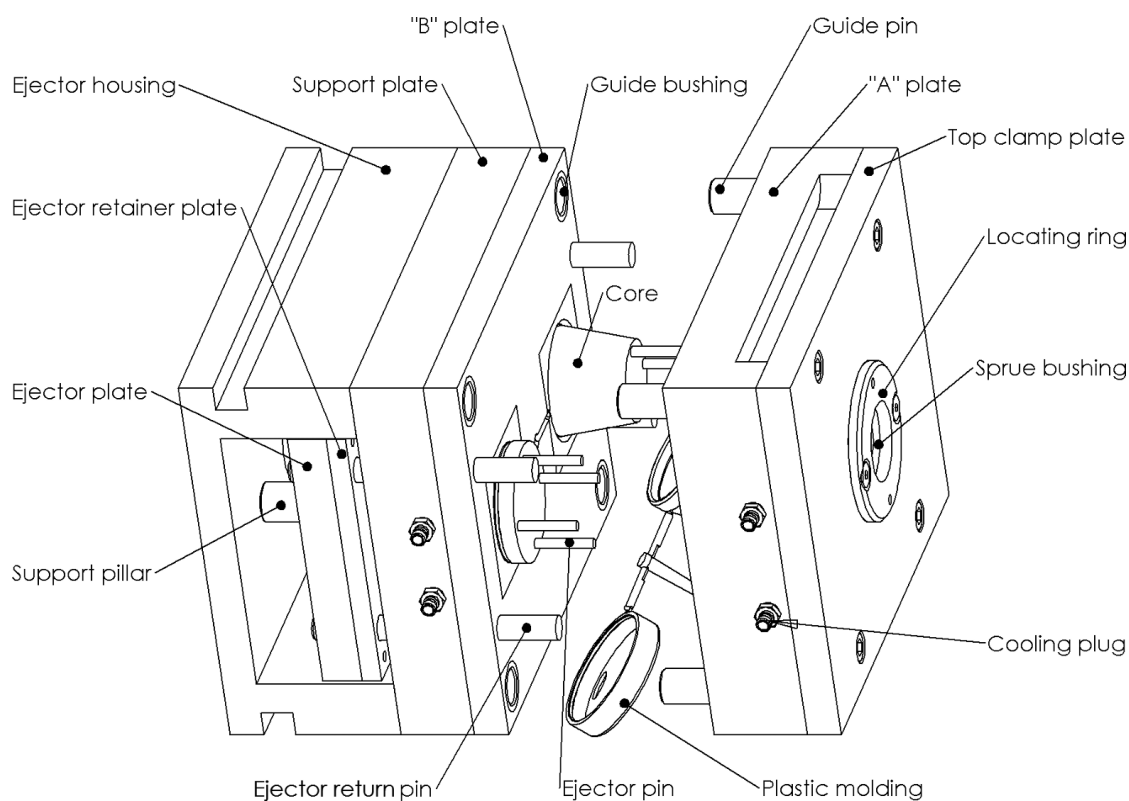
- jednoduché,
- čelistové,
- s výsuvnými jádry,
- vyšroubovací,
- etážové.

2.3.1 Části vstřikovací formy

Vstřikovací forma má dvě základní části, a to dýzovou (pevnou) a vyhazovací (pohyblivou). Dýzová strana formy je připevněna na nepohyblivou část stroje, ve které dochází k plnění dutin formy plastem. Naopak vyhazovací strana formy je připevněna na pohyblivé části vstřikovacího stroje a slouží k odformování a vyhození hotového výlisku.

Nástroj se skládá z dílů vymezujících tvarovou dutinu formy – z chladicího (temparačního), vtokového a vyhazovacího systému a z upínacích a vodicích elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.

Pevná upínací deska a pohyblivá deska slouží k upnutí obou částí formy na vstřikovací stroj, a to buď pomocí šroubů, upínek nebo magnetu. Desky „A“, „B“ a „C“ slouží k vytvoření dutiny, která formuje vstřikovaný díl.



Obrázek 3 – Schéma vstřikovací formy. [5]

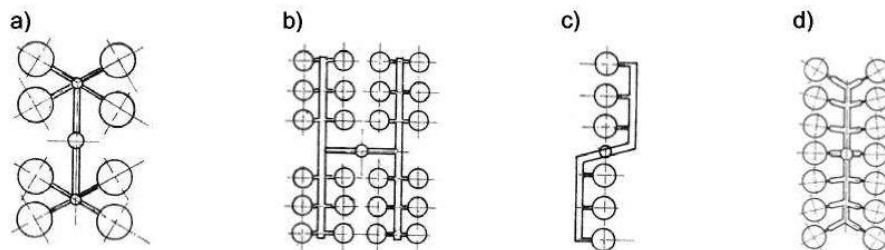
Konstrukce formy přímo určuje kvalitu lisovaného dílu a produktivitu lisování. Forma je sama o sobě komplexním systémem složeným z mnoha komponent, které jsou vystaveny mnoha teplotním cyklům.

U návrhu forem je jedním z hlavních faktorů určení potřebné kvality formy. Nižší náklady na formu většinou vedou k nižší kvalitě výrobků, menší životnosti formy nebo neefektivnímu vstřikovacímu procesu. Konstrukteři by se měli snažit navrhnout vstřikovací formy, které jsou ideální pro požadavek zákazníka jak z kvalitativní stránky, tak i z počtu plánovaných výlisků pro danou

formu. Z toho plyne, že by forma měla vyrábět vylisky požadované kvality s minimálními náklady na životní cyklus, a tedy s vložením co nejmenšího množství času a peněz.

2.3.2 Vtoková soustava

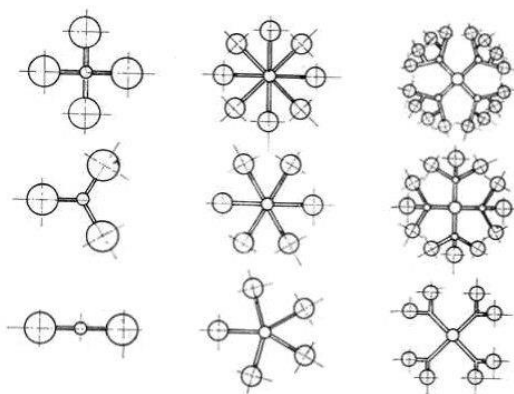
Vtoková soustava je jednou z nejdůležitějších částí nástroje a jeho konstrukce. Společně s technologickými parametry a reologickými vlastnostmi materiálu určuje vtokové poměry při plnění formy a je tak důležitým článkem z hlediska kvality vstříku.



ŘADOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

a) se stejnou délkou toku taveniny

b), c), d) s nerovnou délkou toku taveniny (nevhodné bez korekce ústí vtoku)



SYMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

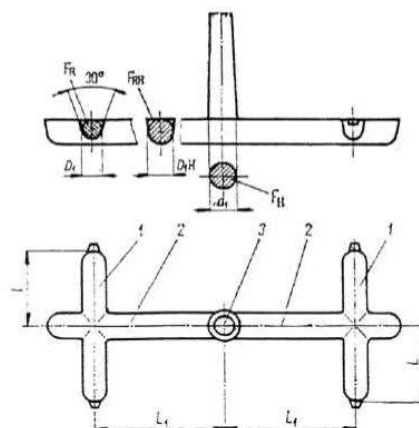


SCHÉMA SOUSTAVY ROZVÁDĚCÍCH KANÁLŮ

1- vedlejší, 2- hlavní,
3- vtokový kužel

Obrázek 4 – Vtoková soustava. [7]

2.3.3 Vyhazovací systém forem

Při ochlazování se vylisky smršťují a pevně ulpívají na stěnách tvarovacích částí vstřikovacích forem. K vyhození vylisku a vtokového systému z formy ven slouží tzv. vyhazovací systém. Vyhazovací systém musí vylisek vysouvat pokud možno rovnoměrně – tak, aby se zamezilo přičení plastu a tím vzniku trvalých deformací nebo poškození.

V některých případech lze vyhazovače využít také k výrobě funkčních dutin nebo jako části tvárníku.

Vyhazovače mají kromě toho vliv také na odvzdušnění formy – díky správnému umístění vyhazovačů se může předejít spáleninám na plastovém dílu.

Aby odformování proběhlo správně, musí být vyhazovací systém schopný vytvořit dostatečně velkou vyhazovací sílu. Velikost vyhazovací síly pak závisí na:

- velikosti smrštění,
- technologických podmínkách vstřikování (tlak, teplota plastu a formy, doba chlazení),
- pružné deformaci formy. [17]

Nejčastější způsob vyhazování výstřiků je mechanický princip fungující buď za pomoci vyhazovacích kolíků, nebo stíracích desek, stíracích kroužků apod. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují. [17]

Vyhazovací kolíky, tzv. vyhazovače, jsou nejčastější a nejlevnější způsob, pomocí kterého lze odformovat díl. Používají se všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výlisku ve směru vyhození. Vyhazovače jsou obvykle válcové. Jejich uložení ve formě bývá nejčastěji v toleranci H7/g6. Tímto uložení se získá dostatečná vůle, která zajistí odvzdušnění formy a zároveň zamezí vzniku zástřiku na plastu. [17]

2.3.4 Hlavní materiály pro konstrukci forem

Zvolení vhodného materiálu může výrazně ovlivnit životnost formy, kvalitu výlisku, rychlost vstřikovacího cyklu, náročnost výroby formy a částečně i celkovou cenu formy. Proto je velmi důležité volit vhodné materiály s ohledem na požadavky zákazníka.

Jako základní materiál pro formy se používají oceli nástrojové, cementační a legované. Důležitým hlediskem u ocelí je její tepelné zpracování na funkčních a tvarových částech formy, které při špatném provedení znehodnocuje celý nástroj a způsobuje velké problémy při vstřikování a údržbě.

Mimo oceli se pro výrobu nástrojů používají jiné materiály, například hliníkové slitiny, měď, mosaz apod. Přehled nejobvyklejších materiálů podává Tabulka 2:

číslo materiálu	označení dle ČSN	pevnost [N/mm ²]	charakteristika	použití
1.1730	19083	640	Nástrojová ocel nelegovaná kalitelná plamenem	nekalené díly pro nástrojařinu a výrobu přípravků, popř. pro desky, rámy forem a sloupkové stojánky
1.2083	-	720	Prokalitelná ocel odolná proti korozi, vysoce legovaná	tvarové desky a vložky pro zpracování plastických hmot, převážně při zpracování plastických hmot s korodujícím účinkem
1.2085	~ 19436	1080	Nástrojová ocel předzušlechtěná, odolná proti korozi, dobře obrobitelná, vysoce legovaná	desky pro rámy forem a sloupkové stojánky odolné proti korozi, formy ke zpracování plastických hmot s korodujícím účinkem
1.2311	19520	1080	Nástrojová ocel legovaná a zušlechtěná, speciálně vhodná k nitridování, velmi dobře leštitelná	tvarové desky, vložky, vysoce pevné strojírenské d
1.2343	19552	780	Ocel pro práci za tepla vysoce legovaná	tvarové desky a tvarové vložky pro vstřikovací formy
1.2379	19573	850	Prokalitelná ocel ocel odolná proti opotřebení, pro práci za studena	tvarové desky a tvarové vložky, stejně jako opěrné a střížné desky s vyšší odolností proti opotřebení
1.2714 HH	19663	1320 (≈ 42 HRC)	Prokalitelná ocel zušlechtěná, dobrá žárupevnost a houževnatost	tvarové desky, jádra a šibry pro formy pro vstřikovací formy
1.2738	-	1080	Nástrojová ocel zušlechtěná, s rovnoměrnou pevností u velkých rozměrů, leštitelná a nitridovatelná	velké tvarové desky s hlubokými kavitami, nárazníky, přístrojové desky
1.2842	19313	760	Prokalitelná ocel rozměrově stálá při vysoké kalitelnosti do příčného řezu ≤ 40 mm, ocel pro práci za studena, odolná proti opotřebení	tvarové desky, vložky pro abrazivní zatížení, střížníky, opěrné, střížné a vodící desky, vodící lišty
1.7131	14220	600	Cementační ocel legovaná	vodící díly, jádra vložek a strojní dí

Tabulka 2 – Nejpoužívanější materiály při výrobě forem. [10]

Současně je velmi důležité zvolené tepelně-chemické zpracování těchto materiálů. Použitím různých povlaků můžeme docílit požadovaných vlastností.

3 CAD/CAM systémy

CAD je anglická zkratka pro Computer-Aided design tj. počítačem podporované navrhování. Jde o způsob zachování a sdílení přesně daných vektorů a ploch ve 2D nebo ve 3D a jiných metadat (barva, vlastnost materiálu aj.) napříč systémovou platformou. Každý velký výrobce CAD programů má svůj vlastní formát souboru. CAD systémy lze nalézt napříč obory a v dnešní době mají široké spektrum využití.

Historie CAD se datuje do 60. let, kdy se poprvé objevil na velkých sálových počítačích ve formě jednoduchého 2D provedení. 2D konstruování je dodnes hojně používaný způsob, asi nejznámějším zástupcem tohoto typu je program AutoCAD. Systémy CAD se postupně vyvíjely, až na konci 80. let nastal jejich největší rozmach v podobě nového způsobu parametrického konstruování ve 3D. Tento nový princip modelování pak přejali i jiní vývojáři CAD programů a dnes jsou známy například programy Solid Works, Autodesk Inventor, PTC Creo, Siemens aj., z nichž každý je zaměřen na tu oblast průmyslu, kde nejvíce excelují a usnadňují práci konstruktérům.

V dnešní době jsou 3D CAD data nejvíce spojována s aditivním způsobem výroby, od domácího kutilství, přes modelářství, designerství až po profesionální použití v leteckém nebo raketovém průmyslu. Další úzce propojené užívání je v konvenčním způsobu obrábění (třískové obrábění, kdy dochází k odebírání materiálu). K tomuto účelu se používají CAM systémy.

CAM je anglická zkratka pro Computer-Aided manufacturing, tj. počítačem podporované obrábění. Obecně lze říci, že se jedná o způsob, jak převést virtuální data (vektory a plochy) do fyzické podoby pomocí obrábění, tedy odebíráním, nebo naopak přidáváním materiálu. CAM umožňuje automatizaci výroby, její zpřesnění a odstranění většího počtu zmetkovosti. Nejčastěji se dosahuje CNC technologií (Computer Numerical Control), což jsou obráběcí stroje využívající počítač. CAM úzce souvisí s CAD, oba systémy se navzájem propojují. Účelem CAM je použít CAD data a převést je na G kód, nebo jiný typ kódu srozumitelný pro stroj. CAM přitom vygeneruje trasy pro obráběcí nástroj a určí jeho vlastnosti při procesu obrábění. Jako příklady využití CAM lze vyjmenovat CNC různého typu a zaměření, například číslicově řízený soustruh nebo frézku, drátové řezačky, vyjiskřovací stroje, nebo v poslední době velmi populární aditivní výrobu. Tyto stroje se liší pouze v počtu užitých os a poloos, technologiích a jiných funkcích.

K největšímu rozmachu těchto technologií došlo v nedávné době v domácím prostředí, a to díky užíváním 3D tiskáren, nejčastěji fungujících na FFF principu, kdy program rozdělí objekt na půdorysné řezy o velmi malé tloušťce. Ty se pak danou technologií vrstvu po vrstvě přenesou do reálu. Takto mohou jednoduše vznikat velmi složité plastové prototypy, stejně jako i finální výrobky – napříč obory a při používání různých materiálů. Ve srovnání s konvenčním obráběním se v jistých ohledech pro kusovou, nebo malosériovou výrobu jedná o velmi dobrou náhradu, jejíž výhodou je úspora materiálu, času výroby i ceny výrobku.

Z moderního pohledu je CAM i CAD velmi široký pojem a nelze jej omezit pouze na určité příklady. Systémy se neustále vyvíjejí a dochází k inovacím a novým trendům, ruku v ruce s vývojem počítačů a automatizace. S postupem času se od dob, kdy se používaly velké sálové počítače, přes PC pracovní stanice přesouváme k modernímu pojetí CAD i CAM. Tím je myšlenka používání málo výkonných stanic pro běh těchto systémů skrze prohlížeč nebo tenký klient. V tomto směru se CAD/CAM spouští takzvaně v cloudu, kdy je použit výkon vzdálených serverů. To umožňuje spouštět velmi náročné úlohy na dálku, bez nutnosti nákupu drahých počítačových komponent. Výhody tohoto

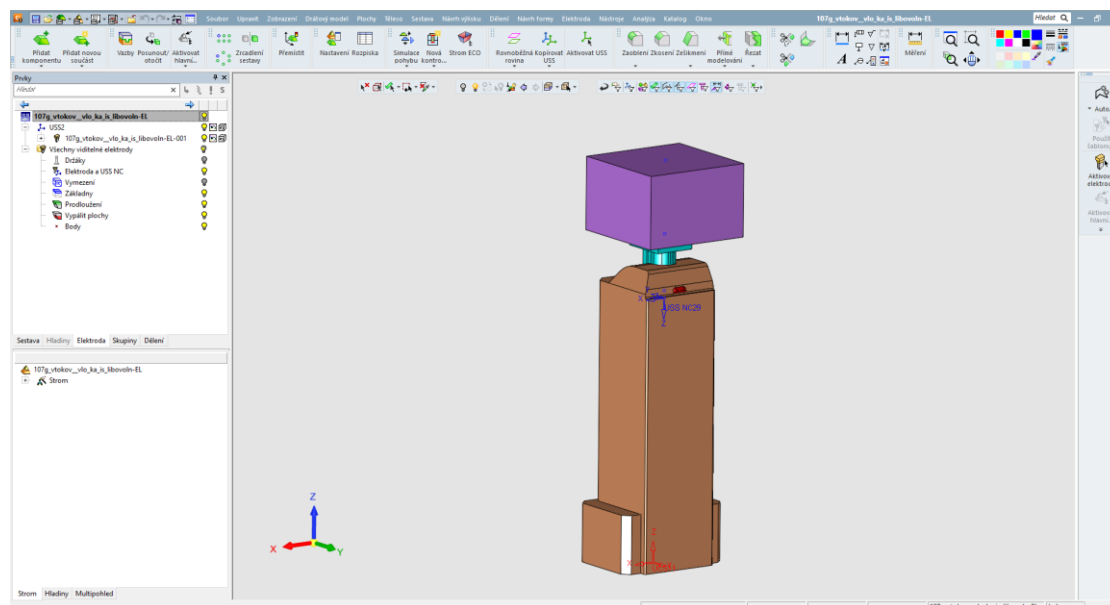
řešení jsou rychlý vývoj nebo možnost pronájmu jen na určitý čas. Jako příklad zmíněné cloud aplikace lze uvést Fusion 360.

Výrobci CAD systémů	Konstrukční jádro	Formát modelu	Formát sestavy
Autodesk: Inventor	ACIS/SAT	*.ipt	*.iam
Cimatron: CimatronE	ACIS/SAT	*.elt	*.elt
Vero software: VISI	Parasolid	*.wkf	*.wkf
Dassault Systèmes S.A.: SolidWorks	Parasolid	*.sldprt	*.sldasm
Siemens PLM Software: NX Unigraphics	Parasolid	*.prt	*.prt
Siemens PLM Software: Solid Edge	Parasolid	*.par	*.asm
PTC, Product Development Company: Pro/E	GRANITE	*.prt	*.asm
Dassault Systèmes: CATIA V5, V6	CATIA kernel	*.CATPart	*.CATProduct

Tabulka 3 – Přehled systémů a jejich konstrukčních jader.

3.1 Cimatron E

Společnost byla založena v roce 1982 jako MicroCAD, své první softwarové produkty Multicadd a Multicam uvolnila v roce 1984 pro použití v malých až středně velkých nástrojárnách. V roce 1987 firma změnila svůj název na Cimatron. V roce 1990 byl na trh uveden Cimatron IT, o kterém společnost prohlašovala, že je prvním integrovaným CAD/CAM softwarem na světě. V roce 1999 společnost Cimatron uvedla na trh produkt pro Windows nazvaný CimatronE. V lednu 2008 se společnost Cimatron spojila s americkou CNC obráběcí softwarovou společností Gibbs and Associates. [11]



Obrázek 5 – Pracovní prostředí programu CimatronE 13.

3.2 SolidWorks

Dassault Systèmes je evropská softwarová společnost sídlící ve Vélizy-Villacoublay ve Francii. Společnost vyvíjí softwarové aplikace určené pro Product Lifecycle Management (PLM), česky řízení

životního cyklu výrobku, určené 11 odvětvím. Na trhu působí od roku 1981. Dassault Systèmes nabízí trojrozměrnou vizi celého životního cyklu produktu včetně návrhu, testování, údržby a recyklace. [12]

Dassault Systèmes je dceřinou společností Dassault Group založené v roce 1981 firmou Avions Marcel Dassault, která vyvinula novou generaci počítačového CAD systému CATIA. [12]

SolidWorks Corporation byla založena v roce 1993 Jonem Hirschtickem, se sídlem v Concord, Massachusetts. Svůj první produkt, SOLIDWORKS 95, vydala v roce 1995. V roce 1997 byla společnost SOLIDWORKS zakoupena společností Dassault Systèmes (známá jako výrobce CAD softwaru CATIA), která je nyní vlastníkem 100 % jejích akcií. [13]

CAMWorks je k dispozici pro obráběcí centra, soustružení, frézování a drátové aplikace EDM. Pro Solidworks je plně integrovaný a zároveň patří mezi tzv. „GOLD PARTNER“.

CAMWorks byl poprvé představený firmou Geometric Americas Inc. v roce 1997. Již v roce 1984 ovšem společnost vydala svůj první software ProCAD/CAM. 2018 se Geometric Americas spojila s HCL Technologies a přejmenovala se na HCL Tech.

3.3 VISI

VISI je CAD/CAM software pro vstřikovací formy, střížné postupové nástroje a všechny druhy NC obrábění.

VISI patří anglické firmě Vero Software. Ta byla založena v roce 1997 pod názvem Deepcredit Limited, avšak před uvedením na londýnskou burzu v roce 1998 byla přejmenována na VI Group Plc. V říjnu 2007 byla společnost přejmenována na Vero Software. V roce 2008 se společnost Vero Software Plc a její britské dceřiné společnosti Vero UK Limited a Camtek Limited z předchozího sídla v Stroudu přestěhovaly do kombinovaného zařízení ve městě Cheltenham v Gloucestershiru. [14]

Společnost Vero Software vyvíjí a distribuuje software na podporu konstrukčních a výrobních procesů a poskytuje řešení pro obrábění, výrobní inženýrství, výrobu kovů, kamenický a dřevozpracující průmysl. Značky společnosti zahrnují Alphacam, Cabinet Vision, Edgecam, obrábění STRATEGIST, PEPS, Radan, SMIRT, SURFCAM, VISI a WorkNC spolu s výrobním řízením MRP systému Javelin. [14]

3.4 NX CAD/CAM

Prvním komerčně vyvinutím software byl v roce 1969 UNIAPT společnosti United Computing. UNIAPT byl jedním z prvních CAM systémů. V roce 1973 společnost zakoupila softwarový kód ADAM (Automated Drafting and Machining) od společnosti MGS. Ten se stal základem produktu s názvem UNI-GRAPHICS, později v roce 1975 prodávaného pod názvem Unigraphics. [15]

Siemens NX (dříve Unigraphics) je CAD/CAM/CAE program určený pro konstrukci a výrobu. Umožňuje provést ideový návrh, výpočty, simulace a analýzy, modelování jednotlivých dílů i celých sestav, tvorbu výkresové dokumentace, programování NC obráběcích a měřících strojů, simulaci obrábění, kontrolu kvality, správu dat a projektů a integraci do podnikového informačního systému. [15]

4 Hlavní technologie používané při výrobě forem

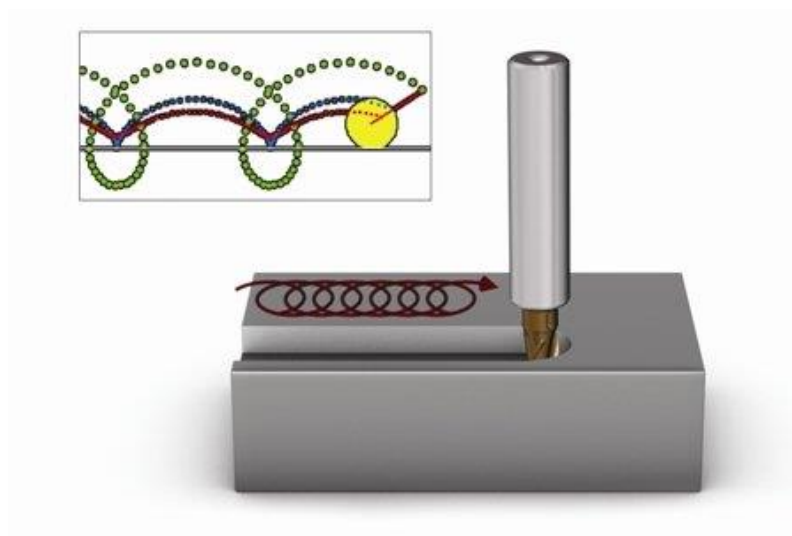
4.1 Konvenční obrábění

4.1.1 Obrábění velmi tvrdých materiálů

V dnešní době je stále větší důraz kladen na efektivitu výroby, a proto se přechází při obrábění tvrdých materiálů z technologie EDM na třískové obrábění.

Vysokorychlostní frézování (HSC – High Speed Cutting) se liší od klasického frézování podstatně většími rychlostmi, a to pětkrát až desetkrát. Dalším specifickým je malá radiální hloubka řezu ap u stopkových fréz. Pomocí HSC frézování lze v závislosti na nástroji obrábět materiál s tvrdostí 46 až 68 HRC.[9]

Dalším přístupem k obrábění tvrdých materiálů je obrábění pomocí trochoidní strategie. Trochoidní frézování je od přelomu 21. století rozvíjeno za účelem optimalizace možností využití monolitních karbidových fréz a lze je využívat u většiny typů nástrojů. Původně byla tato strategie vyvinuta s cílem optimalizovat využití monolitních karbidových fréz při obrábění součástí z tvrdého materiálu (s tvrdostí nad 45 HRC). Hlavní zásadou pro úspěšné obrábění tvrdých materiálů je lepší kontrola vzniku tepla. Množství tepla lze omezit na přijatelnou úroveň snížením úhlu záběru nástroje.[18]



Obrázek 6 – Trochoidní křivka.[18]

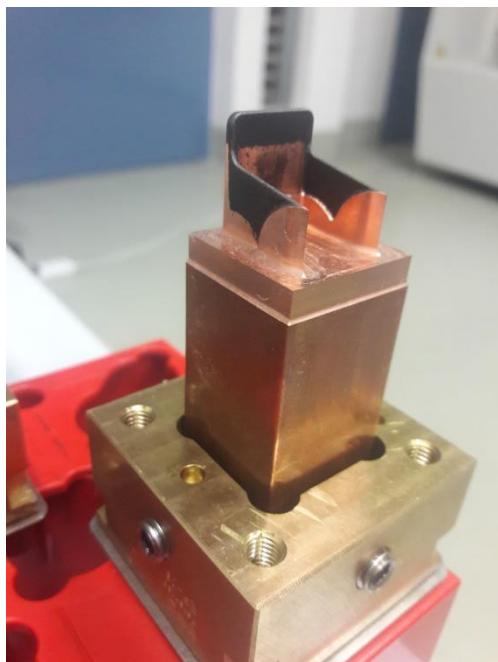
V poslední době se vyvíjejí také monolitní závitovací frézy, které dokážou vytvořit závit bez předvrtaného otvoru až do tvrdosti 66 HRC při hloubce závitu 5D.

4.1.2 Obrábění elektrod

Elektrody se používají pro elektroerozivní obrábění na tvary, které nelze vyrobit konvenčními způsoby obrábění, a to kvůli tvaru nebo tvrdosti materiálu, který se má upravit. Hlavními materiály pro výrobu elektrod jsou grafit a měď.

Výroba grafitových elektrod je velmi specifickou záležitostí týkající se téměř výhradně firem vyrábějících formy, jelikož jsou spojeny s nutností hermeticky uzavřeného frézovacího prostoru s

výkonným odsáváním a filtrací prachových částic (ideální je pak tento prostor řešit jako podtlakový). Výroba probíhá většinou na 3osých centrech, jen velmi zřídka na centrech 5osých. V posledních letech se začíná pomalu prosazovat obrábění grafitu na mokro, a to z důvodu větší univerzálnosti obráběcího stroje.



Obrázek 7 – Opálená měděná elektroda.

4.1.3 Obrábění dlouhých děr

Pojmem obrábění hlubokých děr je označováno obrábění děr hlubších, než je desetinásobek průměru díry. K tomu lze využít různé uspořádání a nastavení obráběcího stroje. Nejrozšířenější je způsob, kdy rotační pohyb vykonává obrobek, zatímco stacionární nástroj je veden po přímé dráze. Další alternativy jsou rotující nástroj a stacionární obrobek nebo kombinace obou metod s rotujícím nástrojem i obrobkem. [19]

Hluboké vrtání se provádí speciálními, většinou jednobřitými nástroji se dvěma vodícími lištami, a to do plného materiálu. Vrtací hlava je nasazena na válcové stopce, ve které je vyválnovaná drážka. Stopka má menší průměr než vyvrtávaný otvor, ve kterém je vodícími lištami středěn břit. Řezná kapalina proudí pod velkým tlakem dvěma otvory vrtáku a vyplavuje třísky drážkou stopky ven. Tyto vrtáky s jednou podélnou drážkou se nazývají dělové vrtáky. [9]

4.1.4 Broušení

Broušení je proces, s jehož pomocí lze obrábět tvrdé materiály na přesnější rozměr a s lepším výsledným povrchem než pomocí frézování nebo soustružení. Zároveň se takto dají opracovávat také velmi tvrdé materiály.

Známe mnoho druhů brousicích nástrojů – brusné kotouče, brousicí a obtahovací kameny, brousicí tělíska a brusné šneky. Těleso nástroje je tvořeno brusnými zrní a pojivem.[9]

Podobně existuje několik způsobů broušení: rovinné broušení, kyvadlové a hluboké broušení či broušení rotačních ploch.

4.2 Nekonvenční obrábění

4.2.1 Elektroerozivní hloubení

Elektroerozivní hloubení patří mezi velmi specifické EDM technologie, týkající se především firem vyrábějících formy.

Jsou založeny na mechanismu, kdy při vzájemném přiblížení se obrobku a nástroje (elektrody), na něž je přivedeno elektrické napětí, vzniká elektrický výboj, čímž dojde k roztavení mikroskopických částeczek materiálu obrobku a díky jejich následnému vyplavení a odstranění z prostoru obrábění dochází k dělení nebo opracování obrobku do požadovaného tvaru či rozměru. [5]

Pro výrobu elektrod se využívá především měď a grafit. V počátcích hloubení se elektrody vyráběly výhradně z mědi. Na výrobu elektrod z grafitu se přešlo až o třicet let později, a to hned z několika důvodů. Grafit má nižší tepelnou roztažnost, díky čemuž je výroba přesnější, a také umožňuje výrobu tenkých žeber, které by z mědi nebylo možné vyrobit. Dále umožňuje vyšší řeznou rychlost při obrábění a menší opal při velkých jiskřených plochách. Zároveň má ale grafit oproti mědi i své nevýhody. Pro výrobu grafitových elektrod jsou zapotřebí specifická obráběcí centra, jejichž požadavkem je hermeticky uzavřený frézovací prostor s výkonným odsáváním a filtrací prachových částic; v ideálním případě je tento prostor řešen jako podtlakový. Toto platí při obrábění grafitu za sucha, u kterého je velkou nevýhodou právě to, že je stroj „suchý“ a nemůže se na něm obrábět pod chladicí emulzí. Rozmáhá se však nový trend obrábění grafitu na mokro, který již tento problém nemá. Tuto variantu ale zatím využívá jen hrstka firem, a to především v Německu.

Jelikož hloubička jiskří jen ve směru Z a natáčí se ve směru C, jsou všechny elektrody vyrobitelné na 3osém obráběcím centru. Z tohoto důvodu se u tohoto způsobu výroby téměř nevyužívají centra 5osá.



Obrázek 8 – Elektroerozivní hloubička.

4.2.2 Elektroerozivní drátové řezání

Nedílnou součástí strojního zařízení pro výrobu forem je tzv. drátořez. Elektroerozivní drátové řezání (WEDM) funguje na podobném principu jako elektroerozivní hloubení technologie EDM, jen s tím rozdílem, že elektrodu tvoří měděný drát.

Drát má průměr od 0,02 mm do 0,3 mm (nejčastěji 0,25 mm) a je průběžně navinut na hnacím bubnu na cívce a v uzavřené smyčce prochází přes vodící kladky a obrobek. Nad obrobkem i pod obrobkem je vedení napínající dráty do požadované polohy. Řezání probíhá podobně jako u hloubení v dielektrické kapalině, pouze zde se jako dielektrikum využívá deionizovaná voda.[9]

Stroje pro drátové řezání jsou ovládány pomocí řídicího systému, který umožňuje řezání ve 2D a 4D. Programování probíhá buď přímo na stroji – pro vytváření programu pro jednoduché tvary – anebo pomocí CAC/CAM systému, který se využívá především pro programování složitějších tvarů, naprogramování můstků apod. Hlavní rozdíl mezi 2osým a 4osým drátovým řezáním je v tom, že ve 2osém řezu vykonává horní a spodní hlava tentýž pohyb (po stejné trajektorii), zatímco u 4osého řezu je pohyb horní a spodní hlavy řízen zvlášť (trajektorie horní a spodní hlavy jsou odlišné). Lze tak dosáhnout například tvaru kde je na horní základně obrys obdélníku a na spodní základně obrys kruhu.



Obrázek 9 – Elektroerozivní drátová vrtačka.

4.2.3 Elektroerozivní vrtání

Vrtání děr pomocí EDM vrtačky bylo navrženo speciálně pro rychlé a přesné vrtání malých a hlubokých děr. Malé otvory, které bylo kdysi téměř nemožné vrtat běžnými obráběcími nástroji, se nyní snadno provádějí. S možností vrtání prakticky jakéhokoliv vodivého materiálu se používání této technologie neustále rozšiřuje.

Základní části EDM vrtačky:

- pracovní stůl z ušlechtilé oceli;
- otáčející se vřeteno;
- vrtací sklíčidlo nebo kleštinový systém pro držení elektrod;
- keramické nebo diamantové vodítko;
- napájení;
- čerpadlo dielektrické kapaliny.

Proces elektroerozivního vrtání spočívá v použití přesné trubkové elektrody (mosazné nebo měděné) namontované do vrtacího sklíčidla umístěného na ose "Z" a držení na vrcholu obrobku keramickým vedením. Otáčení elektrody je zapnuto a deionizovaný vodný roztok, je poslán trubkovou elektrodou jako splachovací činidlo.

EDM vrtačky existují buď v ruční, nebo CNC variantě, u níž někteří výrobci nabízí i výměník elektrod.

5 Testování a výběr CAD/CAM systémů

5.1 Obecné srovnání

Na začátku srovnávací části této práce byl nejprve vytvořen souhrn CAD/CAM systémů dostupných na trhu (viz tabulka 4). Poté byl proveden výběr testovaných softwarů, a to na základě referencí od sesterských poboček firmy a od nástrojářen, se kterými firma spolupracuje – proto byly vybrány následující programy:

CimatronE, zastoupený firmou technology-support, s. r. o.; VISI, zastoupený firmou NEXNET, a. s.; SolidWorks, zastoupený firmou 3E Praha Engineering, a. s.; a NX CAD/CAM, zastoupený firmou AXIOM TECH, s. r. o.

Test každého softwaru probíhal v rámci jednodenního workshopu, který měl za cíl prověřit schopnosti jak programu, tak i technické podpory.

CAD systém	Firma	CAM systém	Firma
Solidworks	Dassault Systèmes	CAMWorks	Dassault Systèmes
CATIA	Dassault Systèmes	CATIA	Dassault Systèmes
NX CAD	Siemens PLM Software	NX CAM	Siemens PLM Software
Solid Edge	Siemens PLM Software		Siemens PLM Software
Inventor	Autodesk	HSM	Autodesk
		FeatureCAM	Autodesk
		PowerMill	Autodesk
		ArtCAM	Autodesk
VISI	vero software	VISI	vero software
		ALPHACAM	vero software
		EDGE CAM	vero software
		PEPS	vero software
		SURFCAM	vero software
		WorkNC	vero software
CimatronE	3D SYSTEMS	CimatronE	3DSYSTEMS
		GibbsCAM	3DSYSTEMS
		Geomagic	3DSYSTEMS
PTC Creo Elements/Pro	PTC	PTC CREO	PTC
		TEBIS	TEBIS
		Esprit	DP Technology
		Kovoprog	Peška & Brtna Computer Service
		MasterCAM	CNC Software
		SolidCAM	SolidCAM
		InventorCAM	SolidCAM
TopSolid	Missler Software	TopSolid	Missler Software
ZW3D	ZWCAD Software Co.	ZW3D	ZWCAD Software Co.
		SprutCAM	SPRUT Technology

Tabulka 4 – Přehled softwarů.

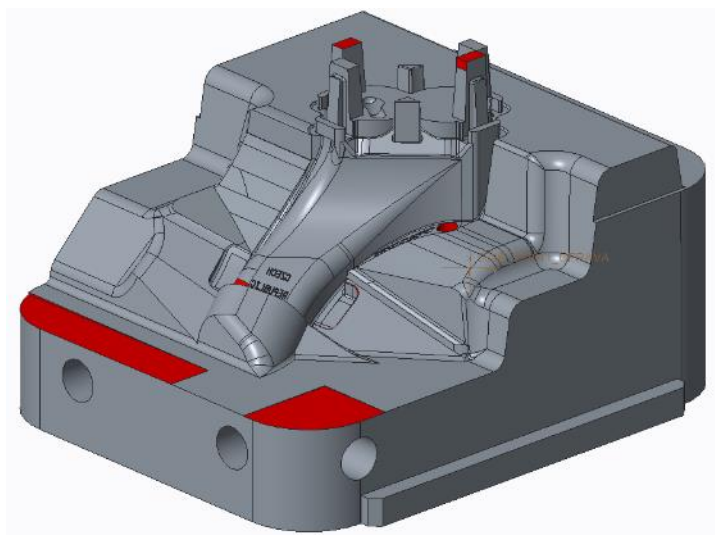
5.2 Workshop

Jak již bylo zmíněno, první testování proběhlo formou jednodenního workshopu, na který byli pozváni vybraní distributoři softwarů Cimatron, SolidWorks, VISI a NX. Workshop byl připraven tak, aby byly otestovány hlavní funkce programů na příkladech z praxe. Pro časový harmonogram a plán workshopu viz přílohu.

Testování bylo rozděleno na dvě fáze. První fáze byla zaměřená na CAD, kde se testovalo porovnávání modelů, návrh formy při zadaném výlisku, oprava poškozených dat a vytvoření modelu z mračna bodů. Druhá část byla věnována CAM a testovala se v ní konstrukce elektrod a programování elektrod, tvarové součásti a drátořezu.

5.2.1 Porovnání modelů

Pro porovnání modelů se využila tvárnice ze vstřikovací formy s relativně složitými tvary. Na této tvárnici byly provedeny takové změny, aby bylo možné co nejlépe prověřit software – zda a v jakém časovém intervalu odhalí všechny provedené úpravy. Změněné tvary jsou označeny červenou barvou, viz obrázek níže.



Obrázek 10 – Porovnávaná tvárnice.

Cimatron nepodporuje automatický bestfit, proto když modely nemají shodný souřadnicový systém, musí se jim nejdříve vytvořit. Program nabízí dva způsoby, jak porovnat modely. U první možnosti se zadá přesnost, s jakou se budou součásti porovnávat (nízká, střední a vysoká). U druhé metody přesnost nezadááme a srovnání nám přímo ukáže plochy, které jsou odlišné. Porovnávání zde proběhla vždy okamžitě bez jakéhokoliv čekání a odlišné plochy byly bez problému rozpoznány.

Ani v případě VISI nelze porovnávat dva modely, které mají odlišný souřadnicový systém. Přesnost porovnání se tu zadává počtem desetinných míst. Co se týče rychlosti, zde počítání trvalo tři minuty.

NX a SolidWorks také potřebovaly na srovnání stejný počátek modelů. Jejich výpočet trval o něco déle než v přechozích případech (cca 2 minuty).

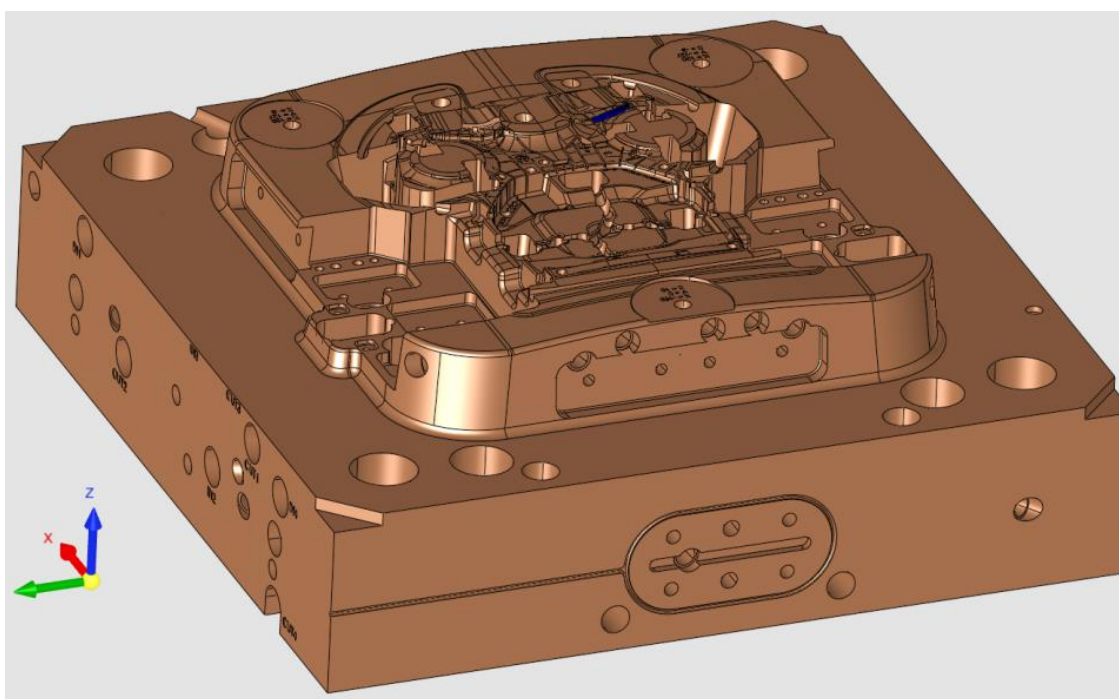
Všechny programy splnily úkol s podobnými obtížemi. Hlavní rozdíl zde proto představoval čas výpočtu srovnávaných modelů (tedy za předpokladu, že zanedbáme výkon pracovních stanic a

budeme u něho předpokládat, že byl podobný). Veškeré další informace k tomuto tématu jsou k nahlédnutí níže ve srovnávací tabulce.

5.2.2 Oprava poškozených dat

Jelikož existuje celá řada softwarů a každá firma používá jiný, jsou pro výměnu dat používány obecné formáty, které otevře každý program (například .STEP, .IGES apod.). Kvůli tomu při ukládání a načítání dat můžou vznikat chyby, které pak komplikují další práci na modelech. Toto téma je proto velmi důležité.

Test toho, jak programy naloží s poškozenými daty, probíhal na příkladu tvárníku uloženého ve formátu .STEP, který se exportoval z formátu .PRT v programu PTC Creo Parametric 3.0 M050.



Obrázek 11 – Tvárník.

Cimatron soubor otevřel bez chyby, i když se ukázalo, že ne všechny plochy byly na 100% v pořádku – CAD ale tyto chyby povolil. Program nenabízí automatickou opravu avšak je uzpůsobený pro práci s plochami, proto není velký problém v něm poškozená data opravovat. V případech, kde se nemusí pracovat s poškozenou částí dat, není problém pracovat s neuzavřeným modelem.

Při načítání součástky v SolidWorksu se objevilo 20 chybných ploch a 6 mezer. Po použití automatického doktora byly odstraněny mezery a opravilo se 19 ploch. Automatický doktor opravoval data zhruba 3 minuty. V ruční opravě ploch nenastal žádný problém.

Program NX úkol zvládl velmi dobře. Soubor otevřel s jedinou chybou, kterou posléze opravil pomocí automatické opravy za jednu minutu.

VISI daný model otevřelo se třemi chybami (vrcholy hran se nedotýkaly). Automatická oprava, která se použila, nebyla úspěšná a chyby se musely upravit ručně.

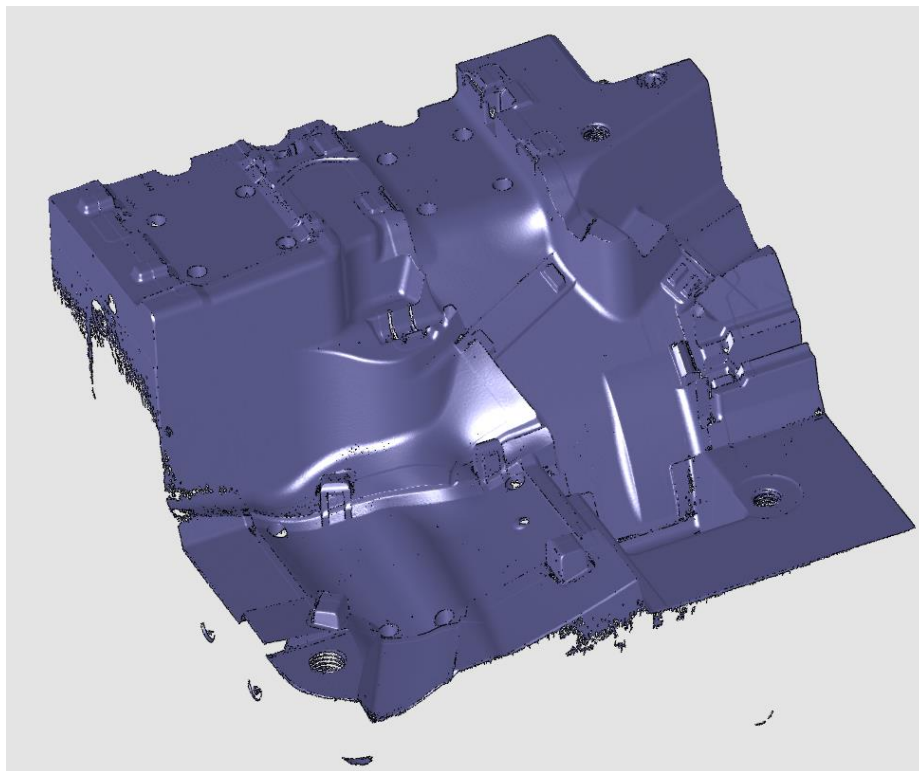
5.2.3 Vytvoření geometricky čistých ploch z naskenovaných ploch

Tento bod programu nebyl zásadní, proto se mu nevěnovala taková pozornost a nepřidávala taková váha.

Pro test práce s daty ve formátu .STL byly použity dva modely, a to vtokový přepínač, který byl exportována z formátu .STEP do .STL, a tvárnice, která byla naskenovaná na 3D scanneru.



Obrázek 12 – Vtokový přepínač.



Obrázek 13 – Naskenovaná tvárnice.

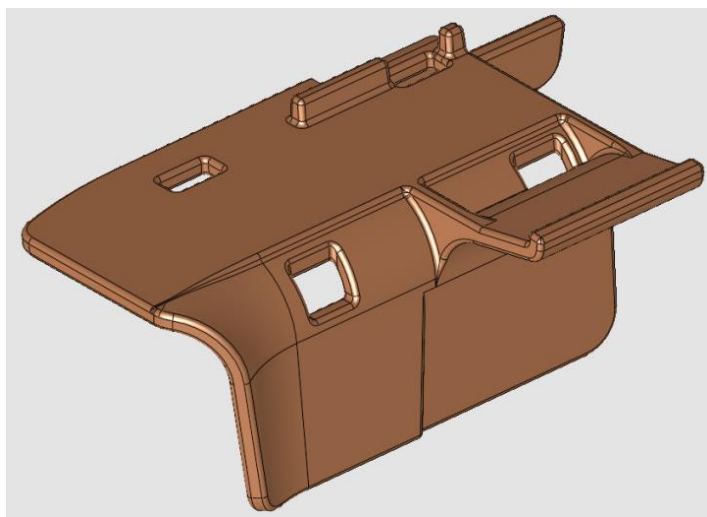
Tento test byl úplně vynechán u Cimatronu, jelikož program úpravy plochy ve formátu .STL nepodporuje. (V nové verzi, která byla vydána po workshopu byly přidány funkce částečně podporující práci s .STL daty.)

Solidwoks disponuje nástroji pro práci s .STL daty pomocí, kterých se dá docílit velmi dobré úpravy dat pro další použití, například při tvorbě elektrod nebo programování. Lze zde pomocí plošek prokládat základní útvary jako koule, válec apod. Program nemá problém ani s vyhlazením ploch. Jediné s čím se software potýkal, byl dlouhý čas načítání dat.

U VISI a NX byly z časových důvodů pouze představeny funkce pro práci s naskenovanými daty jako například proložení vybranými ploškami plochou apod. Ty ale nebyly vyzkoušené na předem připravených datech.

5.2.4 Konstrukce formy

V této části testování byl hlavní důraz kladen na automatizaci při vytváření formy, práci s normáliemi a dodatečné úpravy formy. Pro testování zaformování plastu byl použit zjednodušený plastový výlisek, který se vyrábí sériově. Vzhledem k množství sledovaných parametrů byla vytvořena srovnávací tabulka.



Obrázek 14 – Testovaný výlisek.

Testování v programu Solidworks probíhalo bez jeho modulu pro formy MOLD, tudíž byl tento software oproti ostatním programům znevýhodněn. I když se v něm při vytváření dělicí roviny nabízí křivky, tento postup se zdál velice zdlouhavý. Díl se v časovém limitu nestihl zaformovat a další funkce byly představeny na propagačních datech.

VISI se s konstrukcí formy dostalo nejdále, a to i přes nezkušenost jeho technické podpory s konstrukcí nástrojů. Program se při tomto testu zdál jako nejschopnější, a to díky relativně snadnému vytvoření dělicí roviny a například při návrhu normálií pro formu se vybraly nejmenší možné rozměry tak, aby se ušetřil prostor. Při změně velikosti dílu nebo násobnosti se normálie opět přepočítaly.

VISI dále disponuje celou řadou funkcí, které urychlují a automatizují konstrukci forem, jako jsou popisy a automatické vytvoření zámků na vyhazovačích, zapuštění rychlospojek apod.

NX mělo největší problém s tím, že nevkládalo automaticky nejmenší možné desky, takže se jejich velikost musela měnit. To samé platí také o délkách vyhazovačů, což může významně zneprůjemnit práci. Jinak program pracoval bez větších problémů.

Cimatron má podobně jako VISI celou škálu funkcí na podporu konstrukce forem. Jeho předností je dobrá práce s normáliemi

5.2.5 Konstrukce elektrod

Jednou z klíčových součástí softwaru pro výrobu forem je bezesporu modul pro návrh elektrod, který musí zajišťovat dostatečnou produkci elektrod pro maximální naplnění a vytížení elektroerozivních hloubicích strojů během co nejkratšího času. Z tohoto důvodu byl této zkoušce věnován velký prostor.

Konstrukce elektrod probíhala na již dříve použitém modelu pro úpravu dat a dále na vtokové vložce, na níž se modelovala elektroda pro jiskření vtoku.

Cimatron obsahuje modul pro návrh elektrod, u něhož se nejprve aktivuje souřadný systém, ke kterému se budou odkazovat všechny vymodelované elektrody, poté je vybrána pálicí plocha na dílu, která se zapíše do stromu (takto lze automaticky vypočítat pálicí plochu pro hloubičku). Dále Cimatron nabízí dva způsoby, kterými se dá pokračovat v konstrukci elektrody. První možností je vytvořit pálicí těleso z pálicích ploch, které se následně upravuje v objemu, anebo s modelem nadále pracujeme jako s plochami. Obecně se nedá říci, který ze způsobů je rychlejší nebo efektivnější. Zvolení vhodné strategie se odvíjí od zkušeností obsluhy CAD systému. Již vytvořené elektrody lze vkládat do jiných modelů jako v normální sestavě pomocí vazeb.

Další funkcí Cimatronu pro usnadnění navrhování elektrod je zde základna elektrody. Velikost základny se dá vybrat ručně, popřípadě z databáze. Jsou zde různé možnosti úpravy základny, jako například stupňovitá tvarová základna, zkosení apod. Významnou funkcí je u softwaru prodloužení pálicí plochy. Tu lze prodloužit buď jako plochu, nebo jako těleso, a to i se stupněm pro případné přefrézování elektrody.

U programu lze vkládat z databáze držáky elektrod pro určení souřadného systému na plochy držáku, nebo pro programování elektrody a předejití budoucí možné kolize.

Celý proces konstrukce elektrod se dá urychlit vygenerováním elektrody pomocí šablony. Ta buď vzniká v uloženém souboru, nebo se k jejímu vytvoření dá použít elektroda již existující v modelu jako vzor. Šablona umí vytvořit model včetně souřadných systémů pro hloubení a obrábění. CAD generuje výkresy elektrod s rozměry hlavními a přednastavenými, s technologií a souřadnicemi konečné pozice. Jedním z nedostatků využití šablony je neautomatické zaokrouhlení vymezení základny elektrody.

Dalším bodem při navrhování elektrody je vytvoření trajektorie elektrody, která je významná například u tunelových vtoků, kdy je dráha nájezdu pod úhlem a hloubička potřebuje informaci o počátečním a koncovém bodu hloubení. Za tímto účelem funguje funkce trajektorie, u které lze pomocí různých způsobů určení směru a velikosti dráhy hloubení určit souřadnice, které lze následně exportovat do seřizovacího listu pro obsluhu hloubičky, případně do textového souboru přímo jako program pro hloubičku. Seřizovací list umožňuje importovat také strategii hloubení (2D a 3D), počet elektrod pro jednotlivé strategie hloubení, drsnost VDI a všeobecné informace jako název projektu a elektrody.

Program NX pro tvorbu elektrod používá skripty napsané českým distributorem tohoto softwaru. Tyto skripty se dají upravovat dle přání zákazníka, a proto zde nemá smysl popisovat dostupné pomocné funkce pro tvorbu elektrod.

Při tvorbě elektrod bylo zjevné, že NX není primárně určen pro tvorbu elektrod, i proto plnění úkolů neprobíhalo tak hladce jako v případě konkurence. Především tu nastal problém s prací v plochách a při upravování objemových těles. Tento problém mohl být částečně způsoben technickou podporou.

VISI jakožto speciální program pro tvorbu forem obsahuje též modul usnadňující navrhování elektrod. Tento modul se zdá být velice zdařilý a funkční. Při jeho použití se začíná výběrem pálicích ploch, ze kterých se pak vytvoří elektroda podobně jako v Cimatronu

V SolidWorksu se bez nadstavby MOLD celá elektroda vytváří ručně. Při porovnání s ostatními programy, které disponovaly pomocnými funkcemi pro tvorbu elektrod, se zdá program velmi neproduktivní.

5.2.6 Programování

Programování probíhalo na elektrodách vytvořených během předešlých úkolů. Zjišťovalo se především využití šablon pro obrábění. Jak a podle jakých kritérií se šablony vytváří, viz tabulku č. 6.

Poté se testovalo všeobecné 3osé obrábění na tvárnici, kde se sledovaly možnosti obráběcích strategií, správa nástrojů a jejich řezných podmínek, kontrola kolizních stavů, vytváření polotovarů apod. Viz tabulku č. 6.

5.2.7 Vyhodnocení workshopu

Pro vyhodnocení první části výběru softwaru byla použita metoda vícekritériálního hodnocení. Nejprve se zvlášť hodnotila všechna témata workshopu, u kterých byla pomocí bodovací metody stanovena váha jejich významu, a poté se provedla metoda váženého pořadí.

5.2.7.1 Bodovací metoda

U bodovací metody se musí přiřadit každému kritériu určitý počet bodů z předem definované hodnotící bodové stupnice v souladu s důležitostí kritérií.

počet bodů	interpretace
1	zanedbatelné
2	málo významné
3	významné
4	velmi významné
5	značně významné

Tabulka 5 – Interpretace bodování.

Počet přidělených bodů je při využití této metody nenormovanou vahou daného kritéria. Normované váhy kritérií pak získáme ze vztahu:

$$v_i = \frac{v'_i}{\sum_{i=1}^n v'_i} \quad [16]$$

kde:

- v_i – normovaná váha i-tého kritéria;
- v'_i – nenormovaná váha i-tého kritéria (u bodovací metody je to bodové ohodnocení důležitosti i-tého kritéria);
- n – počet kritérií.

5.2.7.2 Metoda váženého pořadí

K dílčímu ohodnocení variant se používá metoda váženého pořadí uspořádání variant vzhledem k jednotlivým kritériím. Varianta s nejnižším váženým pořadím je nejvýhodnější variantou. [16]

Matematicky se vážené pořadí vyjádří podle vztahu:

$$h_i^j = m + 1 - p_i^j \quad [16]$$

kde:

- h_i^j – dílčí ohodnocení (užitečnost) i-tého kritéria j-té varianty;
- m – počet variant;
- p_i^j – pořadí j-té varianty vzhledem k i-tému kritériu.

V hodnocení dílčí užitečnosti se u této metody neodrážejí konkrétní hodnoty kritérií u srovnávaných variant, ale jen jejich pořadí. Metoda proto poskytuje pouze hrubé hodnocení variant. [16]

			Cimatron		Solidworks		VISI		NX		
Kritérium		Normovaná váha v_i	p_i^j	h_i^j	p_i^j	h_i^j	p_i^j	h_i^j	p_i^j	h_i^j	Bodové hodnocení
K1 -	automatický bestfit	0,27	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
K2 -	rychlost porovnání	0,20	2	3	4	1	2	3	3	2	3
K3 -	srovnání poškozených dat	0,13	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2
K4 -	ukázání přílehlých poloh	0,27	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
K5 -	porovnání stl. dat	0,13	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2
		hodnocení		2,6		2,2		2,6		2,4	15
		pořadí		1		3		1		2	
K6 -	počet chyb před opravou	0,26	1	4	3	2	2	3	4	1	5
K7 -	chyby po automatické opravě	0,21	1	4	2,5	2,5	4	1	2,5	2,5	4
K8 -	čas automatické opravy	0,11	1,5	3,5	4	1	1,5	3,5	3	2	2
K9 -	ruční oprava	0,16	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
K10 -	nastavení při otevření dat	0,11	3	2	1	4	3	2	3	2	2
K11 -	formáty které lze otevřít	0,16	3	2	1	4	3	2	3	2	3
		hodnocení		3,1842		2,6053		2,2895		1,9211	19
		pořadí		1		2		3		4	
K12 -	vytvoření geometricky čistých ploch	0,33	4	1	2	3	2	3	2	3	4
K13 -	vyhlazení ploch	0,33	4	1	2	3	2	3	2	3	4
K14 -	rozpoznávání geom. útvarů	0,33	4	1	2	3	2	3	2	3	4
		hodnocení		1		3		3		3	12
		pořadí		4		1		1		1	
K15 -	odhad ceny formy	0,03	1	4	3	2	3	2	3	2	2
K16 -	kontrola zaformovatelnosti	0,08	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5
K17 -	automatická dělicí rovina	0,08	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5
K18 -	úprava dělicí roviny	0,05	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
K19 -	knihozny normálí pro formy	0,05	2	3	4	1	2	3	2	3	3
K20 -	navržení výšky desky	0,05	2	3	3	2	2	3	3	2	3
K21 -	změna popis v kusovníku při změně normovaného dílu	0,06	3	2	3	2	1	4	3	2	4
K22 -	automatická změna velikosti normalizovaných dílů při změně velikosti	0,05	2	3	3	2	2	3	3	2	3
K23 -	umístění vyhazovačů	0,05	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
K24 -	označení vyhazovačů	0,03	2	3	3	2	2	3	3	2	2
K25 -	úprava plochy dle dotyku	0,06	3	2	3	2	1	4	3	2	4
K26 -	specifické prvky (např. odvzdušnění na vyhazovači	0,06	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
K27 -	zámký na vyhazovače	0,06	3	2	3	2	2	3	2	3	4
K28 -	automatické rozvržení chlazení	0,05	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
K29 -	kontrola blízkosti vrtání	0,06	2	3	4	1	2	3	2	3	4
K30 -	zapuštění rychlospojek	0,05	2	3	4	1	2	3	2	3	3
K31 -	normované vtoky (databáze)	0,03	2	3	3	2	2	3	3	2	2
K32 -	automatické výkresy (šablony)	0,06	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
K33 -	kusovník normálí pro sestavení objednávek	0,06	2	3	3	2	2	3	3	2	4
		hodnocení		2,6385		2,0538		2,8846		2,4231	65
		pořadí		2		4		1		3	

K34 -	tvorba elektrody	0,23	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5
K35 -	šablona	0,14	1	4	3	2	3	2	3	2	3
K36 -	knihovna držáků elektrod	0,18	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
K37 -	výběr pálicích ploch	0,14	2	3	4	1	2	3	2	3	3
K38 -	velikost pálicích ploch	0,09	2	3	3	2	2	3	3	2	2
K39 -	jiskrová mezera	0,14	2	3	3	2	2	3	3	2	3
K40 -	knihovna polotovarů pro elektrody	0,09	1	4	3	2	3	2	3	2	2
	hodnocení			3,0227		2,0682		2,5682		2,3409	22
	pořadí			1		4		2		3	
K40 -	šablony pro program na elektrody	0,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5
K41 -	kritéria výběru ploch, hranic	0,08	1	4	2	3	3,5	1,5	3,5	1,5	2
K42 -	korekce nástrojů ve 2D	0,16	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
K43 -	korekce nástrojů ve 3D	0,08	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2
K44 -	vyjiskřovací mezera	0,16	1	4	3	2	3	2	3	2	4
K45 -	import nástrojů	0,08	2,5	2,5	4	1	2,5	2,5	1	4	2
K46 -	řezné podmínky pro více materiálů	0,12	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
K47 -	přesnost času simulace	0,12	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
	hodnocení			2,86		2,34		2,34		2,46	25
	pořadí			1		3		3		2	
K48 -	trochoidní strategie	0,10	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2
K49 -	hrubovací strategie	0,14	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
K50 -	automatické vrtání děr	0,19	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
K51 -	ignorování děr, kapes apod	0,10	3	2	3	2	2	3	2	3	2
K52 -	simulace přímo z NC kodu	0,10	3	2	2	3	3	2	2	3	2
K53 -	polotovar 3d model	0,14	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
K54 -	automatické označení obrobenech ploch	0,10	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2
K55 -	vygenerování obrobeneho modelu	0,14	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
	hodnocení			2,4048		2,5		2,5		2,5952	21
	pořadí			4		2		2		1	
K53 -	technická podpora	0,50	1	4	4	1	2,5	2,5	2,5	2,5	5
K54 -	přívětivost pracovního prostředí	0,30	2	3	3	2	3	2	2	3	3
K55 -	intuitivnost programu	0,20	2,5	2,5	2,5	2,5	4	1	1	4	2
	hodnocení			3,4		1,6		2,05		2,95	10
	pořadí			1		4		3		2	

Tabulka 6 – Workshop. Metoda váženého pořadí.

Po určení pořadí programů v jednotlivých částech programu, se také vytvoří tabulka s vícekritériálním hodnocením. V jejím případě bude rozdíl v tom, že pro výpočet vah kritérií se použije Saatyho metoda, aby byly výsledky co nejpřesnější.

5.2.7.3 Saatyho metoda

Saatyho metoda stanovuje postupnými kroky preferenční vztahy dvojic kritérií. Preferenčně srovnává kritéria a určuje velikost této preference. Jinými slovy zjišťuje nejen jak to které kritérium je nebo není významnější než jiná kritéria, ale také o kolik je či není významnější. [16]

Ve srovnávací tabulce se vertikálně a horizontálně ve stejném pořadí uspořádají jednotlivá kritéria a za symbol x_{ij} se dosadí hodnota jejich preference:

kritérium	1	2	3	4
1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄
3	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄
4	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄

Tabulka 7 – Uspořádání hodnot kritérií v tabulce při využití Saatyho metod.

Do řádků tabulky se zapisuje velikost významnosti kritéria vyhodnoceného jako důležitější, která je vyjádřena číselně ve škále Saatyho bodovací stupnice – viz tabulku. V praxi se používá pětibodová Saatyho stupnice <1;9> s bodovacím krokem 2.[16]

<i>Deskriptor</i>		<i>Počet bodů</i>		<i>Počet bodů</i>
<i>obě srovnávaná kritéria stejně významná</i>	<i>je</i>	<i>1</i>	<i>není</i>	
<i>kritérium v řádku nepatrně významnější</i>	<i>(jsou)</i>	<i>3</i>		<i>1/3</i>
<i>kritérium v řádku dosti významnější</i>		<i>5</i>		<i>1/5</i>
<i>kritérium v řádku prokazatelně významnější</i>		<i>7</i>		<i>1/7</i>
<i>kritérium v řádku absolutně významnější</i>		<i>9</i>		<i>1/9</i>

Tabulka 8 – Interpretace významu bodů podle Saatyho bodové stupnice.[16]

Pro určení vah kritérií se použije výpočet geometrického průměru hodnot v řádku podle vztahu:

$$v_i' = \sqrt[n]{x_{i1} \cdot x_{i2} \cdot \dots \cdot x_{in}}$$

kde:

- v_i' – nenormovaná váha i-tého kritéria (geometrický průměr);
- i – kritérium 1, 2, ..., n;
- n – počet kritérií;
- x_{in} – hodnota významnosti i-tého kritéria v řádku v n-tém (posledním) sloupci tabulky.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	v	váha
K1 - Porovnávání modelů	1	0,33	1	0,11	0,14	0,2	0,2	0,30	0,04
K2 - Oprava dat	3	1	3	0,2	0,2	0,33	0,33	0,63	0,09
K3 - Práce s naskenovanými daty	0,2	0,33	1	0,11	0,14	0,2	0,14	0,23	0,03
K4 - Návrh formy	9	5	9	1	3	3	3	3,78	0,55
K5 - Konstrukce elektrod	7	5	7	0,33	1	1	1	1,88	0,28
K6 - Programování vložky	5	3	5	0,33	1	1	0,33	1,35	0,20
K7 - Technická podpora apod.	5	3	7	0,33	1	3	1	1,94	0,29
								6,81	

Tabulka 9 – Výpočet vah, Saatyho metoda.

			Cimatron		Solidworks		VISI		NX	
Kritérium	Normovaná váha v_i	p_i^j	h_i^j	p_i^j	h_i^j	p_i^j	h_i^j	p_i^j	h_i^j	
K1 - Porovnávání modelů	0,04	1	4	3	2	1	4	2	3	
K2 - Oprava dat	0,09	1	4	2	3	3	2	4	1	
K3 - Práce s naskenovanými daty	0,03	4	1	1	4	1	4	1	4	
K4 - Návrh formy	0,55	2	3	4	1	1	4	3	2	
K5 - Konstrukce elektrod	0,28	1	4	3	2	3	2	2	3	
K6 - Programování vložky	0,20	4	1	2	3	2	3	1	4	
K7 - Technická podpora apod.	0,29	1	4	4	1	3	2	2	3	
	hodnocení		4,687		2,4868		4,4313		3,9454	
	pořadí		1		4		2		3	

Tabulka 10 Výsledky vícekriteriálního hodnocení.

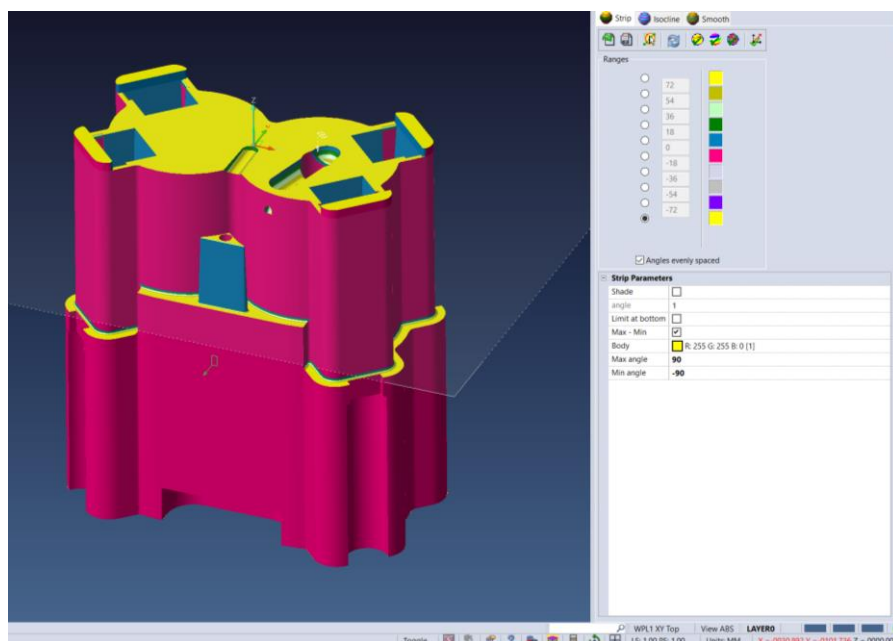
Výsledky vícekriteriálního hodnocení ukazují, že specializované softwary pro návrh a výrobu nástrojů mají navrch oproti všeobecným konstrukčním programům. Vzhledem k těmto výsledkům bylo rozhodnuto dále pokračovat v testování s programy Cimatron a VISI, z nichž bude zodpovědně vybírán nejvhodnější software.

5.3 Podrobné testování

Podle výsledků vícekriteriální analýzy se do druhého kola výběru dostal program Cimatron a VISI. V tomto druhém kole se bude software testovat při návrhu a programování elektrod pro EDM hloubení. Testování proběhlo ve verzích programu CimatronE 13 a VISI 2018R2.

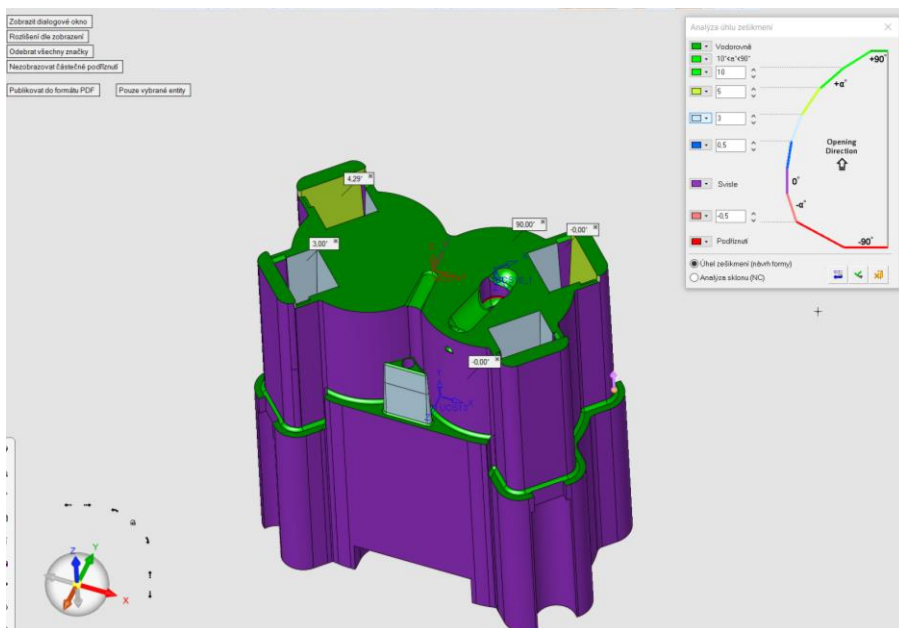
5.3.1 Úkosová analýza

VISI má podobě jako Cimatron využívá k rozlišení úkosových úhlů nastavené barvy.



Obrázek 15 – Úkosová analýza – VISI.

V úkosové analýze Cimatronu je velmi přehledně řešeno přesné určení úhlu, kdy je možno kliknout na jakoukoliv plochu, načte se úhel a hodnota ukážou přehledně v oknu. Při přejíždění myši po ploše je také vidět přesný úhel; na rozdíl od VISI, kde jsou plochy označené jen barvou dle nastavených vlastností.

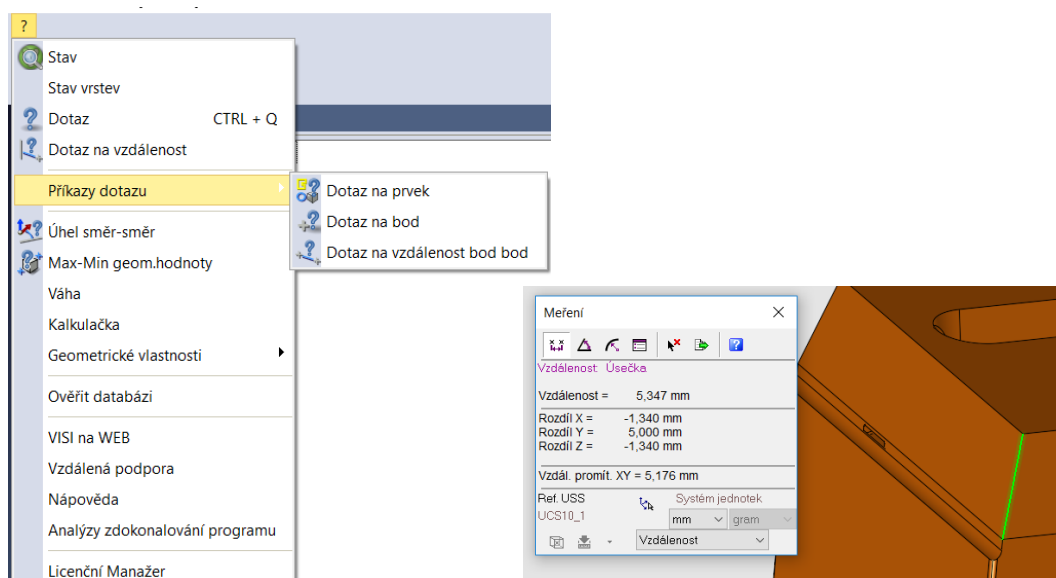


Obrázek 16 – Úkosová analýza – Cimatron.

Oba softwary nabízejí řadu dalších analýz, jež jsou podobně zdařilé jako úkosová analýza.

5.3.2 Měření

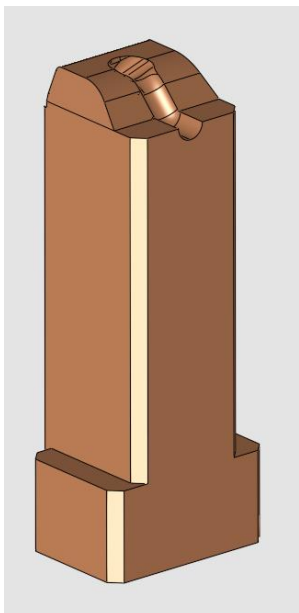
Měření rozměrů modelů se zdá lépe zvládnuté u programu Cimatron, kde se hned zobrazí vzdálenost a rozdíl ve směrech X, Y a Z.



Obrázek 17 – Měření – VISI, Cimatron.

5.3.3 Tvorba elektrody – vtok

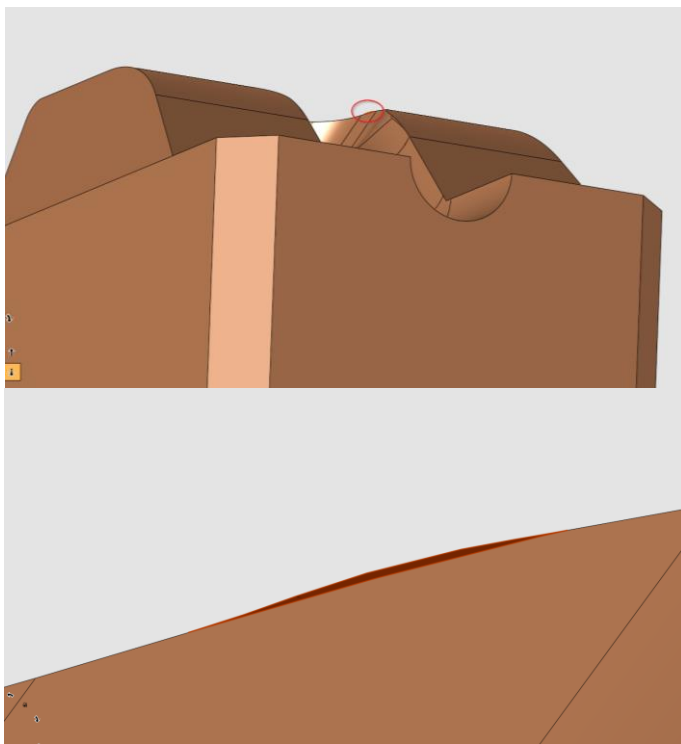
Pro test návrhu elektrody vtoku byla vybrána vtoková vložka s filmovým vtokem, viz obrázek níže:



Obrázek 18 – Vtoková vložka.

5.3.2.1 Cimatron

Otevřeno bez chyb, při bližším pohledu na model je vidět problém s ploškou, viz obrázek:

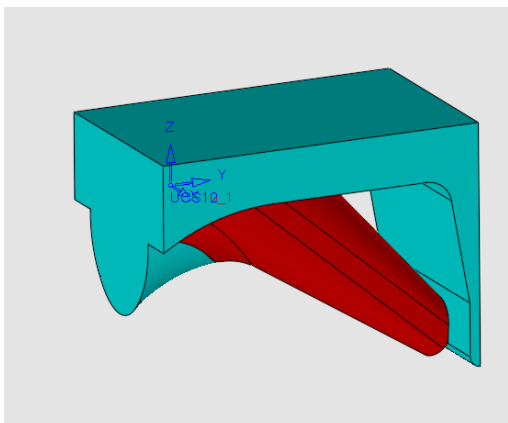


Obrázek 19 – Chyba na vtokové vložce – Cimatron.

Problém s plochou, zrcadlově na obou plochách. Řešení problému: Možnost 1: pomocí funkce *Odebrat a protáhnout*, při které se špatná plocha bez problému odstraní. Možnost 2: Tuto plochu řešit až přímo u elektrody s tím, že by se měla ukázat kolize, jelikož model vtokové vložky nebude upraven. První možnost řešení problému je lepší v případě, že oprava proběhne bez komplikací, což nemusí být vždy pravidlo.

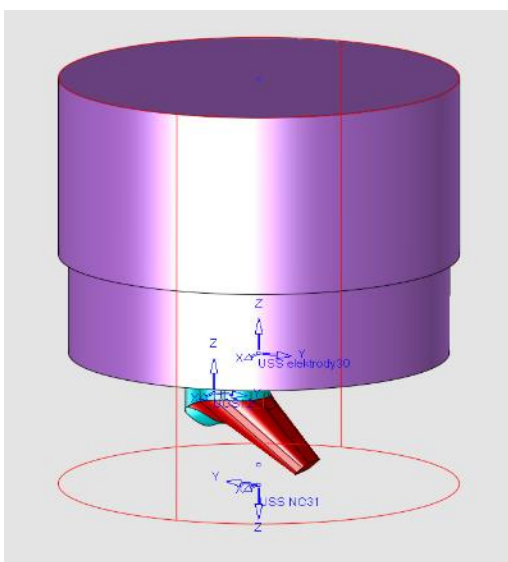
Určení nulového bodu: Před kreslením elektrod se musí určit nulový bod obrobku. Jedná se o bod, od kterého budou všechny následné elektrody vycházet. Pro upravení nulového bodu nelze jen změnit aktivní nulový bod, ale celé elektrody je nutné vložit znovu do sestavy a zavazbit je.

Tvorba elektrody: Zde jsou na výběr dva přístupy, a to pomocí ploch, anebo v objemu pomocí obtisknutí elektrody do železa. Volba záleží na konstruktérovi, který musí zhodnotit, která z variant bude vhodnější. U této součásti se zvolila práce v objemovém tělese.



Obrázek 20 – Obtisk tvaru vložky.

U Cimatronu se nabízí použít funkci *pálicí těleso*, při které dojde k obtisknutí pálicí plochy do železa, čímž vznikne část elektrody, která se u většiny modelů musí dále upravovat (jako v případě příkladu níže, kdy se musí odstranit přebývající plochy, viz obrázek).



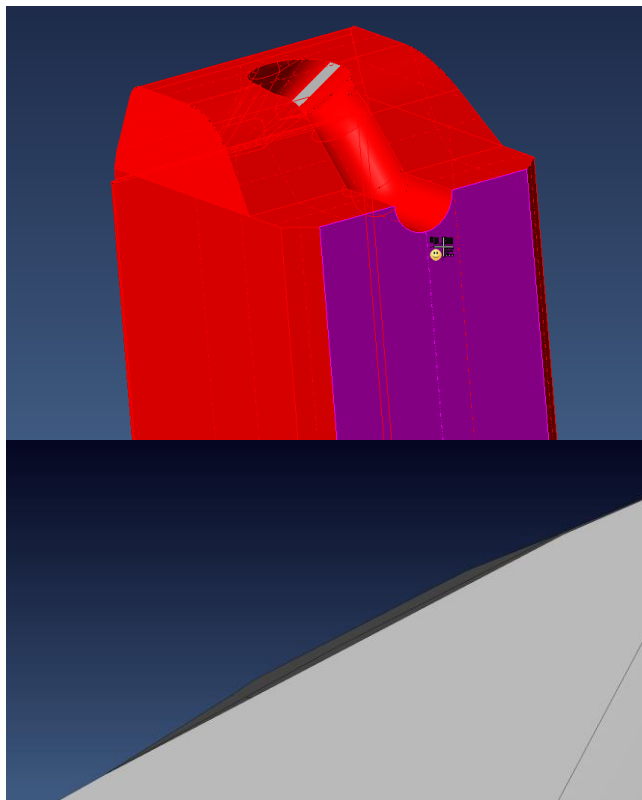
Obrázek 21 – Elektroda vtoku – Cimatron.

Po úpravě modelu se přidá základna, u které se můžou upravit souřadnice pro hloubiče na celá čísla tak, aby byla menší pravděpodobnost chyby při vytváření programu na EDM stroji. Základna a

nulové body se dají nastavit pomocí šablony, která je již vytvořená, případně podle modelu předcházející elektrody v jednom elektrodovém prostředí.

5.3.2.1 VISI

Model se otevřel jako 3 tělesa. Z toho vyplývá, že těleso není uzavřené. Elektrody pak lze tvořit, i když je takto těleso rozděleno.

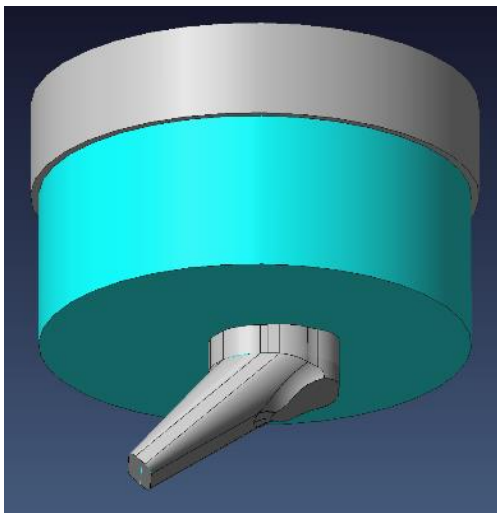


Obrázek 22 – Chyba na vtokové vložce – VISI.

Program umožňuje dva způsoby řešení problému. Možnost 1: Nejprve se prvky funkcí *Unite* sloučí v jedno těleso, a poté se plochy opraví funkcí *Delete/Extract faces*. Operace proběhly stejně jako u Cimatronu bez prodlevy. Možnost 2: Tuto plochu řešit až přímo u elektrody s tím, že by se měla ukázat kolize, jelikož model vtokové vložky nebude upraven. První možnost řešení problému je vhodnější v případě, že oprava proběhne bez komplikací, což ale nemusí být vždy pravidlem.

U VISI musí být určen správný směr souřadného systému s tím, že se jeho pozice může měnit a souřadnice elektrody pro vyjiskřování se přepočítají automaticky. Oproti konkurenčnímu programu bylo určení USS delší.

Pro tvorbu elektrod se ve VISI využívá funkce *Electrod by Face*, bohužel u tohoto vtoku funkce neproběhla (ze zkušeností se dá říci, že VISI funkce *Electrod by Face* u vtoků neproběhne). Proto se elektroda musela vytvořit pomocí ploch. Plochy lze samozřejmě sešít a poté pracovat s objemovým tělesem.

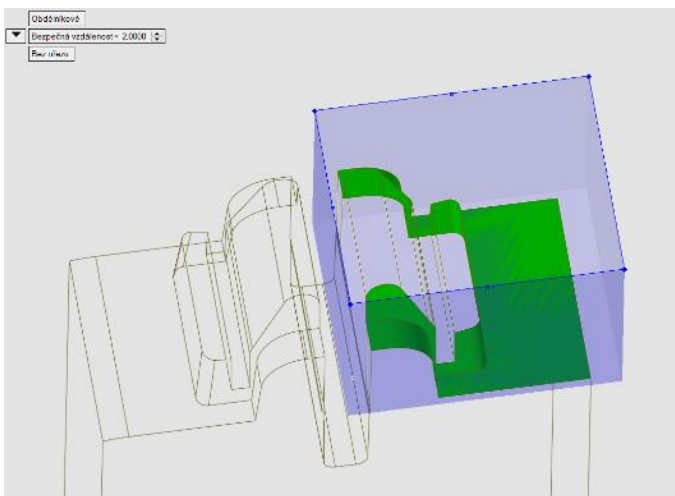


Obrázek 23 – Elektroda vtoku – VISI.

5.3.3 Tvorba elektrody – jádro formy

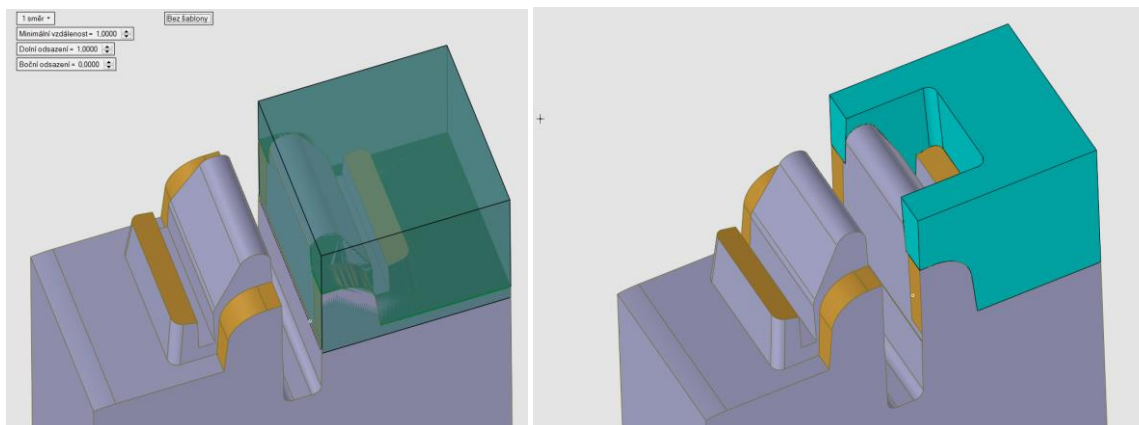
Cimatron

Při tvorbě elektrody se u Cimatronu začíná vyjmutím elektrody, na níž se označí pálicí plochy a následně se zadané údaje potvrdí.



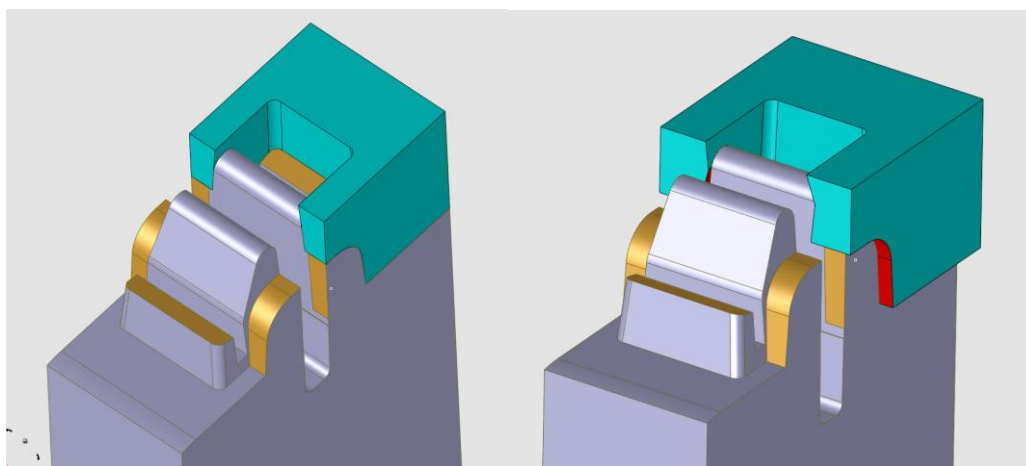
Obrázek 24 – Vybírání pálicích ploch – Cimatron.

Pokračuje se pálicím tělesem.

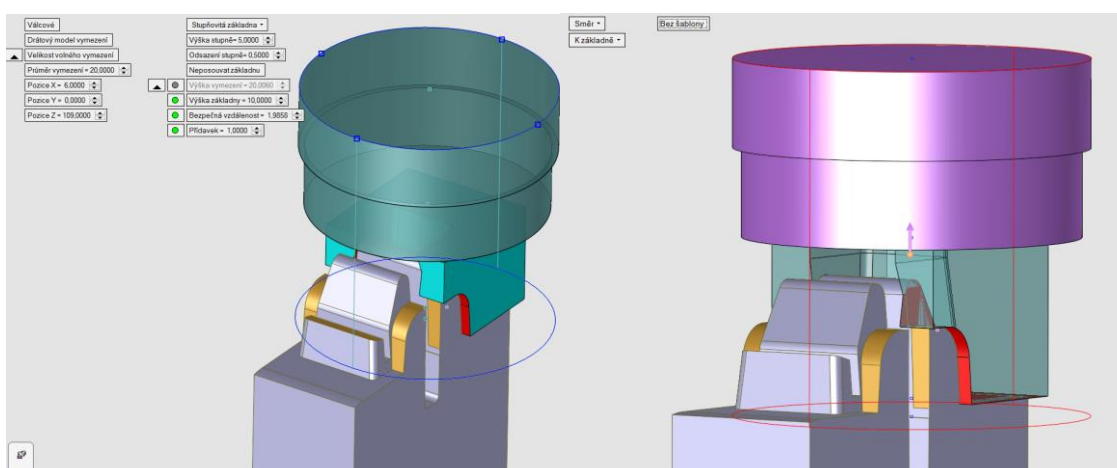


Obrázek 25 – Pálicí těleso – Cimatron.

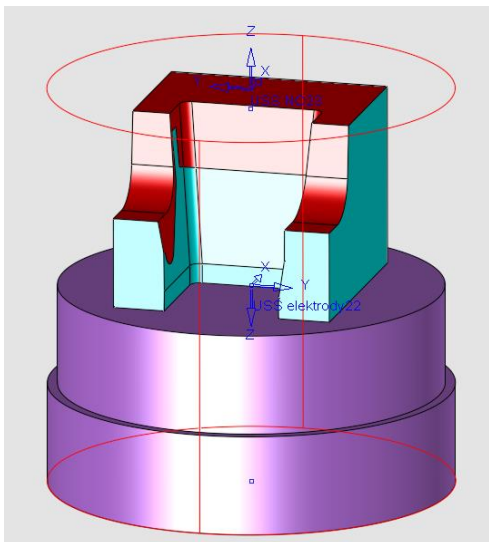
Poté se prodlouží pálicí plochy (nejednou za pomoci jediné funkce), vytvoří se základna se souřadným systémem pro EDM a obrábění, viz obrázky:



Obrázek 26 – Úprava pálicího tělesa – Cimatron.

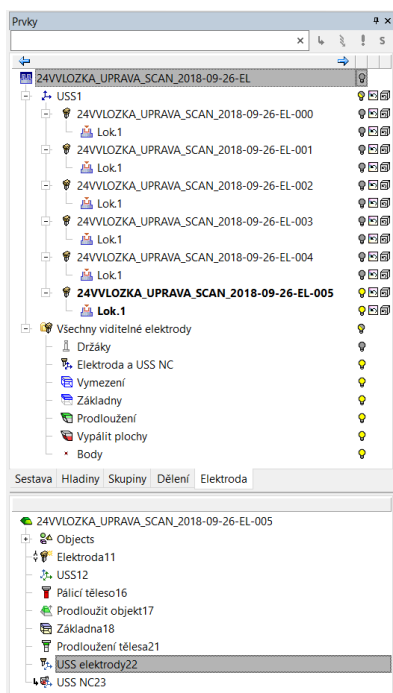


Obrázek 27 – Tvorba základny – Cimatron.



Obrázek 28 – Hotová elektroda – Cimatron.

Následuje export do NC prostředí a zapnutí šablony.

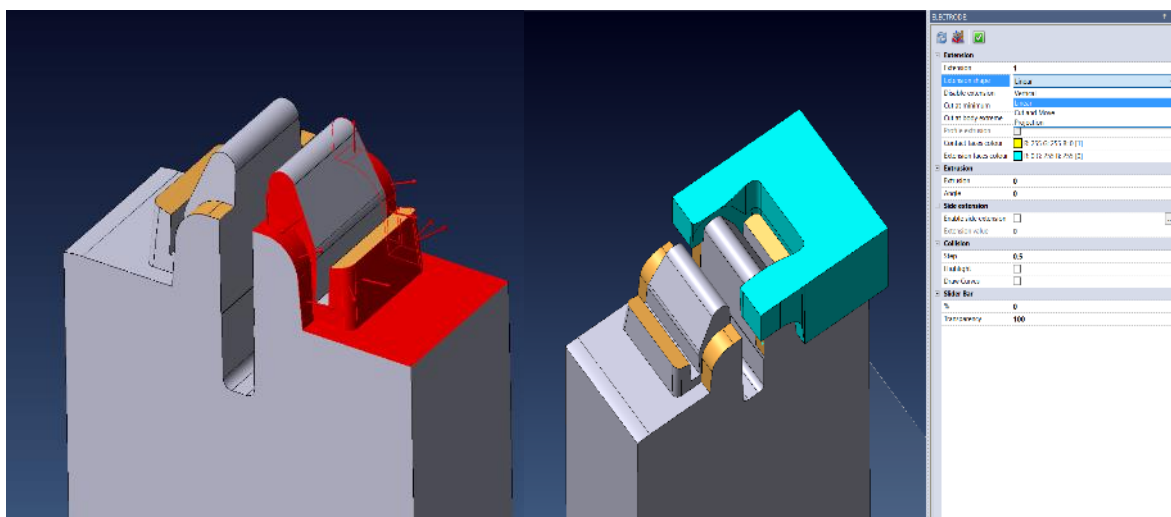


Obrázek 29 – Strom elektrody s přehledem elektrod – Cimatron.

K vytvoření této elektrody bylo zapotřebí sedmi funkcí. Za pomoci šablony lze návrh zkrátit na tři úkony.

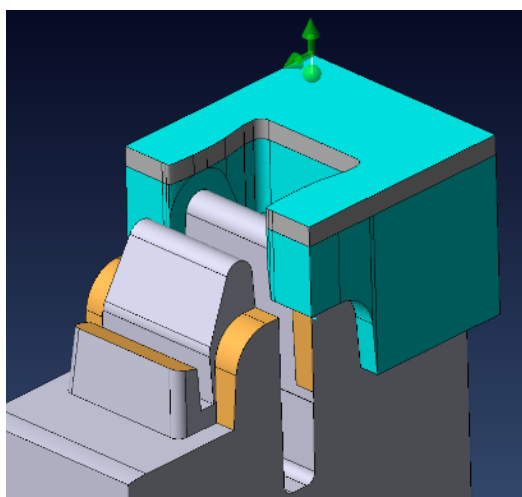
VISI

Pro tvorbu elektrody se nejprve označí pálicí plochy a poté se vybere ze čtyř možností: *Vertical*, *Linear*, *Cut and Move* a *Projection*. Je na uživateli, kterou možnost si zvolí. Ne vždy ale všechny možnosti program vytvoří.



Obrázek 30 – Tvorba pálicího tělesa – VISI.

Při pokusu o přidání základny program selhal (z pěti pokusů pokaždé), problém se vyřešil vysunutím horní plochy – poté se základna vytvořila bez problému. Po konzultaci s technickou podporou byl odhalen problém starého updatu softwaru. Velkou výhodou VISI je v této fázi vyplnění všech potřebných informací o elektrodě v jednom okně při vytváření základny.



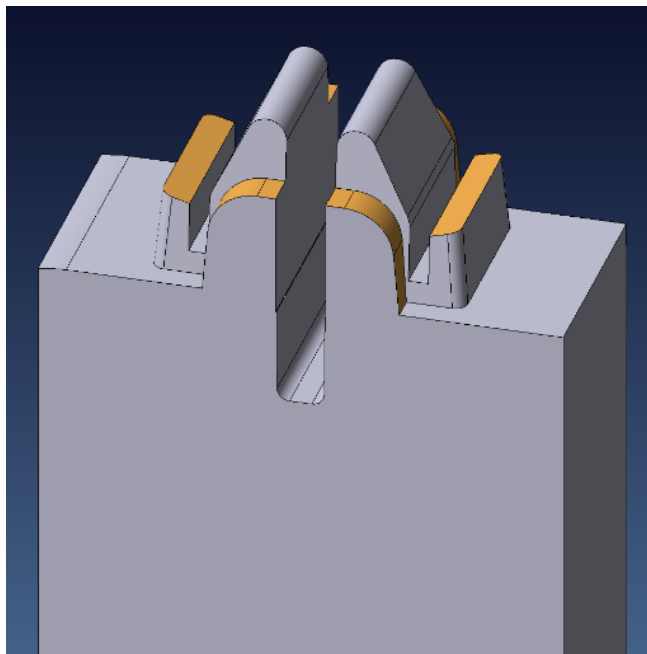
Obrázek 31 – Vysunutí pálicího tělesa – VISI.

V dalším kroku se potvrdí parametry základny, jako je tvar, velikost, odsazení, umístění nulového bodu apod. Takto vytvořená elektroda má relativně hodně malých plošek, které se dají upravit do celistvých ploch pomocí funkcí jako: *zruš/extrahuj stěny* či *zjednoduš těleso*, ale není to nutností.

5.3.4 Rychlost tvorby elektrod na vložkách pro opravu

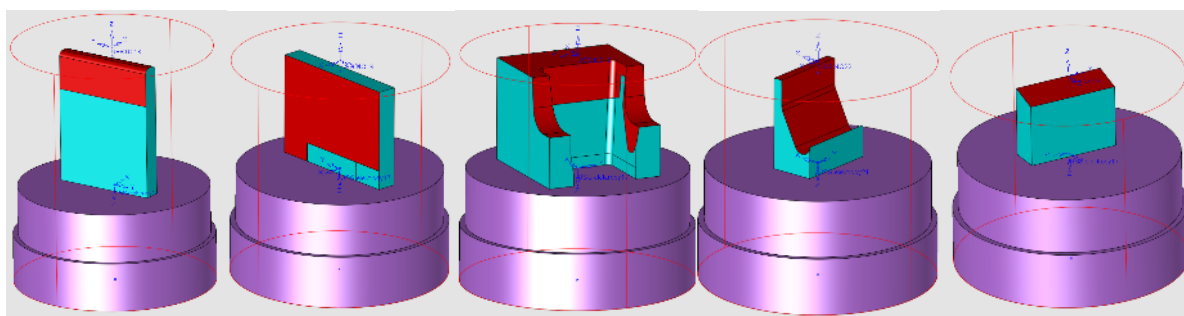
Cílem tohoto testu bylo vytvořit elektrody na daný model co nejrychleji, nehledě na kvalitu.

1. Vložka



Obrázek 35 – Vložka 1.

Cimatron

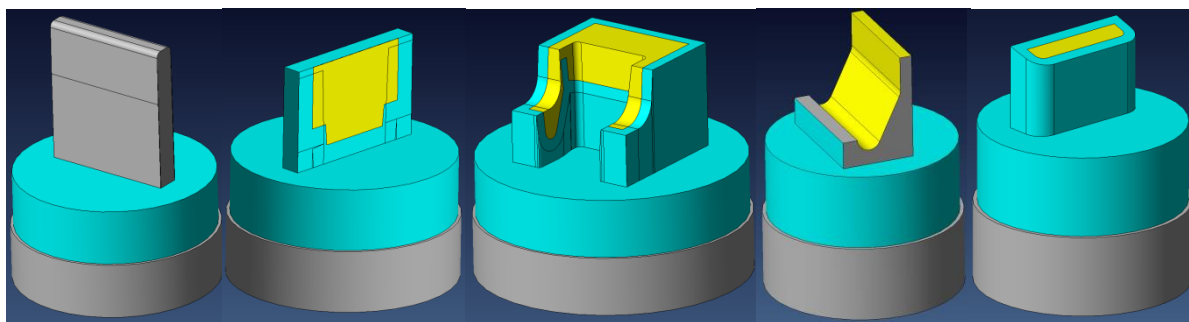


Obrázek 36 – Elektrody pro vložku 1 – Cimatron.

Výsledek:

- Tvorba elektrod bez problémů.
- Čas: 8 min 46 sec.

VISI

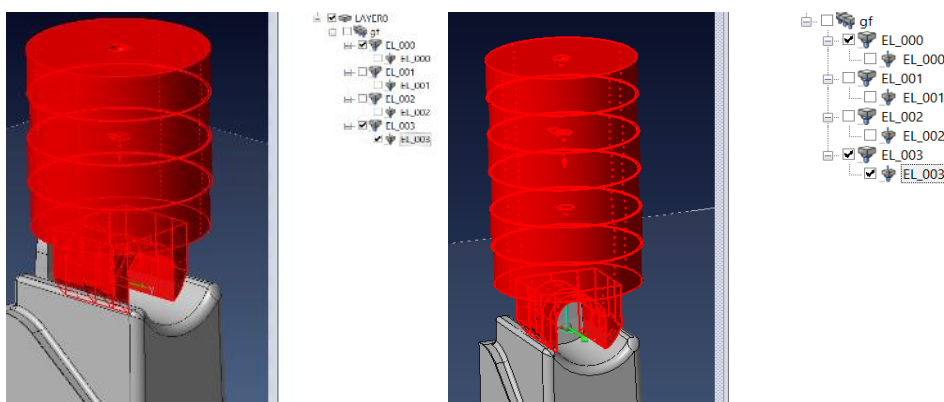


Obrázek 37 – Elektrody pro vložku 1 – VISI.

Výsledek:

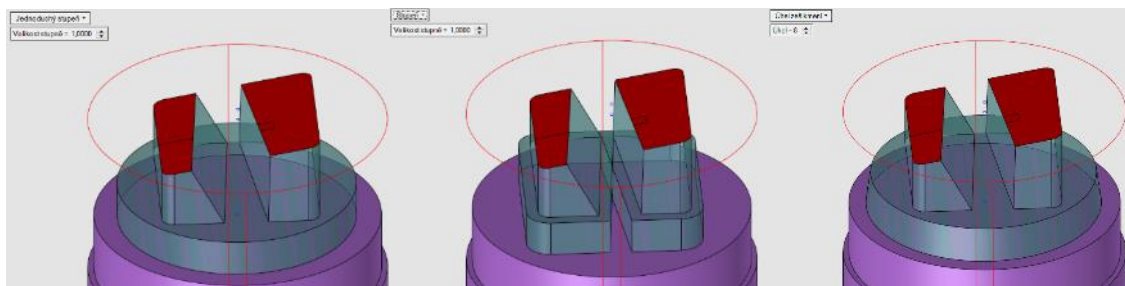
- U třetí elektrody vznikly podkosové plochy, pro obrábění a jiskření by to ale neměl být problém.
- U tvorby základny první a třetí elektrody SW spadl – u novější verze by se tento problém neměl objevit (do času tvorby se pád nezapočítával).
- Čas: 9 min 16 sec.

Při posunutí elektrody se automaticky změní najížděcí souřadnice. Následně po editování souřadnic vznikne jedna základna navíc, viz obrázek 38. Při každé další editaci přibude další základna – problém vyřešen u dalšího updatu programu.



Obrázek 38 – Editování základny – VISI.

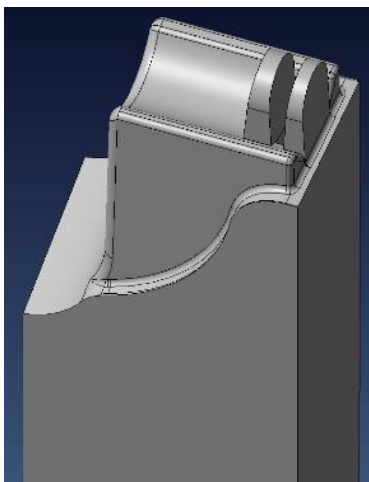
U Cimatronu se lépe pracuje s prodloužením pálicí plochy k základně, jako například v případě funkce jednoduchý stupeň, viz. obrázek 39. Dále lze v Cimatronu vytvořit program přímo pro danou hloubičku na jiskření.



Obrázek 39 – Možnosti prodloužení plochy – Cimatron.

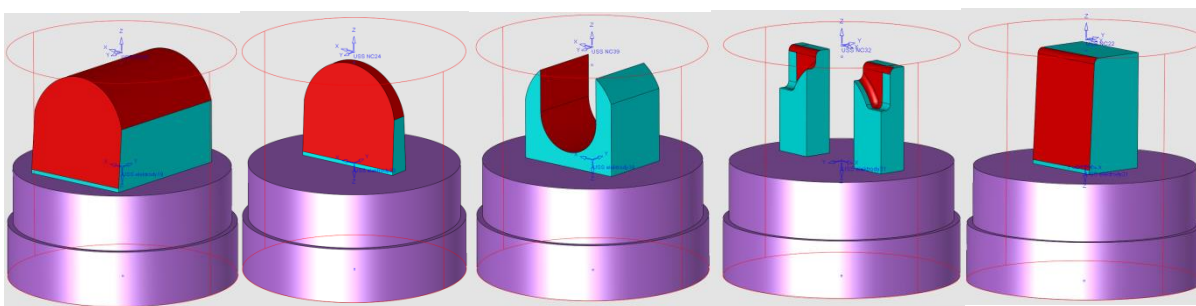
Časový rozdíl mezi oběma programy je zanedbatelný, hlavní rozdíl je v kvalitě elektrod.

2. Vložka



Obrázek 40 – Vložka 2.

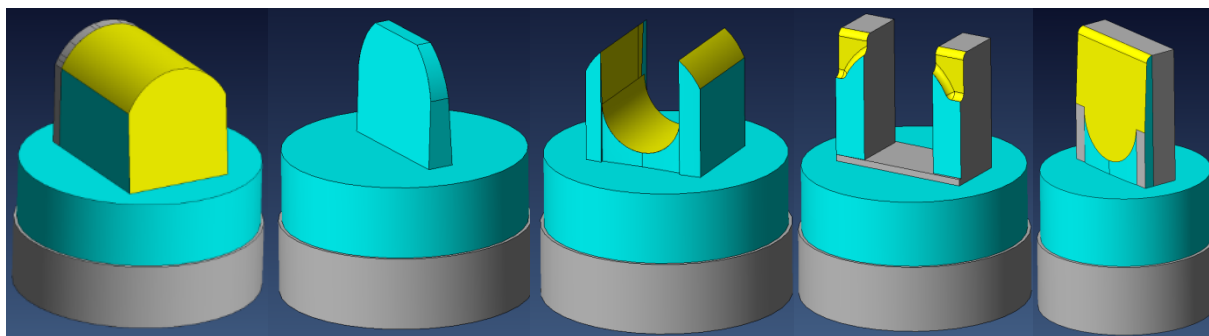
Cimatron



Obrázek 41 – Elektrody pro vložku 2 – Cimatron.

- Čas 14 min 12 sec.
- Problémy s co možná nejefektivnější úpravou ploch na požadovaný tvar elektrody.

VISI



Obrázek 42 – Elektrody pro vložku 2 – VISI.

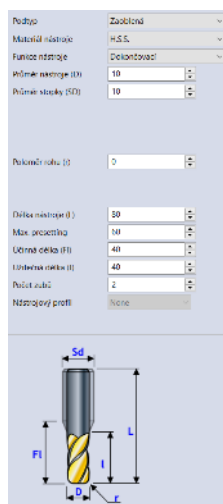
- Čas: 16 min 35 sec.
- Problém u tvorby elektrod, kde se neobtiskuje celá plocha – plochy se musí rozdělit (poměrně složité, 5 úkonů). U nové verze již problém s obtiskováním ploch nevzniká.

Po dlouhodobém testování SW se dá říci, že programy mají podobnou produktivitu. U rychlosti tvorby elektrod nelze tvrdit, že je jeden či druhý program lepší. Záleží zde na zadané součásti, znalosti obsluhy softwaru, znalosti funkcí a jejich vhodného využití.

5.3.5 CAM

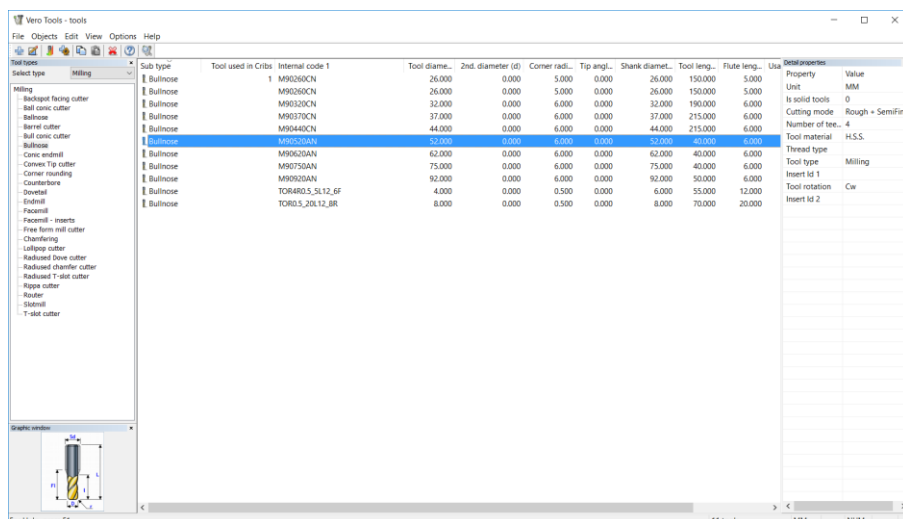
Správa nástrojů:

- VISI disponuje větší škálou druhů nástrojů, zdá se přehlednější, ke strojům lze přiřadit nástroje do zásobníku;
- oba programy disponují načítáním nástrojů z Excelu;
- u VISI lze přesněji zadat nástrojové držáky.

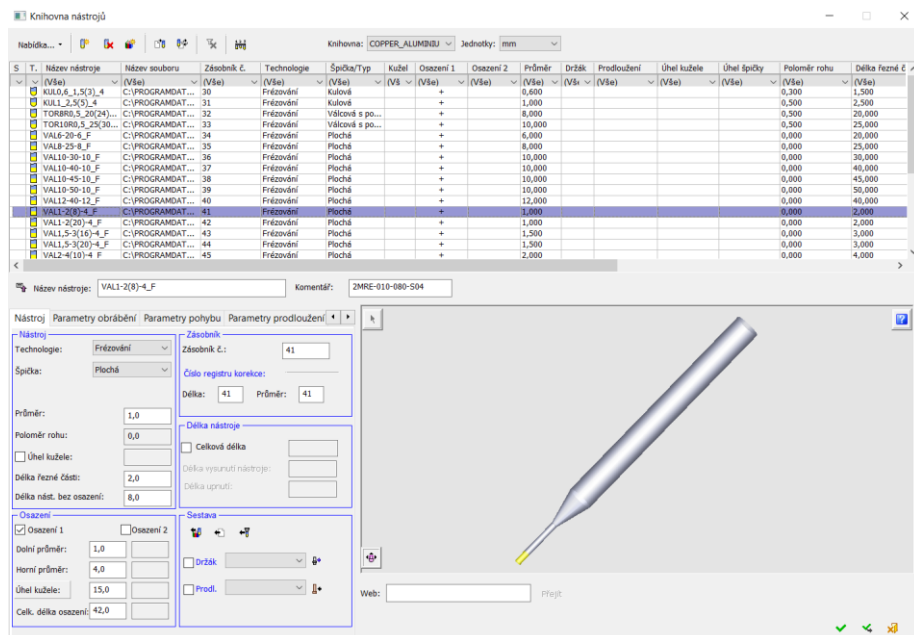


Obrázek 43 – Tabulka nového nástroje – VISI.

VISI oproti Cimatronu bohužel nedovoluje zadat úhel přechodu odlehčení na stopku frézy (což je trochu nepříjemné při zavádění fréz). Dalším problémem je to, že u VISI nelze zadat výšku ostří a odlehčení frézy – z tohoto důvodu program nenahlásí chybu například při obrábění žebrovací frézou, kdy je fréza ve větším záběru než délka ostří.



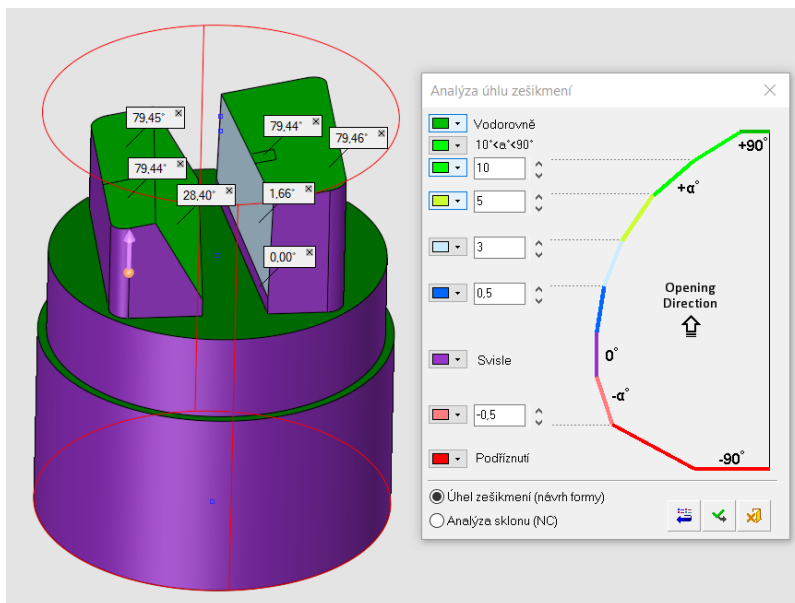
Obrázek 44 – Správce nástrojů – VISI.



Obrázek 45 – Správce nástrojů – Cimatron.

Testování

Zadání: Obrobení dané elektrody za pomoci co nejuniverzálnějších procedur a v co nejlepší kvalitě z důvodu univerzální šablony. Nástroje s řeznými podmínkami stejné, počet procedur také.



Obrázek 46 Úkosová analýza – Cimatron.

Cimatron

Cimatron má správce systému, který nabízí všechny základní položky jako polotovary, jednotlivé procedury, nástroje apod. Jeho velkou předností je hromadná změna vyjiskřovací mezery.

Správce NC procesu					
Stav	Dráha nástroje/procedura	zaji na S	Komentář	C. Pero	Nástroj
NC_Setup (2 P)			No Text		MODEL
Cilová součást_5			No Text		MODEL
Polotovary dle kontur_6			Bez textu		MODEL
TP_MODEL_T00 (3X) (5 P)			Bez textu		MODEL
Hrubování spirálové_8			Bez textu	TOR8R0.5_20L24_8R_0	MODEL
Obrábění načisto-Dokončení frézováním dle mezního úhlu_9			Bez textu	TOR4R0.5_5L12_6F_0	MODEL
Obrábění načisto-Dokončení frézováním dle mezního úhlu_11			Bez textu	TOR2R0.2_3L10_4F	MODEL
Obrábění zbytkového materiálu-Čistit_12			Bez textu	TOR1.5R0.3_2L10_4F	MODEL
Obrábění načisto-Dokončení frézováním vše_10			Bez textu	TOR4R0.5_5L12_6F	MODEL

Obrázek 47 NC správce procesu - Cimatron.

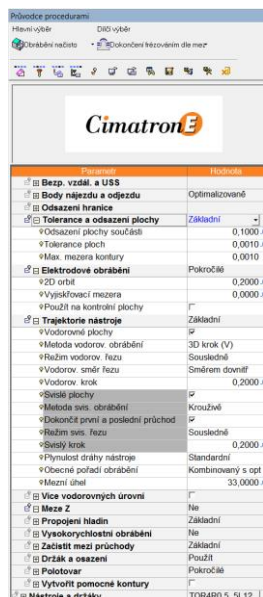
Obráběné plochy se zde vybírají, a to buď ručně, nebo podle kritéria (barva, typ entity, hladiny, styl čáry a tloušťka čáry). To je vhodné pro nastavení šablon.

Průvodce procedurami	
Parametry	Hodnoty
Hranice (včetně)	0
Skupiny s více plochami	0
Počet skupin ploch součástí	21
Plochy součástí (č. 1)	0
Výběr ploch	21
Plochy součástí (č. 2)	0
Výběr ploch	0
Výběr ploch	0
Bezpečné frézování součástí	Nežádné

Obrázek 48 Průvodce procedurou - Cimatron.

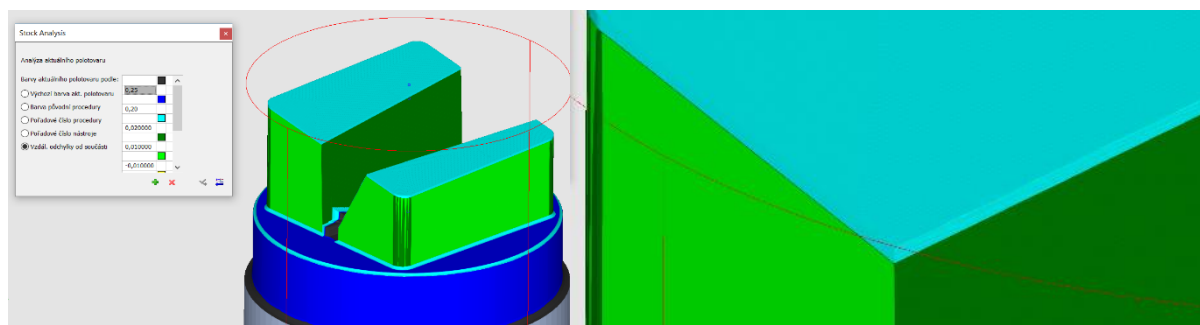
Software dále obsahuje různé procedury s možností doplnění parametrů. Za zmínku stojí možnosti použití zkratk, jako například spgap (vyjiskřovací mezera), která se napíše například do omezení v Z, načež se automaticky odečte aktuální vyjiskřovací mezera.

V parametrech se nachází také položka Elektrodové obrábění, kde lze zadat 2D a 3D vyjiskřovací mezera. Problém nastává u 2D orbitu, u něhož nelze použít kulovou frézu – místo toho lze zadat toroid s rádiusem blízcím se poloměru frézy (na pět desetinných míst).



Obrázek 49 – Pracovní prostředí obráběcích strategií – Cimatron.

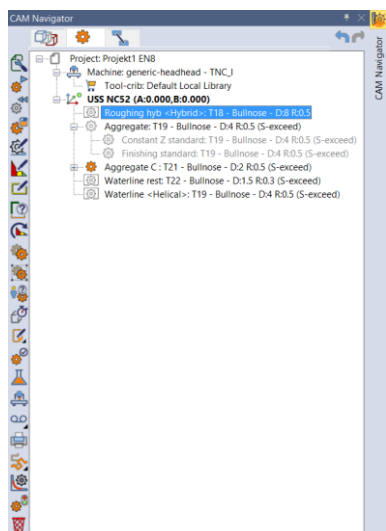
Nejobecnější procedurou Cimatronu je frézování dle mezního úhlu. To nabízí dvě strategie lišící se úhlem. Jako nejuniverzálnější strategie pro malé úhly se zdá být 3D krok a pro větší mezní úhel krouživě. Výsledek simulace s detailem viz obrázek:



Obrázek 50 – Simulace – Cimatron.

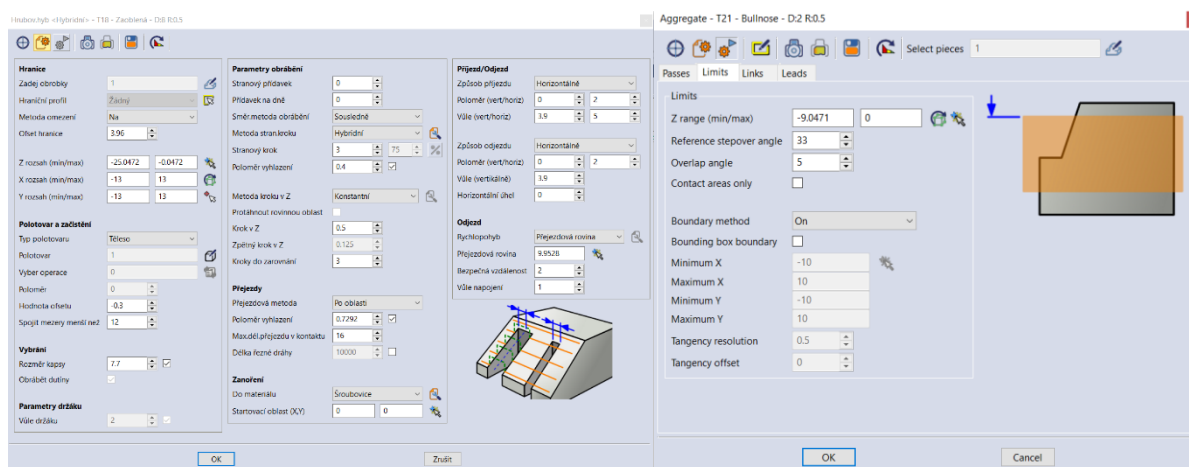
VISI

Pro programování využívá VISI CAM navigátor, ve kterém jsou obsaženy veškeré informace o obrábění.



Obrázek 51 – CAM navigator – VISI.

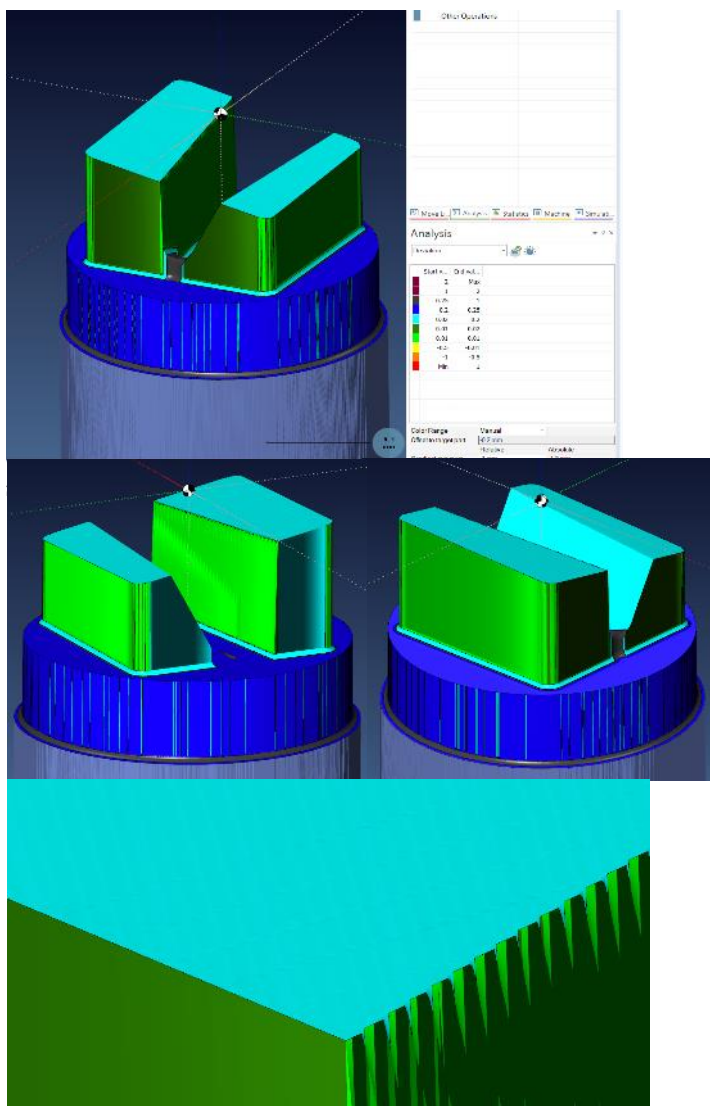
Obrábění je principiálně velmi podobné Cimatronu. Dá se říci, že ale poskytuje více strategií na výběr. Co se týče výběru ploch pro obrábění, není zde žádný filtr pro automatický výběr.



Obrázek 52 – Pracovní prostředí obráběcích strategií – VISI.

U VISI nelze vkládat zároveň jiskrovou mezeru a přídavek. Užitečná funkce je vynechání kapsy (díry) od zadaného rozměru, viz obrázek.

Jak u verze 2017, tak u verze 2018 vznikala opakovaně problém při počítání obráběcí procedury – po zapnutí výpočtu zůstane výpočet na 0 %. Problém vznikala pouze na notebooku s herní grafickou kartou, na pracovní stanici tento problém nenastal.



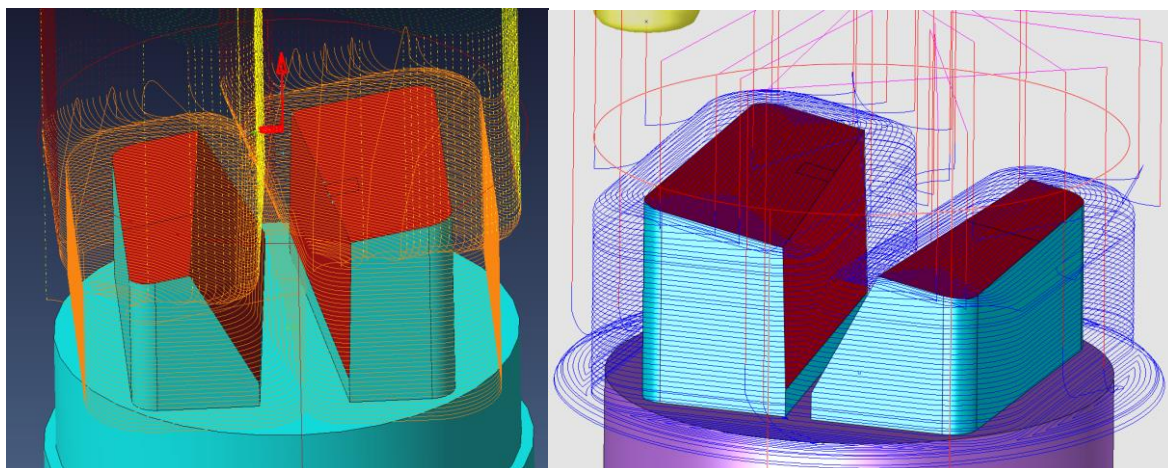
Obrázek 53 – simulace – VISE.

Simulace obsahuje základní funkce jako vybarvení ploch podle nastavené přesnosti, lze také zadat offset podle jiskrové mezery. Praktické je tu naznačené měřítko a samostatné okno simulace.

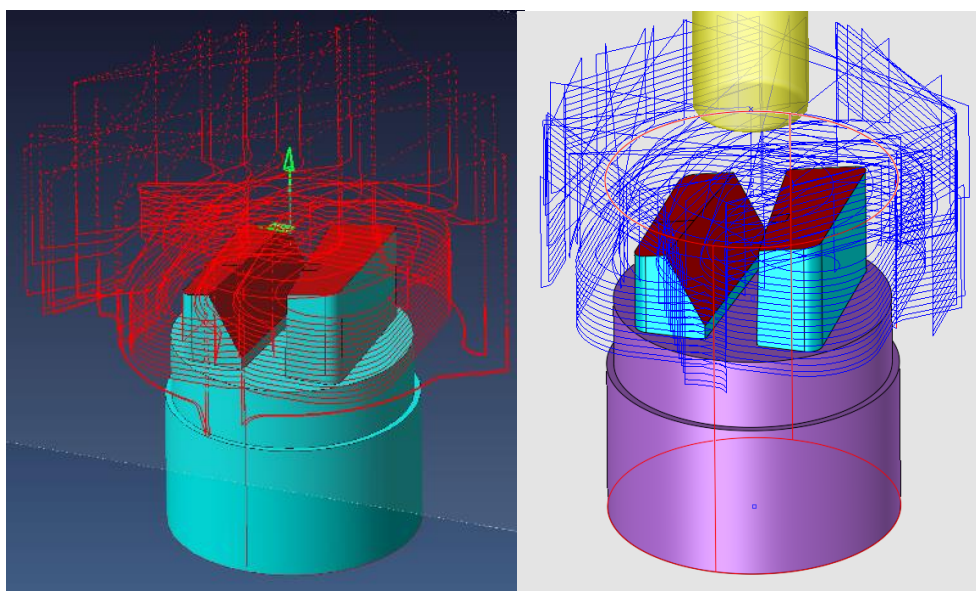
Bohužel nelze ani u jednoho programu nastavit u simulace obrábění odsazení ve směru X a Y (2D jiskrová mezera).

- Čas simulace VISE 6 min 41 sec.
- Čas simulace Cimatron 7 min 38 sec.

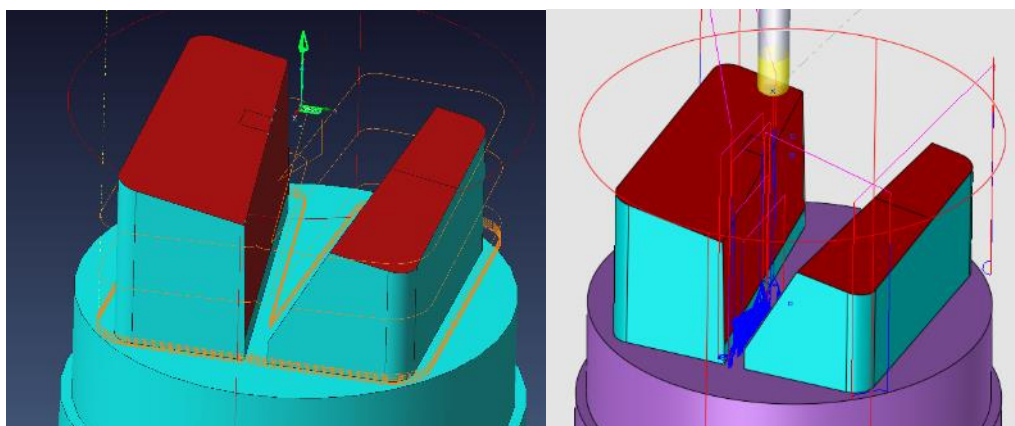
Strategie obrábění



Obrázek 54 – Dráhy nástroje u obrábění na čisto.



Obrázek 55 – Hrubování.



Obrázek 56 – Zbytkové obrábění s omezením v Z ose.

Vyhodnocení druhé části testování softwaru bylo provedeno pomocí vícekritériálního hodnocení, konkrétně metodou jednoduchého stanovení hodnoty (utility) variant. Váha jednotlivých kritérií byla stanovována bodovací metodou.

Stanovení hodnoty (utility) variant

Stanovením hodnoty (utility) variant se určuje celkové ohodnocení variant jako vážený (tj. opravený o váhy jednotlivých kritérií) součet dílčích ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím, tj. podle vztahu:

$$H^j = \sum_{i=1}^n v_i \cdot h_i^j \quad [16]$$

kdy:

- H^j – celkové ohodnocení (hodnota) j-té varianty;
- v_i – váha i-tého kritéria;
- h_i^j – dílčí ohodnocení j-té varianty vzhledem k i-tému kritériu;
- n – počet kritérií hodnocení;
- i – pořadové číslo kritéria, tj. 1, 2, ... n;
- j – pořadové číslo kritéria, tj. 1, 2, ... n;
- m – počet variant.

počet bodů	interpretace
1	zanedbatelné
3	málo významné
5	významné
7	velmi významné
9	značně významné

Tabulka 11 – Interpretace bodování.

		Cimatron	VISI		Cimatron	VISI	
kritérium		hodnocení	hodnocení	Normovaná váha	bodové hodnocení	bodové hodnocení	váha
K1 -	úkosová analýza	5	2	0,042	5	2	5
K2 -	měření modelů	4	2	0,025	4	2	3
K3 -	otevření modelu vtoku	4	3	0,025	4	3	3
K4 -	tvorba vtokové elektrody	3	1	0,076	3	1	9
K5 -	min. počet kroků oří tvorbě elektrody	7 kroků	4 kroky	0,059	2	4	7
K6 -	čas tvorby elektrod na vložku č.1	8,77min	9,27min	0,042	4	4	5
K7 -	průběh tvorby	4	3	0,042	4	3	5
K8 -	kvalita výsledných elektrod	4	2	0,042	4	2	5
K9 -	čas tvorby elektrod na vložku č.2	14,2min	16,58min	0,042	4	3	5
K10 -	průběh tvorby	4	4	0,042	4	4	5
K11 -	kvalita výsledných elektrod	4	3	0,042	4	3	5
K12 -	šablona na tvorbu elektrod	ano	ne	0,025	5	1	3
K13 -	správa nástrojů	3	5	0,042	3	5	5
K14 -	tvorba nástrojů	4	2	0,025	4	2	3
K15 -	import vyjiskřovací mezery z CAD dat	ne	ne	0,025	1	1	3
K16 -	vyjiskřovací mezera v proceduře	ano	ne (zadání záporným odsazením)	0,042	5	3	5
K17 -	zadání obráběného polotovaru	4	5	0,042	4	5	5
K18 -	vytvoření šablony pro obrábění	4	2	0,076	4	2	9
K19 -	simulace obrábění	3	4	0,042	3	4	5
K20 -	výsledný čas obrábění zkoušené elektrody	7,63min	6,68min	0,042	3	4	5
K21 -	strategie obrábění	3	5	0,076	3	5	9
K22 -	technická podpora	5	4	0,076	5	4	9
				hodnocení	3,71	3,16	118
				pořadí	1	2	

Tabulka 12 – Vícekriteriální analýza podrobného testování.

6 Závěr

Vybrané programy byly prověřeny při jednodenním workshopu, kde se ukázaly silné a slabé stránky softwarů. Kromě funkčnosti SW byla prověřena také technická podpora, která hraje významnou roli při zavádění nového CAD/CAM systému, stejně jako při jeho následném používání.

Po absolvování workshopu byl z dalšího testování vyřazen software Solidworks – důvodem byla především jeho nedostatečná technická podpora. Firma 3E Praha přijela na test bez modulu pro návrh forem a elektrod. Z tohoto důvodu zkouška softwaru neproběhla nikterak dobře. Při další schůzce byly představeny moduly pro návrh forem a elektrod – tyto moduly vypadaly dobře, avšak ve stavu, kdy s nimi technická podpora neumí zacházet, je software jen těžko použitelný.

Dalším vyřazeným programem bylo NX – hlavním důvodem byla všestrannost softwaru, který je vhodný spíše pro obecnou konstrukci. Konstrukce forem a elektrod je zde z části řešena skripty napsanými firmou AXIOM TECH, což není ideální. Technická podpora, která přijela na workshop, nebyla ve formařině zběhlá.

Z vícekritériální analýzy vyšly jako vítězové workshopu programy VISI a Cimatron, které byly zvoleny pro dlouhodobé testování.

Cimatron se testoval 10 měsíců. V tomto časovém období byl prověřován návrh elektrod a programování. Program je hodnocen jako graficky příjemný a práce v něm je intuitivní. Problémy s pádem softwaru se objevovaly především při zapínání simulace obrábění – podle technické podpory je příčinou slabá grafická karta. Zásadní problém Cimatronu představuje neumožnění obrábění kulovou frézou při 2D jiskrové mezeře (to se dá obejít použitím toroidní frézy s poloměrem rohu blízcího se rádiu frézy zaokrouhlenému na pět desetinných míst). Nepříjemná je také změna souřadného systému, při které se automaticky nezmění najížděcí souřadnice elektrod, které se následně musí ručně vazbit. Program obsahuje velmi dobré funkce jako je například hromadná změna jiskrové mezery u všech procedur při programování, vizuálně pěkně zpracované a přehledné analýzy, možnosti použití kritéria (barva, hladiny apod.) u šablon pro návrh elektrod a frézování nebo možnost tvorby programu pro elektroerozivní hloubičku. Technická podpora u Cimatronu byla velmi dobrá, zvláště v začátcích při školení.

VISI bylo testováno 4 měsíce. Během této doby bylo odhaleno několik systémových chyb, které byly odstraněny v následujícím updatu. Vydaná verze s tolika chybami je problém. Grafické prostředí a ovládání se jeví oproti Cimatronu horší. Co se týče problémů, u VISI se musí vtokové elektrody tvořit pomocí ploch. Kvůli nemožnosti přiřazení kritérií je tu menší variabilita při vytváření šablon. U nástrojů nelze zadat výšku ostří a odlehčení frézy – simulace nenahlásí kolizi nástroje. Obtížné jsou také zpětné úpravy modelu, software totiž nepoužívá běžnou stromovou strukturu jako ostatní programy. Při tvorbě elektrod vzniká množství malých plošek (může vzniknout i podkošová plocha). Pro určité plochy je vytváření elektrod velmi rychlé. Plusovým bodem je také zadávání všech informací o elektrodě do jedné tabulky. Mezi další výhody patří přehledné zadávání parametrů obrábění či automatický přepočít souřadnic při změně souřadného systému. Oproti Cimatronu bylo školení programu horší a ani technická podpora se nezdá tak dobrá, ale to může být pouze subjektivní dojem.

Z výsledků dlouhodobého testování se dá říci, že Cimatron i VISI splňují požadavek na efektivní výrobu a naprogramování elektrody. Mezi hlavní rozdíly mezi oběma softwary patří

technická podpora, možnosti větší automatizace a přívětivost uživatelského prostředí. Z vícekritériální analýzy zle vyčíst mírnou převahu Cimatronu, který proto tato práce doporučuje jako nejvhodnější.

Výběr tohoto softwaru doporučuji pro horizont 2–3 let, po kterém by se mělo pokračovat v testování, jelikož se trh velice rychle vyvíjí a protože by bylo dobré provést komplexnější testy v konstrukci forem, na které nebyl prostor v této práci, otestována byla pouze při jednodenním workshopu, což nestačí pro zodpovědnou volbu.

Použitá literatura

- [1] KELLER, Petr. Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek - 2. část [online]. Technická univerzita Liberec, 2005.
- [2] LENFELD, Petr. Technologie II. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-467-2.
- [3] Konstrukční provedení vstřikovacích lisů. MM Průmyslové spektrum [online]. 2009(1). ISSN 1212-2572. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>
- [4] Historie a rozvoj vstřikování plastů v ČR. MM Průmyslové spektrum [online]. 2010(1) [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/historie-a-rozvoj-vstrikovani-plastu-v-cr.html>
- [5] Elektroerozivní obrábění: Petr Poslušný. MM Průmyslové spektrum [online]. 17. 7. 2006, **2006**(7) [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-obrabeni.html>
- [6] KAZMER, David. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-570-8.
- [7] Lenfeld, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. Technologie II: Část II - Zpracování plastů. Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní – Katedra stojírenské technologie - Oddělení tváření kovů a plastů, 2008. [online]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obash_plasty.html
- [8] Polymery, Ing. Luboš Běhálek, Ph.D., SOU Svitavy 2015, ISBN: 978-80-88058-68-7
- [9] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [10] KVALITY OCELI Meusburger [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: https://www.meusburger.com/CS/CZ/media/DOC_PRO_POS_Materialqualitaeten_IN.pdf
- [11] Cimatron. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cimatron>
- [12] Dassault Systèmes. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Dassault_Syst%C3%A8mes
- [13] SolidWorks. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [14] Vero Software. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Vero_Software
- [15] NX (program). *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens_NX

- [16] MOTYČKOVÁ, PH.D., doc. Ing. Monika a Ing. Eva ŠTĚPÁNKOVÁ, PH.D. MANAŽERSKÉ ROZHODOVÁNÍ [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/39480/mod_resource/content/1/MANA%C5%BDERSK%C3%89%20ROZHODOV%C3%81N%C3%8D-MOTY%C4%8CKOV%C3%81-%C5%A0T%C4%9AP%C3%81NKOV%C3%81.pdf
- [17] ŽÁK. Tvarecí nástroje vstřikovací formy: Vstřikovací formy [online]. , 39 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf
- [18] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology. MMspektrum [online]. 2013 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-dynamicke-frezovani-vyuziti-kompenzacniho-pristupu.html>
- [19] Obrábění hlubokých děr. SANDVIK Coromant [online]. [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/pages/default.aspx

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vstřikovací stroj s formou. [6].....	11
Obrázek 2 – Schéma nadmolekulární struktury polymerů a) amorfní; b) semikrystalické. [8]	12
Obrázek 3 – Schéma vstřikovací formy. [5].....	14
Obrázek 4 – Vtoková soustava. [7]	15
Obrázek 5 – Pracovní prostředí programu CimatronE 13.	19
Obrázek 6 – Trochoidní křivka.[18].....	21
Obrázek 7 – Opálená měděná elektroda.	22
Obrázek 8 – Elektroerozivní hloubička.	24
Obrázek 9 – Elektroerozivní drátová vrtačka.	25
Obrázek 10 – Porovnávání tvárnice.....	27
Obrázek 11 – Tvárník.....	28
Obrázek 12 – Vtokový přepínač.....	29
Obrázek 13 – Naskenovaná tvárnice.	29
Obrázek 14 – Testovaný výlisek.	30
Obrázek 15 – Úkosová analýza – VISI.	37
Obrázek 16 – Úkosová analýza – Cimatron.	38
Obrázek 17 – Měření – VISI, Cimatron.	38
Obrázek 18 – Vtoková vložka.	39
Obrázek 19 – Chyba na vtokové vložce – Cimatron.	39
Obrázek 20 – Obtisk tvaru vložky.....	40
Obrázek 21 – Elektroda vtoku – Cimatron.....	40
Obrázek 22 – Chyba na vtokové vložce – VISI.	41
Obrázek 23 – Elektroda vtoku – VISI.	42
Obrázek 24 – Vybírání pálicích ploch – Cimatron.....	42
Obrázek 25 – Pálicí těleso – Cimatron.	43
Obrázek 26 – Úprava pálicího tělesa – Cimatron.....	43

Obrázek 27 – Tvorba základny – Cimatron.	43
Obrázek 28 – Hotová elektroda – Cimatron.....	44
Obrázek 29 – Strom elektrody s přehledem elektrod – Cimatron.	44
Obrázek 30 – Tvorba pálicího tělesa – VISI.	45
Obrázek 31 – Vysunutí pálicího tělesa – VISI.	45
Obrázek 32 – Hotová elektroda – VISI.	46
Obrázek 33 – Správce EDM – VISI.	46
Obrázek 34 – Polotovár pro elektrodu – VISI.	46
Obrázek 35 – Vložka 1.	47
Obrázek 36 – Elektrody pro vložku 1 – Cimatron.....	47
Obrázek 37 – Elektrody pro vložku 1 – VISI.	48
Obrázek 38 – Editování základny – VISI.	48
Obrázek 39 – Možnosti prodloužení plochy – Cimatron.	49
Obrázek 40 – Vložka 2.	49
Obrázek 41 – Elektrody pro vložku 2 – Cimatron.....	49
Obrázek 42 – Elektrody pro vložku 2 – VISI.	50
Obrázek 43 – Tabulka nového nástroje – VISI.	50
Obrázek 44 – Správce nástrojů – VISI.	51
Obrázek 45 – Správce nástrojů – Cimatron.....	51
Obrázek 46 Úkosová analýza – Cimatron.	52
Obrázek 47 NC správce procesu - Cimatron.	52
Obrázek 48 Průvodce procedurou - Cimatron.	52
Obrázek 49 – Pracovní prostředí obráběcích strategií – Cimatron.....	53
Obrázek 50 – Simulace – Cimatron.....	53
Obrázek 51 – CAM navigator – VISI.....	54
Obrázek 52 – Pracovní prostředí obráběcích strategií – VISI.	54
Obrázek 53 – simulace – VISI.....	55
Obrázek 54 – Dráhy nástroje u obrábění na čisto.....	56
Obrázek 55 – Hrubování.	56
Obrázek 56 – Zbytkové obrábění s omezením v Z ose.	56

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Rozdělení plastů podle nadmolekulární struktury.	12
Tabulka 2 – Nejpoužívanější materiály při výrobě forem. [10]	17
Tabulka 3 – Přehled systémů a jejich konstrukčních jader.	19
Tabulka 4 – Přehled softwarů.	26
Tabulka 5 – Interpretace bodování.	32
Tabulka 6 – Workshop. Metoda váženého pořadí.	35
Tabulka 7 – Uspořádání hodnot kritérií v tabulce při využití Saatyho metod.	36
Tabulka 8 – Interpretace významu bodů podle Saatyho bodové stupnice.[16].....	36
Tabulka 9 – Výpočet vah, Saatyho metoda.	36
Tabulka 10 Výsledky vícekritériálního hodnocení.	37
Tabulka 11 – Interpretace bodování.	57
Tabulka 12 – Vícekritériální analýza podrobného testování.	58

Seznam příloh

- Program workshopu

Obsah přiloženého CD

Text bakalářské práce:

- Diplomova_prace_2019_Pavel_Vokral.pdf;
- Diplomova_prace_2019_Pavel_Vokral.docx;
- kopie_zadani_Diplomona_prace_2016_Pavel_Vokral.pdf.

Program workshopu

Porovnání modelů

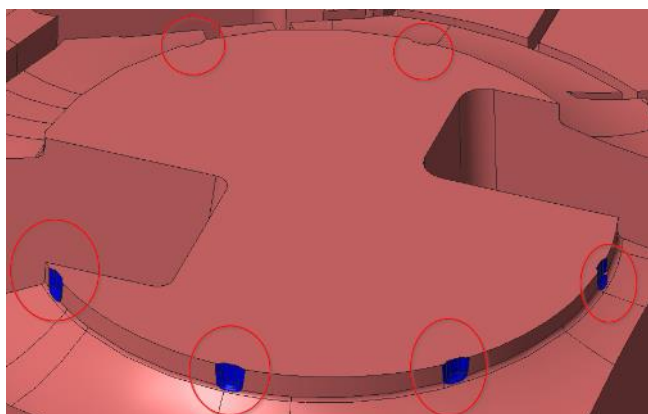
15 minut

Zadání: Porovnejte model 5848_22011.stp a 5848_220211_uprava.stp při přesnosti 0.1 mm a zobrazte jejich rozdíly.

Oprava dat

15 minut

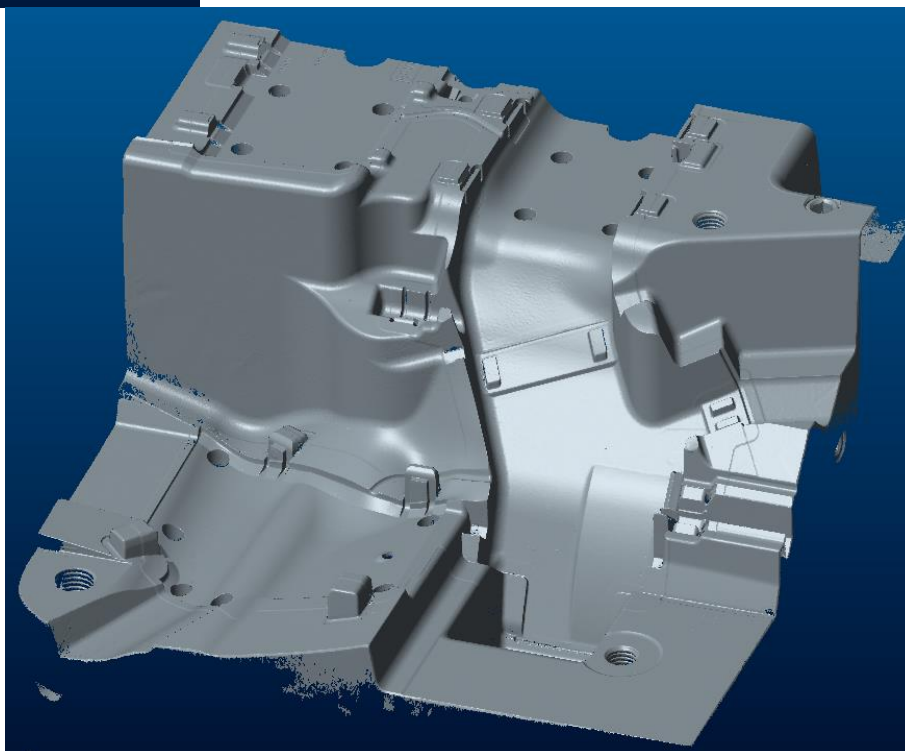
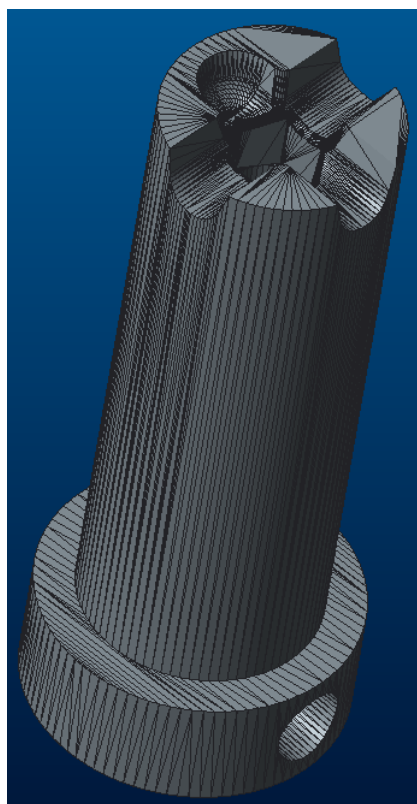
Zadání: Ze sestavy 162100373-SESTAVA.stp vyberte tvárník MACHO.stp, u kterého nejprve zjistěte počet chyb, a poté opravte model pomocí automatické opravy. Zbylé chyby postupně doopravte ručně od zeleně a žlutě vyznačených ploch tak, aby z nich bylo poté možné vytvořit elektrody.



Plochy z .stl (mračna bodů)

20 minut

Zadání: Z naskenovaných modelů prepinac.stl a 215490000forma.stl vytvořte u označených částí geometricky čisté plochy pro obrábění.



Návrh formy

150 minut

Zadání: Navrhněte formu pro přiložený výlisek a přitom proveďte tyto úkony:

Předběžný návrh formy

- odhad ceny formy;
- zaformovatelnost, odhalení možných problémů před návrhem.

Návrh dělicí roviny

- automatická dělicí rovina;
- úprava dělicí roviny.

Konfigurace základní formy

- knihovny desek, kluzných prvků, ...;
- kvalita regenerování při změně návrhu, rozměru formy a výlisku.

Konstrukce odformovacích systémů

- umístění vyhazovačů;
- úprava tvaru dle plochy dotyku;
- knihovna, importace vyhazovačů;
- konstrukce zámku na vyhazovače;
- označování vyhazovačů.

Konstrukce chladicích systémů

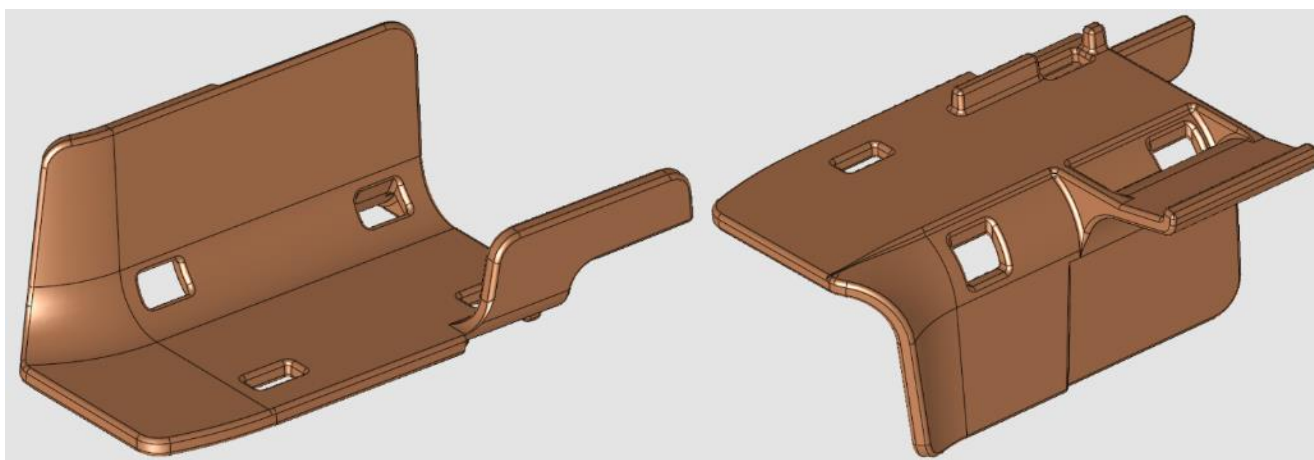
- kontrola, zda nejsou chladicí kanály příliš blízko jiným prvkům;
- automatika rozvržení chlazení.

Konstrukce vtoku

- návrh vtakování dílu.

Výkresová dokumentace

- seznam normálí pro sestavení objednávek;
- šablony pro vytváření výkresové dokumentace.

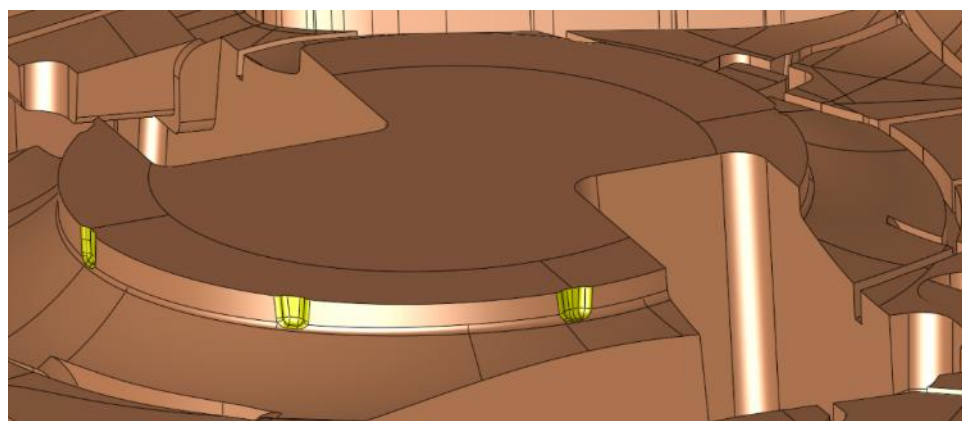
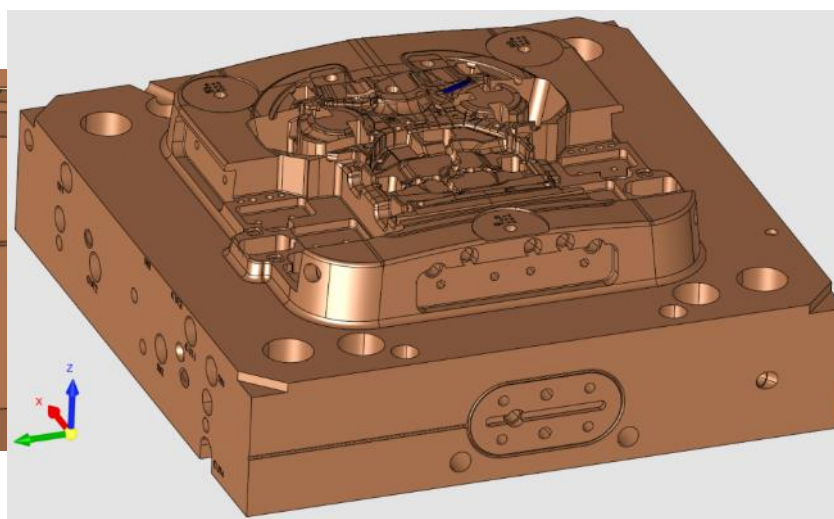
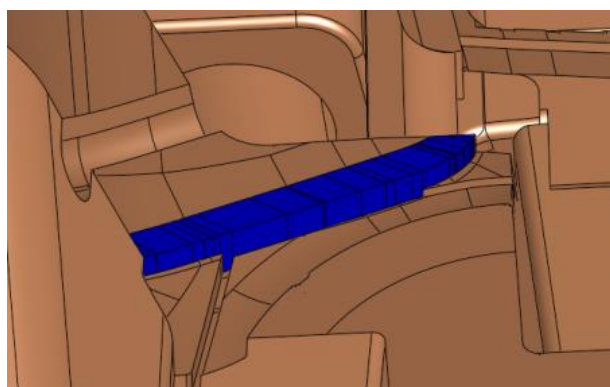
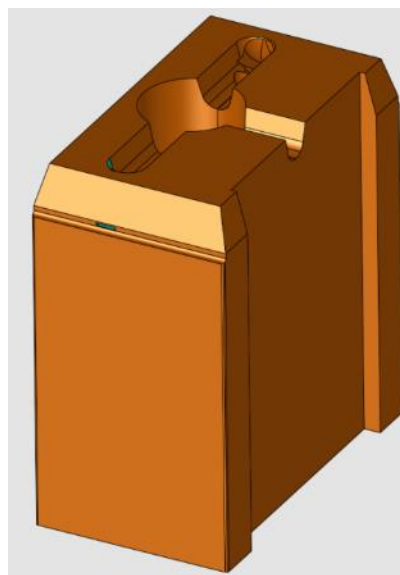
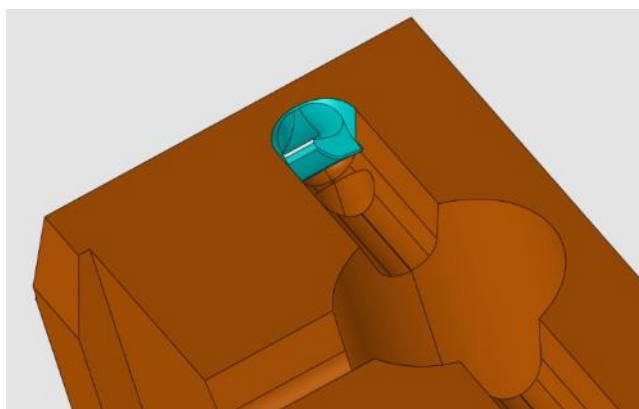


Konstrukce elektrod

100 minut

Zadání: Z opravené sestavy 162100373-SESTAVA.stp otevřete podsestavu SESTAVA_EJ, pro kterou navrhnete:

1. Elektrodu pro tunelový vtok (označen modře), tuto elektrodu použijte i neoznačený vtok.
2. Elektrody pro tmavě modře obarvené plochy.
3. Sdruženou elektrodu pro žlutě obarvené plochy (tři pálené plochy na jednu elektrodu).
4. Pro všechny tyto elektrody vytvořte seřizovací list.



Programování elektrod

30 minut

Zadání: Vytvořte programy pro navržené elektrody a vygenerujte NC programy pro Mikron S 400, které jste v minulém kroku navrhli. Ke každému programu udělejte návodku na obrábění (měla by obsahovat seznam použitých nástrojů, umístění nulových bodů, časy jednotlivých cyklů programu, polotovary).

Programování vložky

30 minut

Zadání: Pro model 5848_220211_frezovani.stp vytvořte vhodný program pro zeleně označené plochy na hrubování a šlichtování (mat. 1.2343 HRC 50) za použití nástrojů:

typ nástroje:	průměr [mm]	R rohu [mm]	přídavek [mm]	tolerance [mm]	ap [mm]	ae [mm]	otáčky [min ⁻¹]	posuv [mm/min]
hrubovací toroidní fréza	16	2	0,2	0,05	1	3	2400	480
hrubovací toroidní fréza	8	2	0,2	0,05	0,5	1,5	4200	1000
kulová fréza	4	2	0	0,01		0,15	9500	1000

