VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE CAD/CAM SOFTWARU WORKNC PŘI OBRÁBĚNÍ

APPLICATION OF WORKNC CAD/CAM SOFTWARE FOR MACHINING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Petr Kuchař
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Bc. Petr Kuchař**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	**Ing. Aleš Polzer, Ph.D.**
Akademický rok:	2018/19

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

Aplikace CAD/CAM softwaru WorkNC při obrábění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V dnešních strojírenských podnicích se velmi úspěšně prosazuje příprava programů pro CNC stroje prostřednictvím CAM softwarů. Tato závěrečná práce je proto zaměřena na návrh vlastní formy (tvárník, tvárnice), zpracování nezbytné výrobní dokumentace a naprogramování její výroby v CAM softwaru WorkNC. Návrh výroby je s ohledem na možnosti firmy SKD Bojkovice.

Cíle diplomové práce:

– stručný popis možností softwaru WorkNC,
– návrh vlastní součásti a zpracování nezbytné výrobní dokumentace,
– stručné technicko–ekonomické hodnocení vlastního navrženého výrobního procesu,
– vytvoření NC programu a jeho kontrola prostřednictvím simulace (vizualizace a verifikace).

Seznam doporučené literatury:

GRZESIK, W. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. Second edition. Boston: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-444-63711-6.

GUPTA. K. (ed.). Advanced manufacturing technologies. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-56098-4.

DAVIM, J. P. (ed.). Modern machining technology: a practical guide. 1st pub. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-85709-099-7.

TSCHÄTSCH, H. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009. xvii, 398 s. ISBN 978--642-01006-4.

SHAW, M. C. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. xix, 651 s. ISBN 01-951-4206-3.

QUESADA, R. Computer numerical control: machining and turning centers. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005. 548 s. ISBN 01-304-8867-4.

Technická příručka obrábění: soustružení - frézování - vrtání - vyvrtávání - upínání nástrojů. AB SANDVIK COROMANT. 2005.10. Švédsko: Elanders, 2005.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

KUCHAŘ Petr: Aplikace CAD/CAM softwaru WorkNC při obrábění.

Cílem této diplomové práce byl návrh výroby tvarových částí vstřikovací formy s ohledem na možnosti firmy SKD Bojkovice. Struktura práce byla rozdělena na dvě hlavní části a to část teoretickou, kde byla stručně představena nezbytná teorie k vypracování části druhé, praktické. V té byla navržena vlastní plastová součástka, zkonstruována vstřikovací forma s důrazem na tvarové části a vypracována nezbytná výrobní dokumentace. Následně byl popsán proces výroby těchto tvarových částí formy a na úplný závěr proběhlo stručné technicko-ekonomické zhodnocení výrobního procesu.

Klíčová slova: vstřikovací forma, návrh výroby, CAD/CAM, WorkNC, obrábění

ABSTRACT

KUCHAŘ Petr: Application of WorkNC CAD/CAM software for machining.

The aim of this thesis was to design core and cavity part of the injection moulding tool with regard to the possibilities of SKD Bojkovice company. The structure of the thesis was divided into two main parts - the theoretical part, where the necessary theory for the elaboration of the second part, the practical one was briefly introduced. In the practical part own plastic component was designed, constructed an injection mold with emphasis on the core and cavity parts of the injection moulding tool and produced the necessary production documentation. Subsequently, the process of manufacturing these parts of the mold was described, and a brief technical-economic evaluation of the manufacturing process took place at the very end.

Keywords: injection moulding tool, production proposal, CAD/CAM, WorkNC, machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUCHAŘ, P. *Aplikace CAD/CAM softwaru WorkNC při obrábění.* Brno 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 71 s. 5 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Aplikace CAD/CAM softwaru WorkNC při obrábění vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V …… dne 24.5.2019

……

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za možnost vypracovat tuto diplomovou práci pod jeho vedením. Dále děkuji firmě SKD Bojkovice a jejím zaměstnancům za umožnění zpracování tohoto tématu a cenné připomínky a rady. Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině za veškerou podporu při studiu.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD 12

1 VSTŘIKOVACÍ FORMA 13

1.1 Definice vstřikovací formy 13

1.2 Rozdělení vstřikovacích forem 14

1.3 Části vstřikovací formy 14

1.4 Materiály vstřikovacích forem 15

1.5 Konstrukční a technologické prvky forem 17

1.5.1 Násobnost nástroje 17

1.5.2 Vtokové systémy 17

1.5.3 Vyhazovací systémy 19

1.5.4 Temperace nástroje 20

1.5.5 Odvzdušnění nástroje 20

2 PROCES VÝROBY VSTŘIKOVACÍ FORMY 21

2.1 Nabídkové řízení 21

2.2 Konstrukce 21

2.3 Technická příprava výroby 21

2.4 Výroba 22

2.5 Montáž 22

3 MOŽNOSTI SOFTWARU WORKNC 24

3.1 Charakteristika WorkNC CAM 24

3.2 CAD modul WorkNC 24

3.3 Princip WorkNC CAM 25

3.3.1 Inicializace polotovaru 25

3.3.2 Volba strategie obrábění 25

3.3.3 Parametry strategie obrábění 26

3.3.4 Editace dráhy 27
3.3.5 Výpočet dráhy 27
3.3.6 Simulace procesu 27
4 CHARAKTERISTIKA SOUČÁSTI 28
4.1 Rozbor součásti 28
4.2 Materiál výstřiku 28
5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY 29
5.1 Konstrukce modelu součásti 29
5.2 Generování vstřikovací formy 30
5.2.1 Tvárník a tvárnice 30
5.2.2 Tvorba tvarových vložek 31
5.2.3 Základna formy 32
5.2.4 Další konstrukční komponenty 32
5.2.5 Dokončení tvárníku a tvárnice 34
5.3 Moldflow simulace vstřikovacího procesu 35
6 TECHNOLOGIE VÝROBY 36
6.1 Volba materiálu 36
6.2 Volba strojů 37
6.2.1 Úhlovací operace 37
6.2.2 CNC frézování a vrtání 37
6.2.3 Bruska 38
6.2.4 CNC frézování grafitových elektrod 38
6.2.5 Hloubička 39
6.2.6 Drátovka 39
6.3 Výroba tvárnice vstřikovací formy 40
6.3.1 Zapolohování CAD modelu tvárnice 40
6.3.2 Úhlování tvárnice 41
6.3.3 Vrtání 42
6.3.4 Hrubování 45
6.3.5 Kalení 46
6.3.6 Broušení 46
6.3.7 Předdokončování 46
6.3.8 Dokončování 48

6.3.9 Výroba elektrody pro hloubení 49
6.3.10 Řezání drátem 50
6.3.11 Hloubení 50
6.3.12 Technologický postup výroby tvárnice 51
6.4 Výroba tvárníku vstřikovací formy 53
6.4.1 Zapolohování CAD modelu tvárníku 53
6.4.2 Úhlování tvárníku 54
6.4.3 Dodatečné nástroje k obrábění tvárníku 54
6.4.4 Výroba elektrod pro hloubení 57
6.4.5 Řezání drátem 57
6.4.6 Hloubení 58
6.4.7 Technologický postup výroby tvárníku 59
6.5 Technologický postup výroby vložky tvárníku 62
6.6 Výroba vyhazovačů 62
7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY 63
ZÁVĚR 64
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 65
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 67
SEZNAM OBRÁZKŮ 68
SEZNAM PŘÍLOH 71

ÚVOD

Výrobky z polymerních materiálů jsou v dnešní době již všude kolem nás. Ne nadarmo se říká, že žijeme v době plastové. Nejrozšířenější technologií pro jejich výrobu je v současnosti technologie vstřikování plastů. Nedílnou součástí této technologie je mimo vstřikovací stroj také vstřikovací forma. Ta dokáže produkovat i velice technicky složité díly ve velmi krátkém výrobním cyklu.

Výroba těchto forem je nejenom ekonomicky velice náročná, ale vyžaduje především kvalifikovaný personál. Jelikož můžou být tvarové dutiny formy rozmanitých složitých tvarů, neobejdeme se při výrobě bez moderních technologií obrábění. Proto mají dnes již téměř všechny nástrojárny 5ti-osé CNC frézky, při jejichž programování využíváme moderní CAM softwary. A právě na výrobu tvarových částí vstřikovací formy je zaměřena tato diplomová práce.

Nejprve se v teorii zaměřím, jak taková vstřikovací forma vlastně vypadá a bude popsán samotný proces její výroby. Následuje představení moderního CAM softwaru WorkNC od společnosti SESCOI, kde bude nastíněno, jaké má tento software možnosti a jak se v něm pracuje. V praktické části byla zvolena součástka víko na box od společnosti The LEGO Group. Jako první část proběhla konstrukce vstřikovací formy s důrazem na její tvarové části a vyrobitelnost dílu technologií vstřikování plastů. Poté byl vypracován CAM program pro výrobu tvárníku a tvárnice na moderním 5ti-osém stroji DMU 125 P duoBLOCK. Tento program byl verifikován pomocí simulací. Následuje vypracování kompletního výrobního postupu a na závěr stručné ekonomické zhodnocení výroby tvarových částí.

1 VSTŘIKOVACÍ FORMA

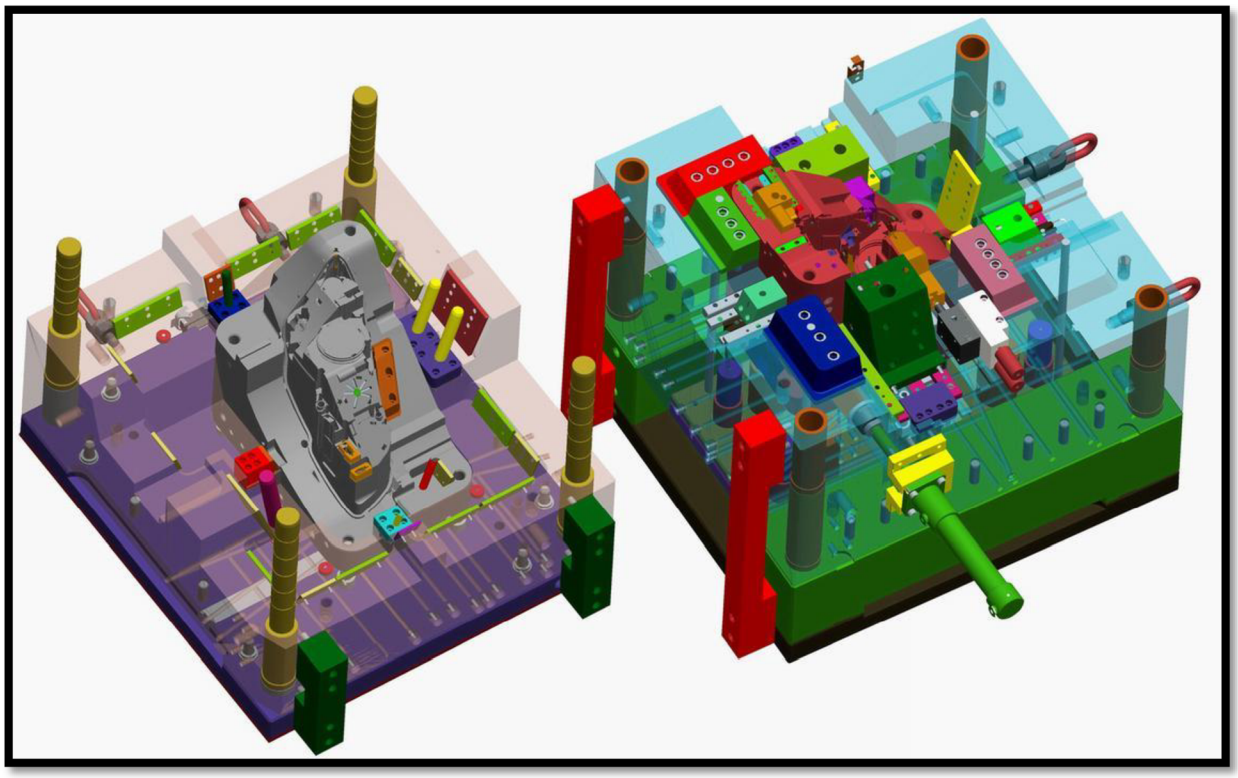
1.1 Definice vstřikovací formy

Vstřikovací forma je spolu se vstřikovací jednotkou stroje nejdůležitější součástí samotného procesu vstřikování plastů. Je to výměnný nástroj, který se upíná mezi upínací desky uzavírací jednotky stroje, ale není jeho pevnou součástí. Na samotný stroj tedy můžeme upínat formy různých velikostí a tonáží, kdy každá forma produkuje jiný dílec. Tyto formy musí ovšem splňovat výrobní možnosti stroje. Každá forma má svoji pevnou a pohyblivou část viz obr. 1.

Jedná se o komplexní systém, který musí splňovat mnoho požadavků vycházející z této výrobní technologie. Primární funkcí formy je zabezpečení přísunu taveniny do dutiny formy a její vyplnění za účelem vzniku plastového výrobku. Sekundární funkcí formy je zaručení efektivního odvodu tepla přivedeného taveninou polymerního materiálu. Třetí hlavní funkcí je zajištění bezpečného a rychlého vyjmutí dílce z formy. Tyto tři hlavní funkce s sebou nesou další dílčí požadavky, které se ve výrobním procesu nástroje nesmí opomenout. [1]

Forma musí během své životnosti splňovat tyto požadavky: [2]

- odolávat vůči vysokým tlakům,
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku,
- snadné vyjmutí výstřiku, snadná obsluha a automatický provoz,
- zajištění efektivní údržby nástroje,
- vysoké využití zpracovávaného plastu.



Obr. 1 Příklad vstřikovací formy - vlevo pevná část, vpravo pohyblivá [3]

1.2 Rozdělení vstřikovacích forem

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin: [2]

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle vtokového systému na formy s horkým či studeným vtokem,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelisťové, vytáčecí apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělící rovinu, na formy se vstřikem do dělící roviny nebo na formy s kombinovaným vstřikováním (vstřikovací stroj má více vstřikovacích jednotek a jedná se o tzv. 2K vstřikování),
- podle vstřikovaného polymeru na formy pro termoplasty, reaktoplasty či elastomery.

Jednotlivé typy forem volíme s ohledem na charakter vstřikovaného dílu, jeho složitost, hmotnost, kalkulaci, výrobní sérii, atd. Nejjednodušší typ vstřikovací formy je dvoudesková forma se studeným vtokovým systémem viz obr. 2.

1.3 Části vstřikovací formy

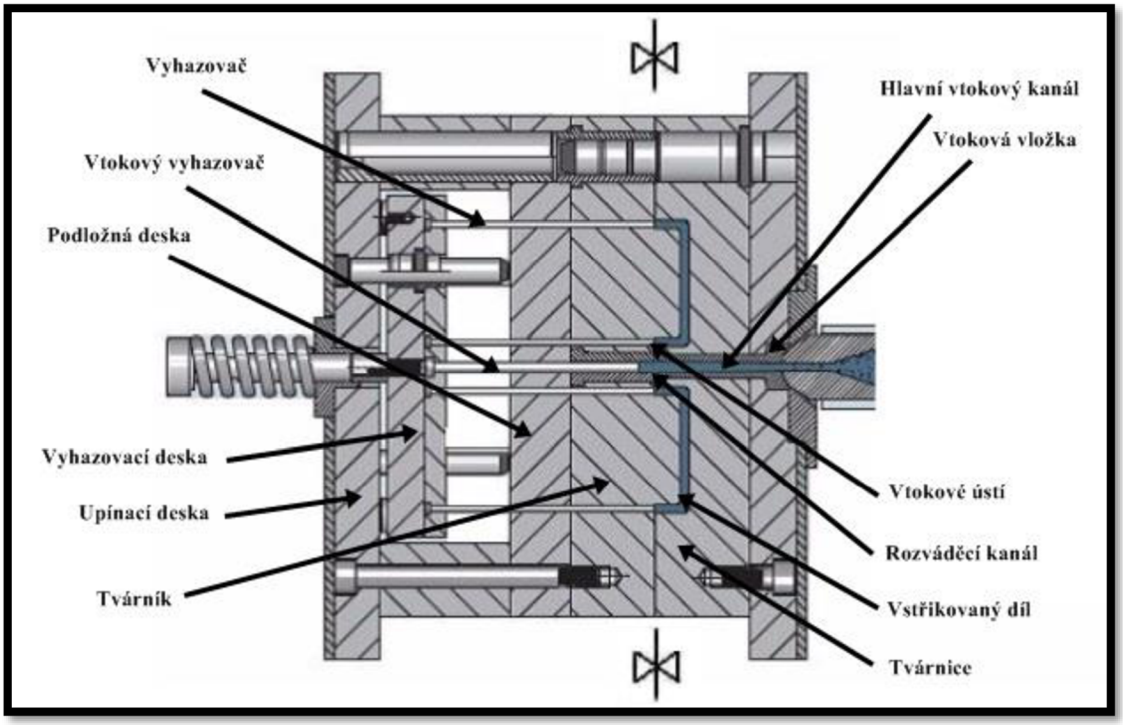
Jak už bylo řečeno, vstřikovací forma je složitý systém mnoha dílů, které můžeme opět rozdělit do několika skupin. Základní rozdělení je z hlediska funkce jednotlivých částí a to na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost formy, zatímco části funkční se stýkají s plastovou taveninou a udělují výstřiku požadovaný tvar. [4]

Tyto části formy můžeme dále rozlišit na: [4]

- díly vymezující tvarovou dutinu formy (tvárník, tvárnice, vložky, slidery, …),
- chladící (temperační) systémy,
- vtokové systémy,
- vyhazovací systémy,
- upínací a vodicí elementy, rámy a desky formy.

Jednotlivé části můžeme také vidět na obr. 2.

Kvalitu a jakost výstřiku společně s parametry vstřikovacího procesu nejvíce ovlivňuje vtoková soustava, což je systém kanálů a ústí vtoků, který zajišťuje správné naplnění dutiny formy, snadné oddělení od výstřiku a vyhození vtokového zbytku. Více v kapitole 1.5.2., která se problematice vtokových systému věnuje více dopodrobna. [4]



Obr. 2 Schéma dvoudeskové vícenásobné vstřikovací formy se studeným vtokovým systémem [5]

1.4 Materiály vstřikovacích forem

Volba materiálů, ze kterých se budou jednotlivé části formy vyrábět, je neoddělitelnou součástí výroby vystřikovací formy. Stejně jako existuje mnoho druhů plastových materiálů, existuje i řada kovových železných a neželezných materiálů použitelných při výrobě vstřikovacích forem. Vstřikovací formy jsou v drtivé většině stavěny na statisícové výrobní série. Také konstrukce forem a jejich výroba je náročná nejenom na odborné znalosti, ale také na finanční náklady. Z těchto důvodů musí technolog výroby pečlivě zvážit vhodné materiály pro jednotlivé části formy. [1] [4]

Volba materiálů vstřikovacího nástroje je závislá na typu zpracovávaného polymeru, na použité technologii, na charakteru výrobku, jeho velikosti, hmotnosti a složitosti, na velikosti výrobní série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Dnes se také velmi často užívá polymerů obsahující různé přísady, např. skleněná vlákna zvyšující tvrdost plastového výstřiku (PA66 GF35 – polyamid s 35 % glass fiber). Nicméně, tyto vlákna velmi výrazně abrazivně namáhají dutinu formy a proto musíme materiál nástroje přizpůsobit. Důležitým faktorem životnosti formy je také tepelné zpracování na tvarových částech nástroje, zejména se v praxi používá kalení s následným popouštěním. [1] [4]

Životnost formy se udává v počtu cyklů, a protože se většinou jedná o vysoce sériovou výrobu, je žádoucí dosáhnout životnosti až milionu zdvihů (standart firmy SKD Bojkovice). Pro zvýšení počtu výstřiků na jeden cyklus se navrhuje forma vícenásobná.

Označení materiálu	Základní vlastnosti	Doporučené použití
1.0577	**Základní konstrukční ocel** dobrá svařitelnost, nekalená	obyčejné díly formy bez požadavku na vyšší mechanické vlastnosti
1.1730	**Nástrojová ocel** desková ocel	netvrzené díly forem a přípravků, upínací desky forem, rozpěry
1.2083	**Prokalitelná ocel** částečná korozivzdornost, legovaná vhodná k leštění	vložky dutiny forem, tvarové desky
1.2085	**Nástrojová ocel** předtvrzená, korozivzdorná dobrá obrobitelnost, legovaná	korozně odolné díly forem - vložky, slidery, atd.
1.2162	**Ocel k lokálnímu kalení** legovaná	desky forem
1.2210	**Za studena obráběná ocel** odolnost vůči opotřebení	jádrové kolíky, malé soustružené díly
1.2311	**Nástrojová ocel** legovaná a předtvrzená vhodná k nitridování a leštění	desky forem, vložky a mechanicky namáhané díly
1.2312	**Nástrojová ocel** legovaná a předtvrzená dobrá obrobitelnost	desky a díly vysoce mechanicky namáhané
1.2316	**Nástrojová ocel** předtvrzená, korozivzdorná vhodná pro leštění	díly forem pro korozivní polymery
1.2343	**Ocel k prokalení** rozměrová stálost, obrobitelnost, odolnost proti opotřebení	desky forem, vložky
1.2738	**Nástrojová ocel** předtvrzená ocel s rovnoměrnými mechanickými vlastnostmi	velké desky s hlubokými dutinami např. pro formy na nárazníky
1.7131	**Ocel k lokálnímu kalení** legovaná	vodící elementy, jádra
Polmax	**Ocel k prokalení** vynikající leštitelnost, odolnost proti korozi	využití u forem pro čočky, lékařské aplikace
AMPCO®	**Hliníkový bronz** vysoká odolnost, dobrá tepelná vodivost	vložky, tvarové části

Tab. 1 Vybrané používané materiály pří výrobě vstřikovacích forem. [1]

1.5 Konstrukční a technologické prvky forem

1.5.1 Násobnost nástroje

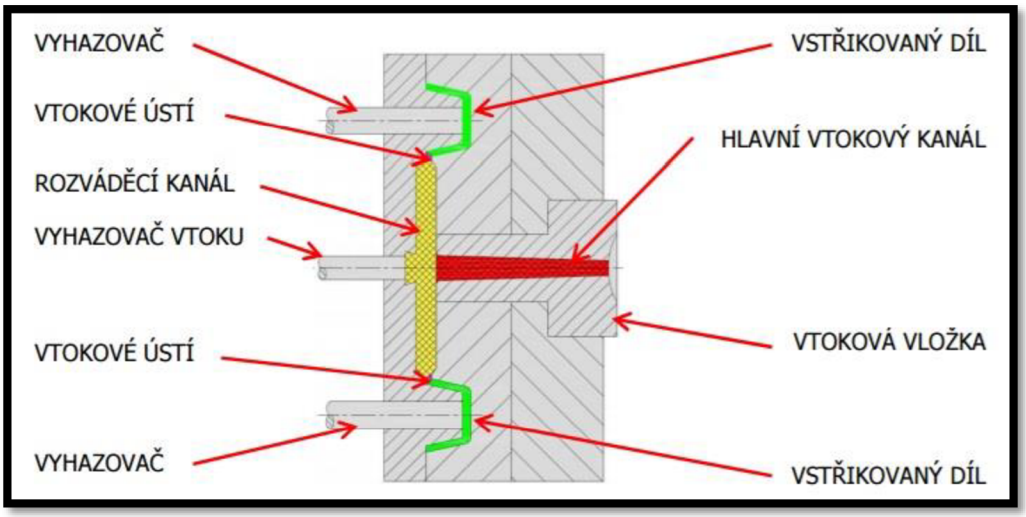
Jak už bylo zmíněno, technologie vstřikování je především pro velké výrobní série. Proto se pro zvýšení produktivity užívá tzv. vícenásobných forem. Násobnost vstřikovacího nástroje tedy znamená počet dutin ve formě. Při stanovení násobnosti musí konstruktér brát v potaz charakter, složitost, přesnost a velikost výsledného výstřiku, požadované výrobní množství, ekonomiku výroby a parametry vstřikovacího stroje. Nejpřesnější a nejkvalitnější díly vyrábíme v méněnásobných formách, ideálně ve formách s jednou dutinou. U vícenásobných forem se rozložení tvarových dutin volí tak, aby dráha toku taveniny byla co nejkratší a stejně dlouhá. Pokud to není možné, můžeme také upravit vtokové ústí jednotlivých dutin. Příklad vícenásobné vstřikovací formy na obr. 2. [6]

1.5.2 Vtokové systémy

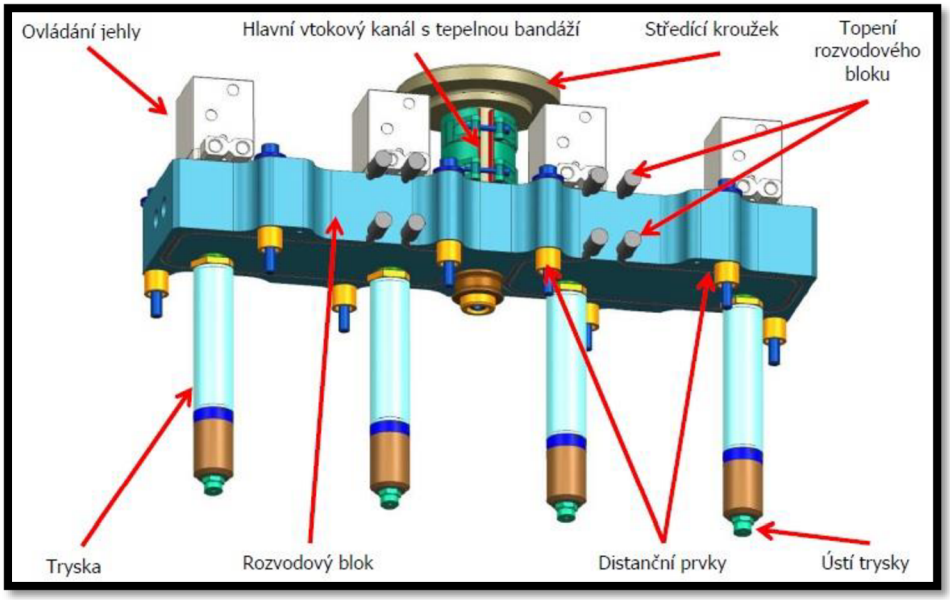
Vtokový systém je soustava kanálů a ústí vtoků, která zajišťuje rovnoměrné naplnění dutin formy v co nejkratším možném čase a s minimálními možnými odpory, snadné oddělení výstřiku od vtoku a snadné vyhození vtokového zbytku. Protože vtokový systém nejvýrazněji ovlivňuje výslednou kvalitu dílu a také produktivitu, nesmíme tuto volbu podcenit. [2]

Vtokové systémy rozlišujeme na studené a horké viz obr. 3 a 4. Mezi hlavní výhody horkého vtoku patří úspora materiálu vzhledem k žádnému či menšímu vtokovému zbytku, časové zkrácení vstřikovacího cyklu, možnost postupného otevírání trysek (řízení poloh studených spojů), menší uzavírací síla stroje, regulací teploty můžeme ovlivnit vlastnosti vstřikovaného dílce. Jako nevýhody považujeme náročnější konstrukční zástavbu do formy, větší pořizovací náklady, obtížné dodatečné změny polohy vtoků, nemožnost použití pro některé materiály s velkou citlivostí na teplo. Horké vtoky jsou tedy výhodné při velkosériové výrobě. [8]

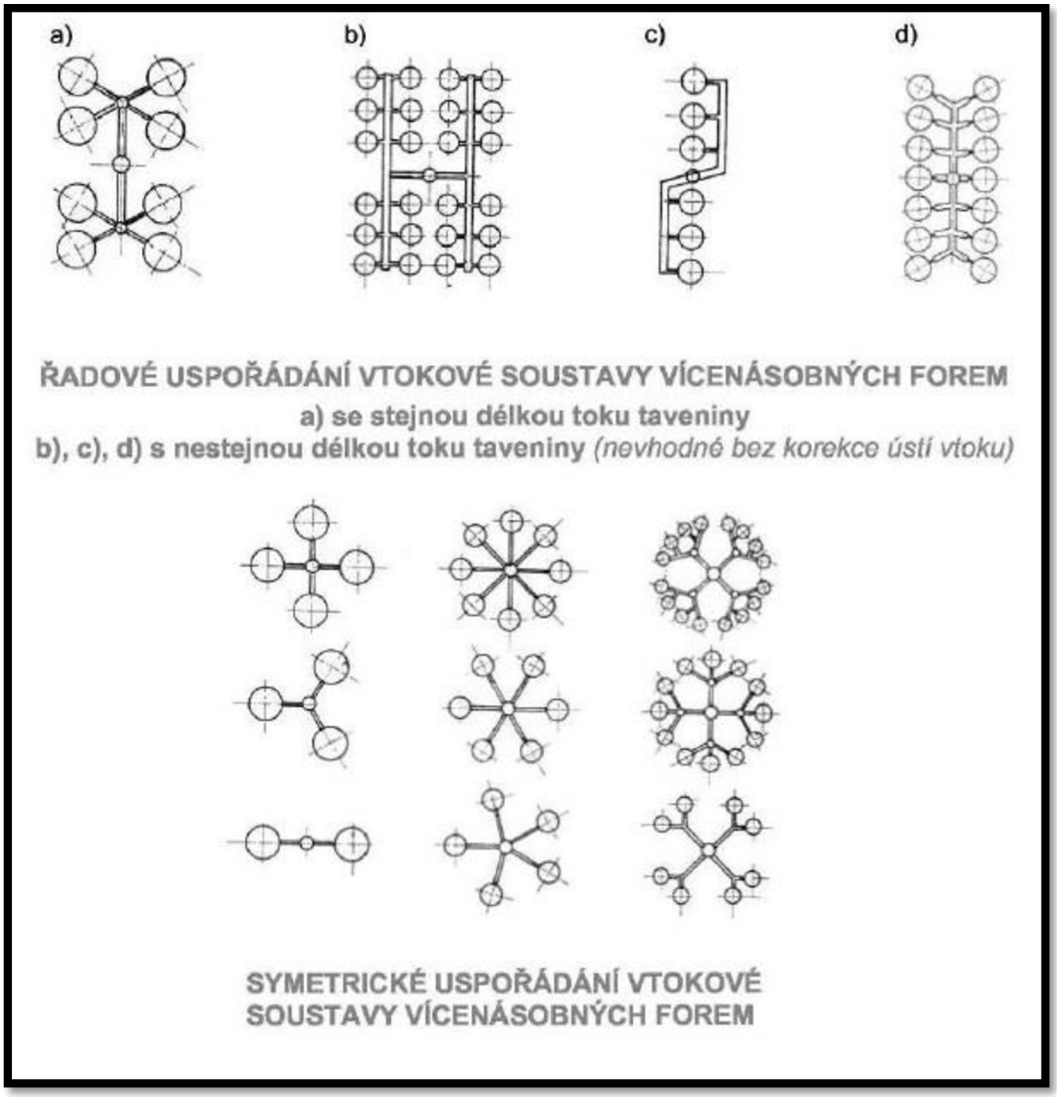
Vtoková soustava je dána především tvarem výsledného výstřiku, násobností formy, rozmístěním tvarových dutin a také podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. U vícenásobných vstřikovacích forem je nejdůležitějším požadavkem, aby všechny tvarové dutiny byly plněny současně a při stejných technologických podmínkách, což znamená při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. Příklady uspořádání vtokového systému u vícenásobných forem na obr. 5. Z hlediska konstrukce je velmi složité navrhovat tyto rozvody u vícenásobných forem, kdy každá dutina má jiný tvar. V praxi se využívají softwarové Moldflow analýzy, které dokážou simulovat průběh plnění jednotlivých dutin, čímž se můžou některé nedostatky eliminovat již v počátku konstrukce. [2]



Obr. 3 Schéma studeného vtokového systému [7]



Obr. 4 Příklad horkého vtokového systému [8]



Obr. 5 Příklady uspořádání vtokové soustavy u vícenásobných forem [2]

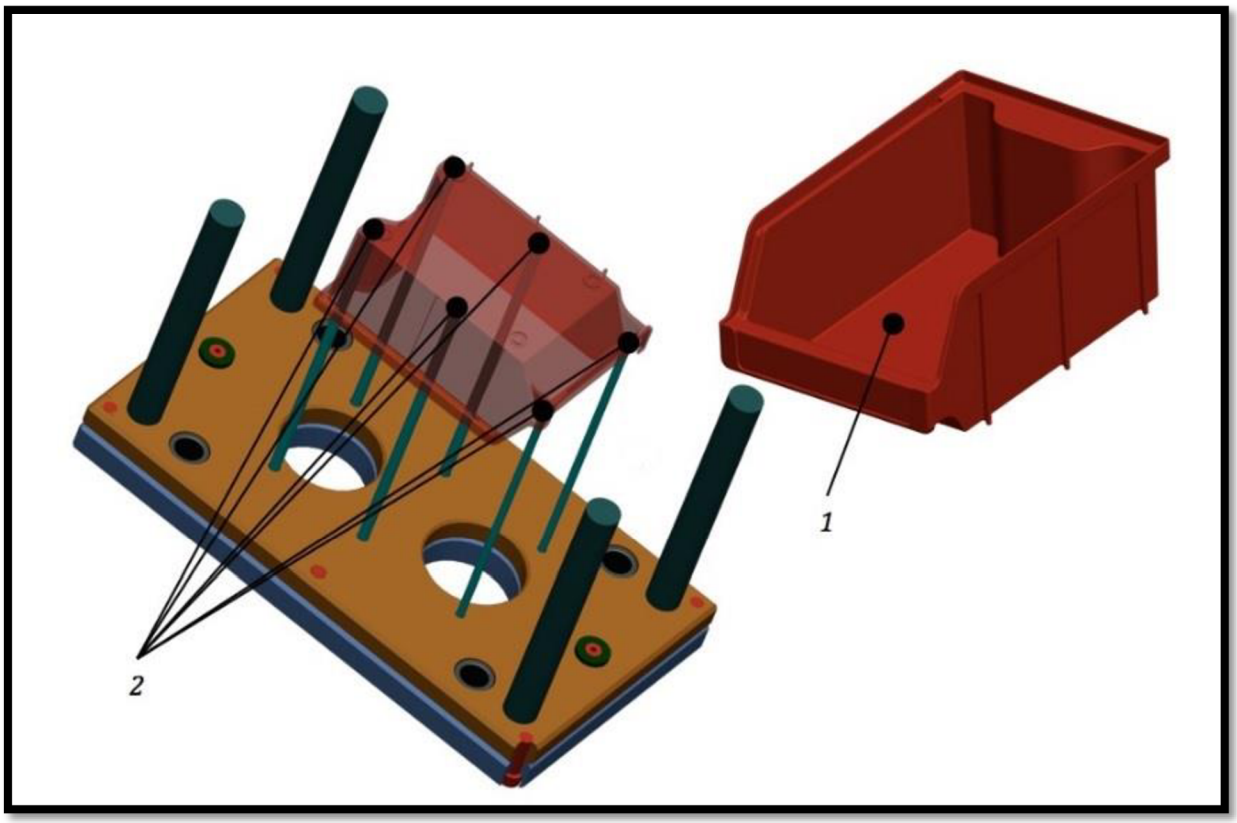
1.5.3 Vyhazovací systémy

Plastové výstřiky se při procesu vstřikování v důsledku ochlazování smršťují a tím se pevně přichytí na tvarové části formy. K jejich vyjmutí z formy, stejně tak vtokového zbytku, slouží vyhazovací systémy. [9]

Nejjednodušší provedení představuje soustava nejčastěji válcových či plochých vyhazovačů upevněných k vyhazovací desce viz obr. 6. Ta je spojena s vyhazovacím mechanismem vstřikovacího stroje, který je nejčastěji poháněný hydraulicky. Existuje ale celá řada dalších vyhazovacích systémů jako jsou stírací desky a kroužky, trubkové vyhazovače, vytáčecí vyhazovací systémy, vyhazování stlačeným vzduchem, atd. Vyhazovací systémy se můžou mezi sebou také kombinovat. Výstřiky po vyhození buď padají vlivem gravitace do bedny pod vstřikovací lis, nebo se odebírají ručně či robotem přímo z vyhazovacího systému. [1]

Bez ohledu na typ a řešení by měl vyhazovací systém splňovat tyto požadavky: [1]

- snadné odformování vstřikovaného dílu,
- odformování vstřikovaného dílu bez jeho deformací,
- snadné odformování vtokového systému,
- výstřiky musí při otevření formy zůstat na pohyblivé části formy, která je opatřena vyhazovacím systémem – využití podkosů na vyhazovačích.

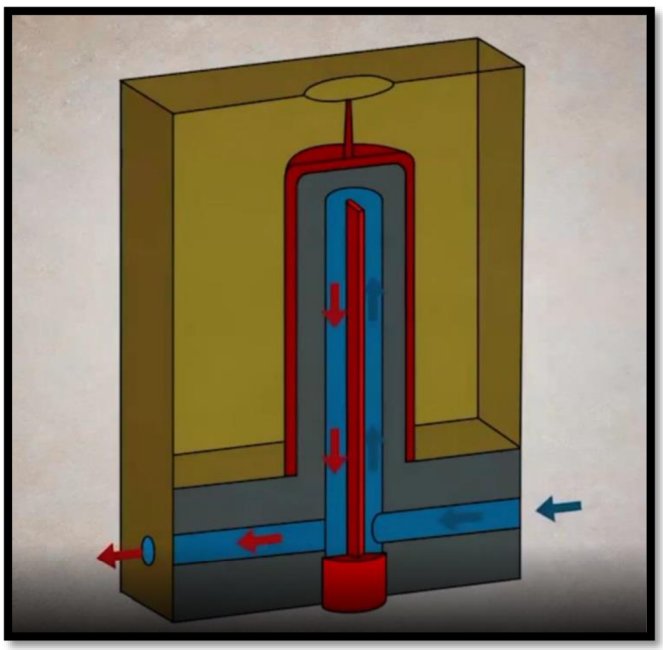


Obr. 6 Vyhazovací systém formy, 1 - výstřik, 2 - poloha vyhazovačů na výstřiku [1]

1.5.4 Temperace nástroje

Pro zajištění rychlé reprodukovatelnosti výroby musí tavenina v dutině formy zchladnout z technologického a ekonomického hlediska co nejrychleji a proto se u vstřikovacích forem navrhuje temperační systém. Jedná se o systém kanálů a dutin, umožňujících prostup tepla z taveniny do formy a temperační kapaliny, zpravidla vody. Vstřikovací forma se udržuje na požadované teplotě pomocí chladicího média, které protéká soustavou chladicích kanálů. S ohledem na kvalitu výsledného výstřiku je žádoucí, aby se tavenina ochlazovala ve všech místech stejnou rychlostí. Důsledky nerovnoměrného ochlazování se projevují např. tím, že výrobek obsahuje vnitřní pnutí, které vede k deformacím a trhlinám. [4]

Temperační systém bývá rozdělen na dva základní okruhy a to na okruh pro pohyblivou část formy a na okruh pro část pevnou. Každá polovina formy může obsahovat vícero temperačních okruhů, např. u pevné poloviny bývá standardem okruh pro chlazení výstřiku a okruh pro chlazení vtokové trysky. Rozmístění temperačních kanálů a jejich rozměry je nutno navrhnout s přihlédnutím k celkovému řešení formy, např. umístění vtokové soustavy, vyhazovacího systému nebo poloze tvarových vložek, přičemž výhodnější je použít větší počet menších kanálků. [4]



Obr. 7 Temperační systém pomocí přepážky [1]

1.5.5 Odvzdušnění nástroje

Při plnění dutiny vstřikovací formy tavenina velmi rychle před sebou vytlačuje vzduch, který zůstal v dutině po uzavření formy. Přestože určité množství vzduchu unikne přes dělící rovinu např. vodícími plochami vyhazovačů, vložek či sliderů, musí být většina vstřikovacích forem opatřena dalšími konstrukčními prvky, které umožní kompletní a rychlý odvod vzduchu z dutiny vstřikovací formy. Nejjednodušší variantou zlepšení odvodu vzduchu z dutiny vstřikovací formy je umístění odvzdušňovacích drážek do dělící roviny. Ty jsou jednoduše vyrobitelné a tvoří přímou cestu pro taveninou vytlačovaný vzduch. Dostatečné odvzdušnění je žádoucí, protože doba vstřiku polymeru je velmi krátká a může docházet k nedokonalému vyplnění dutiny formy či tzv. dieselefektu. Naopak předimenzované odvzdušnění může vést např. ke vzniku přetoků. [1]

2 PROCES VÝROBY VSTŘIKOVACÍ FORMY

2.1 Nabídkové řízení

Proces výroby vstřikovací formy začíná v okamžiku obdržení nominačního dopisu od zákazníka, který výrobu formy poptává. Nástrojárny se tedy utkávají v tržní soutěži, kde si vzájemně konkurují zejména cenou vstřikovací formy, její kvalitou, stávajícími zkušenostmi a know-how a referencemi z předchozích projektů. Zajištění jednotlivých projektů má na starosti obchodní oddělení firmy. Každý projekt je potom interně i externě řízen projektovým managementem, který zodpovídá za výrobu a dodržení termínů.

2.2 Konstrukce

První část před samotnou výrobou formy je zhotovení její konstrukce s ohledem na vyrobitelnost dílu technologií vstřikování plastů. Vstupními parametry pro konstrukci je výkres či 3D model od zákazníka, vstřikovaný materiál, informace o výrobní dávce, atp. Výsledkem této fáze by měly být tyto parametry [1]:

- Počet tvarových dutin
- směr otevírání formy,
- poloha dělící roviny,
- rozložení formy (slidery, vložky, …)
- způsob odformování výstřiků,
- výrobní dokumentace – 2D a 3D data.

Obecně platí, že všechny díly vstřikovacího nástroje by měly být navrženy co nejjednodušeji a s co nejmenšími rozměry. Nesmíme opomenout průběžnou kontrolu, neboť dodatečné konstrukční změny můžou být velice nákladné či dokonce nemožné. [1]

2.3 Technická příprava výroby

Další nedílnou součástí procesu výroby forem je technická příprava výroby. Jejím cílem je zajištění snadné, plynulé a ekonomické výroby vstřikovací formy. Součástí tohoto procesu jsou tyto dílčí úkony:

1. Volba materiálů jednotlivých částí formy,
2. sestavení technologického postupu výroby,
3. tvorba CAM programů a jejich simulace,
4. výběr vhodných obráběcích nástrojů,
5. zajištění materiálů a normálií,
6. zajištění kooperací, atp.

2.4 Výroba

Při výrobě forem se využívají konvenční i nekonvenční metody obrábění, proto jsou nástrojárny náročné na strojový park. Co se týče třískového obrábění, disponují moderní nástrojárny stroji pro soustružení, frézování (konvenční i 5ti-osé CNC stroje), vrtání a broušení. Z nekonvenčních metod se využívá zejména elektrojiskrové obrábění, tzv. EDM hloubení a řezání drátem.

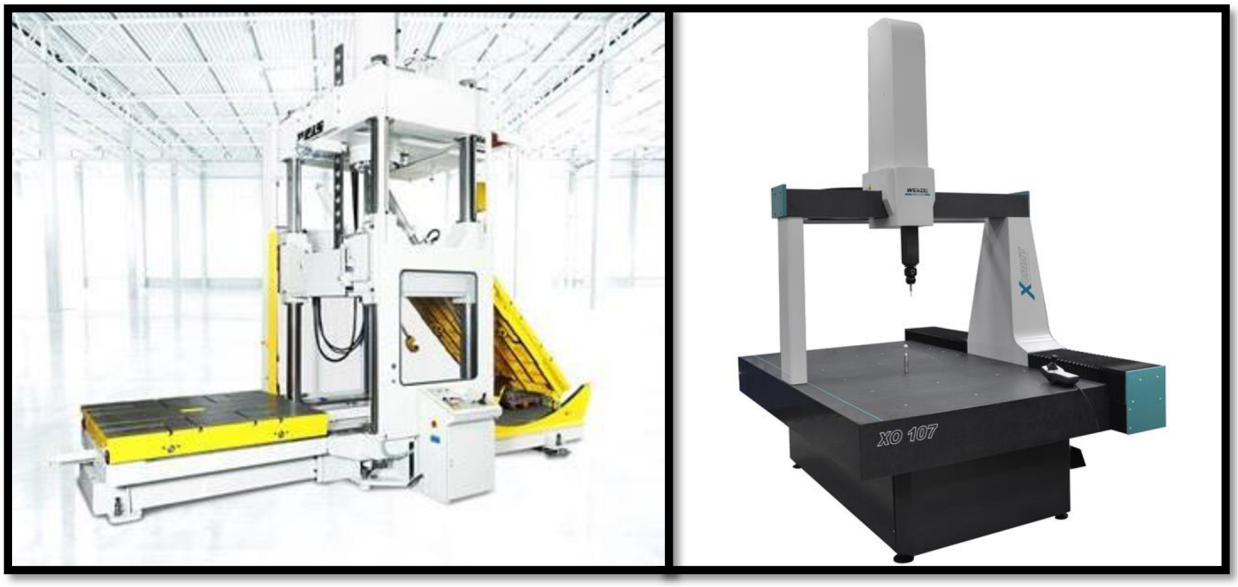
Pokud máme splněny všechny kroky nutné k zajištění výroby, můžeme začít strojně obrábět, přičemž sled operací je následující. Výroba formy začíná zúhlováním bloku oceli. Připravíme jej pro přesné obrábění na CNC a v případě potřeby zhotovíme upínací drážky a otvory. Po zúhlování následuje vrtání chladících kanálků. Pro dlouhé otvory se využívá dělových vrtáků. Následuje hrubování tvarových ploch dutiny formy s přídavkem +0,7 mm oproti konečnému tvaru. Vzhledem k tomu, že technologie vstřikování je pro velké výrobní série a vlivem vysokých tlaků a teplot dochází k opotřebení dutiny formy, je nutné tepelné zpracování tvarových dílů. Proto následuje kalení s následným popouštěním. Po kalení následuje broušení technologických ploch součástí. Následuje předdokončování s přídavkem +0,2 mm a samotné dokončování dílů. Finální operace jsou řezání drátem (díry pro vyhazovače, vtokové vložky) a EDM hloubení. K této operaci je ovšem nutná výroba nejčastěji grafitových elektrod. Tato výroba probíhá na strojích výhradně pro tento účel určených. Po ukončení veškeré strojní výroby následuje měření pomocí CNC měřících strojů, viz obr. 8. [1]

2.5 Montáž

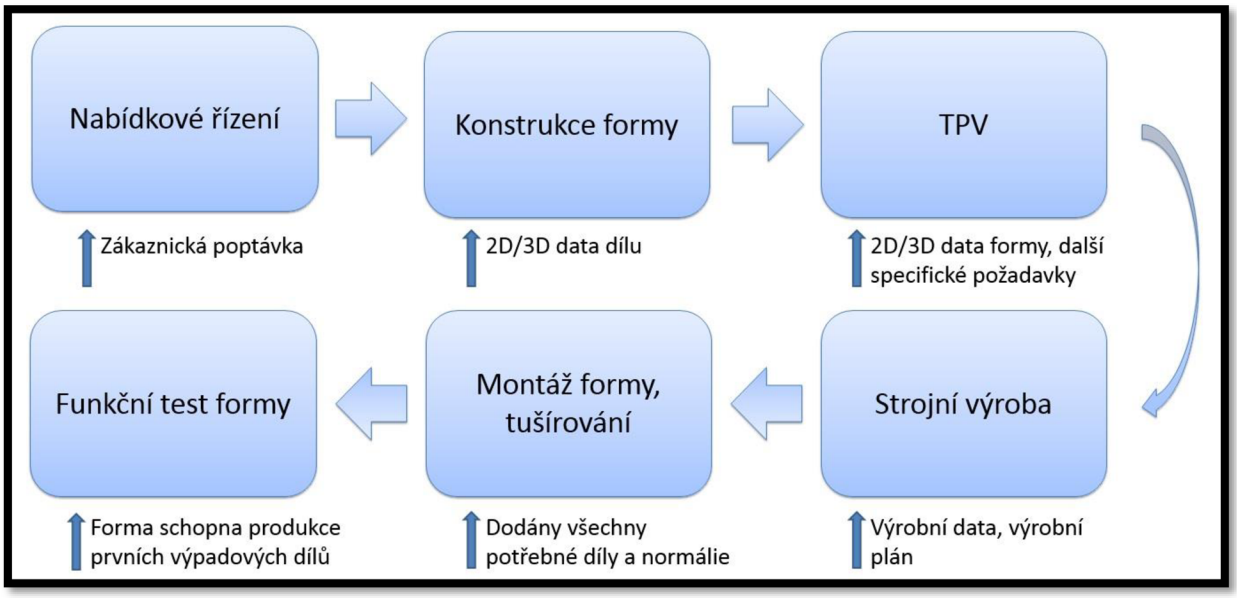
Pokud máme všechny díly vstřikovací formy vyrobené či dodané z kooperací, následuje montáž vstřikovací formy. Tuto práci realizují kvalifikovaní dělníci a obnáší několik dílčích činností nutných ke správnému chodu vstřikovací formy [1]:

1. Leštění tvarových ploch dutin formy,
2. sestavení celé formy včetně dopasování jednotlivých dílů,
3. dopasování dosedacích ploch, zejména dělící roviny, tzv. tušírování na tušírovacím lise viz obr. 8,
4. instalace a připojení periferií (temperační systémy, vtokový systém, elektroinstalace, hydraulika)

Jakmile je forma sestavena, následuje první funkční test formy, tzv. FOT. Jelikož je téměř nemožné při prvním vstřikování vyrobit díl v odpovídající kvalitě a tolerancích, následuje smyčka několika korekčních kol, kdy se vstřikovací forma postupně zkouší a optimalizuje. V případě, že díl již odpovídá požadavkům zákazníka, následuje sériová produkce. [1]



Obr. 8 Vlevo tušírovací lis od společnosti KUKA, vpravo CNC 3D měřící stroj Wenzel XO 107 [10] [11]



Obr. 9 Diagram procesu výroby vstřikovacích forem včetně vstupních dat

3 MOŽNOSTI SOFTWARU WORKNC

3.1 Charakteristika WorkNC CAM

WorkNC je moderní CAM software od společnosti SESCOI dodávaný a lokalizovaný pro český trh společností Semaco. Jedná se o software původně navržený jako dílenský, který nám umožňuje rychlou přípravu obráběcích dat složitých tvarových dílů vstřikovacích forem a lisovacích nástrojů. Samozřejmostí je možnost 5ti-osé licence, která je dnes v oboru výroby forem již téměř nezbytná. Využití nachází především v automotive, leteckém průmyslu a dalších odvětvích strojírenské výroby. Tento software si oblíbily přední nástrojárny po celém světě, např. BMW, Audi, Škoda, atp. Rozlišujeme dva základní moduly - CAD a CAM. [12]

Obr. 10 Logo softwaru WorkNC [12]

Přednosti softwaru WorkNC [12]:

- Snadné ovládání, rychlé zaškolení,
- česká lokalizace,
- rychlá, spolehlivá a bezkolizní příprava NC kódů,
- možnost načíst jednotlivé díly z široké škály CAD formátů (STEP, DWG, DXF, …).

Obr. 10 Logo softwaru WorkNC [12]

3.2 CAD modul WorkNC

Jedná se o plošný modelář s jednoduchými funkcemi určený pro technologickou přípravu modelu za účelem následné tvorby obráběcích dat. Slouží také jako příprava elektrod pro EDM hloubení. Tvorba elektrod je dnes důležitou součástí procesu výroby vstřikovacích forem. Tento software nabízí dokonalou rovnováhu mezi automatickou a ruční tvorbou. WorkNC CAD modul umožňuje rychlou a efektivní tvorbu a úpravu elektrod pomocí plošných funkcí. [12]

WorkNC CAD modul umožňuje [12]:

- Načtení sestav a dělení na jednotlivé pozice obrábění,
- tvorbu technologických ploch vytažením hran obráběného dílu,
- zaslepování otvorů vyhazovačů, kolíků, jiskřených žeber pomocí plošných funkcí,
- tvorbu elektrod,
- tvorbu technologických výkresů,
- technologické rozdělení ploch do skupin.

3.3 Princip WorkNC CAM

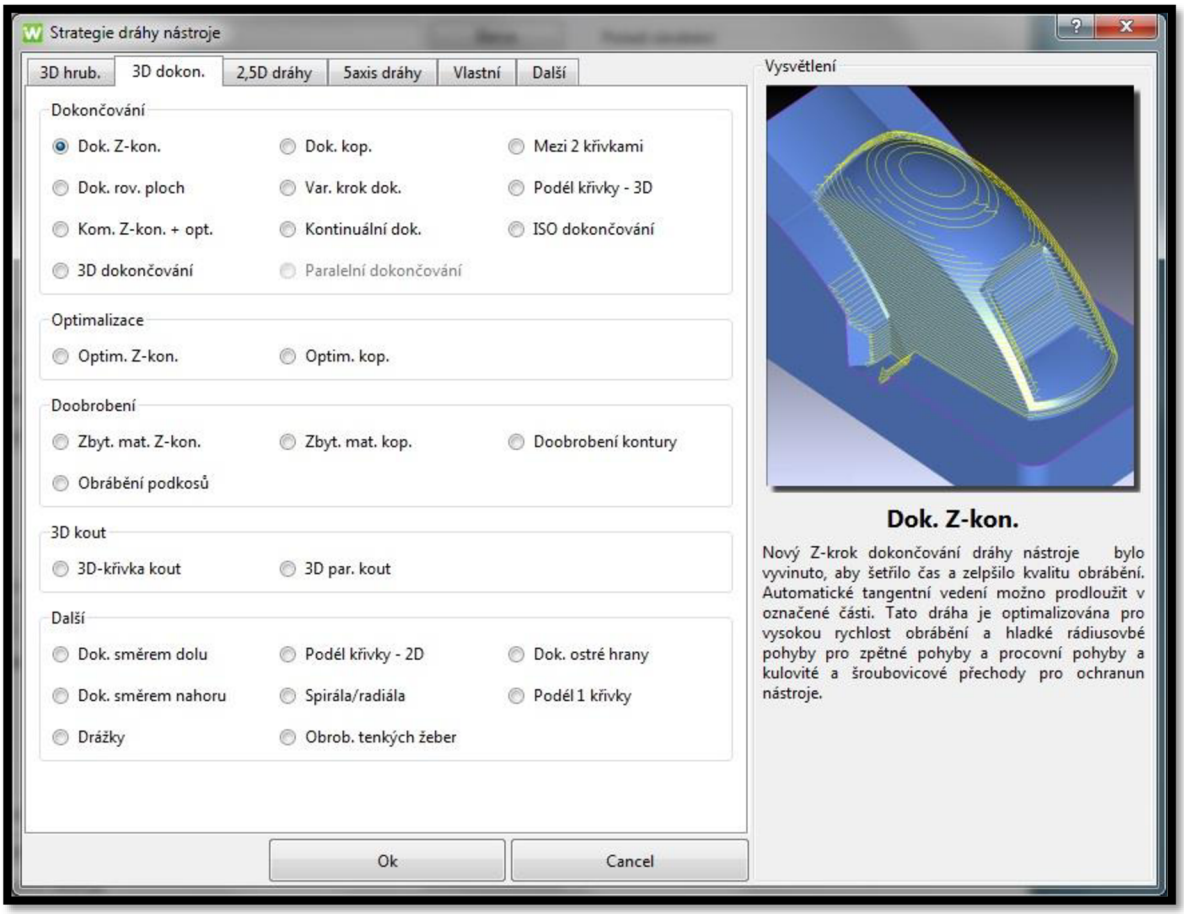
3.3.1 Inicializace polotovaru

Jako první krok při práci v CAM modulu WorkNC musíme inicializovat polotovar pro tvorbu obráběcích dat. Přídavky volíme jen na ty úhlované strany, kde bude probíhat následné CNC frézování a to +2 mm. Jako příklad uvedu definici polotovaru pro obrábění tvárníku. Po úhlování bude frézovaná pouze vrchní strana, zbývající strany budou na přesný rozměr broušeny. Proto volím přídavek pouze v ose z+ a to 2 mm, tedy celková výška s přídavkem bude 102.6 mm obr. 6.

Obr. 11 Definice polotovaru v softwaru WorkNC

3.3.2 Volba strategie obrábění

V dalším kroku již můžeme vybírat jednotlivé strategie obrábění. Základní rozdělení představuje 3osé hrubování a dokončování, 2.5D obrábění (kapsy, drážky, díry, …) a 5ti-osé obrábění. V každém příslušném modulu můžeme volit jednotlivé konkrétní strategie.

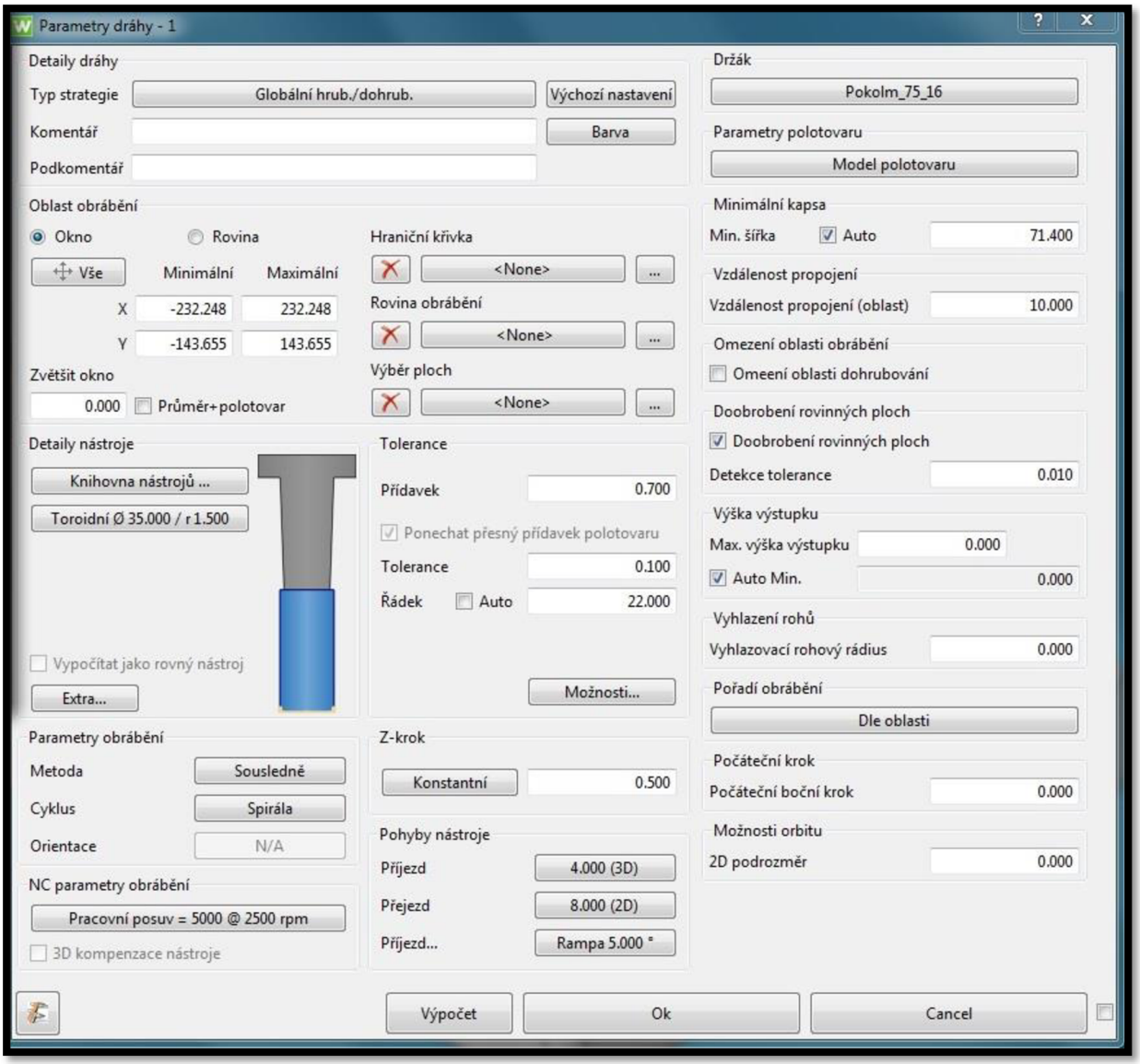


Obr. 12 Strategie pro 3osé dokončování

3.3.3 Parametry strategie obrábění

Následuje definice těchto vybraných parametrů:

1. Volba nástroje – kulové, toroidní, ostrohranné, vlastní,
2. metoda obrábění – sousledně, nesousledně, střídavě,
3. cyklus obrábění – jednotný směr, tam a zpět, spirální, trochoidní,
4. výběr ploch – volba jednotlivých zalepení,
5. vodící křivky a plochy v případě 5ti-osého obrábění,
6. trajektorie příjezdu a odjezdu nástroje,
7. přídavek, Z-krok, tolerance,
8. řezné podmínky – zadáme řeznou rychlost v_c, počet efektivních břitů frézy z, posuv na zub f_z, přičemž software nám automaticky dopočítá otáčky vřetene n a velikost posuvu v_f. Dále můžeme upravit posuv nájezdu či rychloposuv.



Obr. 13 Definice parametrů obrábění

3.3.4 Editace dráhy

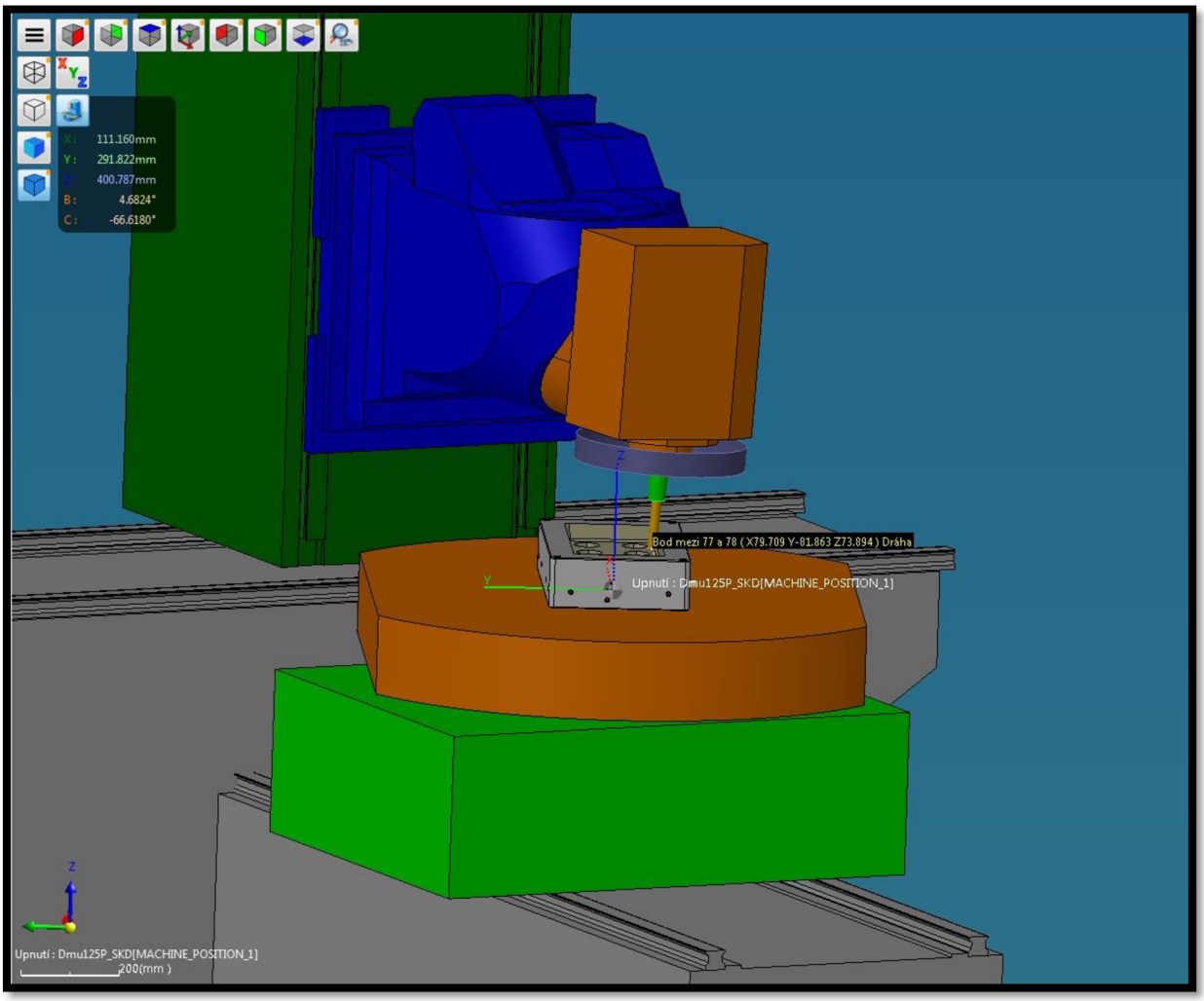
Následuje úprava dráhy pomocí mazání nadbytečných trajektorií či trajektorií, které budeme obrábět až v následujících částech programu.

3.3.5 Výpočet dráhy

Předposledním krokem je výpočet dráhy obrábění. Před samotným výpočtem musíme zvolit postprocesor pro vybraný stroj, na kterém bude výroba realizována. Výpočet nám odhalí nedostatky naší strategie a upozorní na ně. Velmi časté jsou kolize držáku s obráběnou součástí. Toto jednoduše opravíme změnou nástroje či držáku, přičemž software nám vypočítá a navrhne minimální bezpečnou délku nástroje. Po úpravě necháme dráhu přepočítat, a pokud je vše v pořádku, můžeme definovat dráhy další.

3.3.6 Simulace procesu

Posledním krokem je samotná simulace procesu obrábění pomocí videa. Můžeme si zobrazit nástroj, držák, upínací systém (upínky, svěrák, …) a stroj.

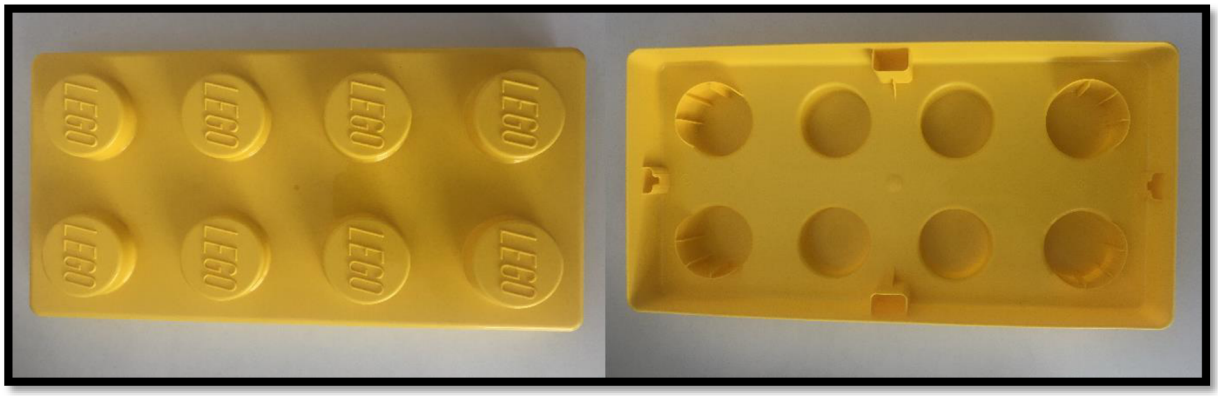


Obr. 14 Simulace 5ti-osého obrábění stěny tvárnice na stroji DMU 125P duoBLOCK

4 CHARAKTERISTIKA SOUČÁSTI

4.1 Rozbor součásti

Řešená součást je tvárník a tvárnice vstřikovací formy pro plastovou součást víko na box od dánské společnosti The LEGO Group, vyrábějící především stavebnice ve tvaru kostiček. Největší nároky na přesnost u výsledného výstřiku budou kladeny na dolní dosedací hrany a zavírací mechanismus mezi víkem a krabicí. Výsledné rozměry jsou výrazně ovlivněny smrštěním součásti v důsledku chlazení taveniny při vstřikovacím procesu.



Obr. 15 Výsledná součást víko na box

4.2 Materiál výstřiku [13] [14]

Součást bude vstřikována z materiálu Polypropylen PPC 5660 od společnosti Total Petrochemicals. Polypropylen (PP) je semikrystalický termoplast a řadí se k vůbec nejpoužívanějším polymerním materiálům. Uplatnění nachází zejména ve spotřebním průmyslu jako např. fólie, misky, obaly, lahve, ale také ve vodovodním či automobilovém průmyslu. [13] [14]

Polypropylen je použitelný při teplotách od 0°C až do 100°C, je lehký a vyniká vysokou rázovou houževnatostí. Má vynikající odolnost proti vodě, chemikáliím a kyselinám. Je vhodný pro svařování, obrábění a ohýbání. [14]

Polypropylen	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/cm³]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Izotaktický	60 - 70	0,905 - 0,920	160 - 176	1100 - 1500	34 - 38

Tab. 2 Vlastnosti izotaktického polypropylenu. [13]

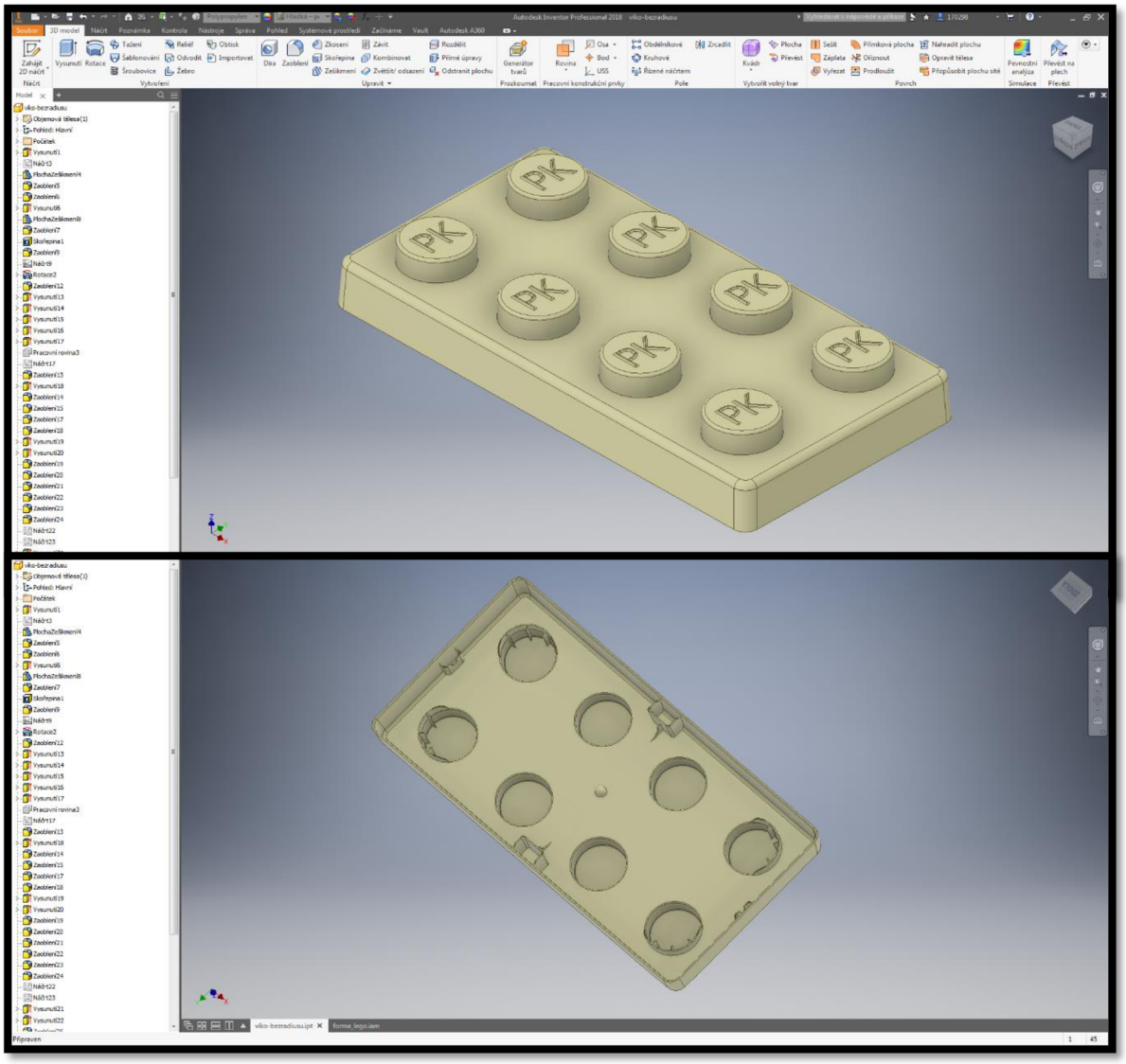
Izotaktický polymer – jeden ze tří typů uspořádání atomů v makromolekulárním řetězci. Jedná se o pravidelné uspořádání na jedné straně roviny řetězce. Polymer s vyšším indexem izotakticity vykazuje nejlepší vlastnosti, zejména vyšší hustotu, pevnost i tuhost. [13]

5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Tato kapitola pojednává o konstrukčním návrhu součásti, generování formy a následné konstrukci tvárnice a tvárníku. Konstrukce byla realizována v softwaru Autodesk Inventor Professional 2018 od společnosti Autodesk.

5.1 Konstrukce modelu součásti [1]

Jako první krok při konstrukci vstřikovací formy je třeba vyhotovit samotný model vstřikované součásti. Vstupní data se v praxi používají 2D výkres součásti nebo přímo 3D model od zákazníka. Hlavním vstupem pro tuto práci byl použit již vyhotovený výstřik víka. Vzhledem k tomu, že nebyl k dispozici výkres součásti, byly rozměry měřeny a zaokrouhlovány na rozumné hodnoty. Následně byl zkonstruován 3D model součásti v Inventoru.



Obr. 16 Model víka

Při konstrukci modelu součásti je nutno dbát na vyrobitelnost technologií vstřikování, u zvolené součásti zejména pak na technologické úkosy nutné při odformování dílu, eliminace ostrých rohů, snaha o konstantní nepříliš velkou tloušťku stěny, atp. [1]

Na zhotovení 3D modelu součásti byly použity tyto funkce:

1) náčrt,
2) vysunutí,
3) zešikmení plochy,
4) zaoblení,
5) skořepina,
6) rotace,
7) pracovní rovina.

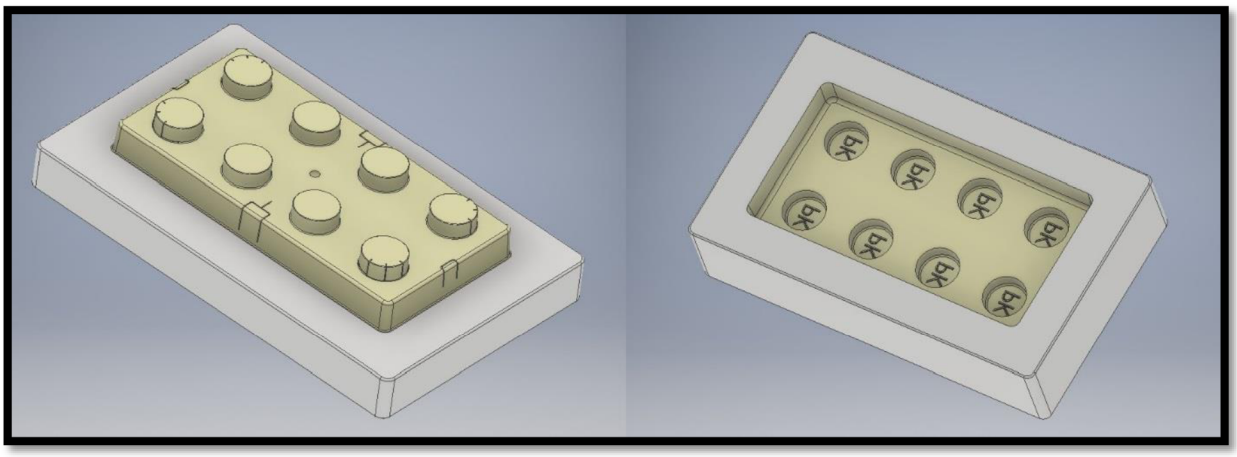
5.2 Generování vstřikovací formy

5.2.1 Tvárník a tvárnice

Jakmile máme kompletně dokončený model, přepneme se do nového systémového prostředí „Vytvořit návrh formy“. Tady nejprve vložíme naši součást a následně postupně definujeme všechny potřebné náležitosti k vygenerování tvárnice a tvárníku formy. Definujeme:

1. Orientaci součásti – určíme odformování dílu a polohu tvárnice, resp. tvárníku vůči součásti.
2. Vstřikovaný materiál – Polypropylene PPC 5660, viz kapitola 4.2.
3. Umístění vtoků – navrhujeme polohu ústí vtokového systému na díl. Software zvládá automaticky spočítat nejvhodnější umístění, ale můžeme definovat i ručně. Vzhledem k tomu, že byl výsledný díl k dispozici, byla poloha navržena ručně podle stopy vtoku na výstřiku. Automatický výpočet tuto polohu potvrdil jako nejefektivnější.
4. Nastavení zpracování součásti – automatický výpočet základních vstřikovacích parametrů v závislosti na materiálu součásti. Lze ručně korigovat.
5. Smrštění – automatická korekce rozměrů v závislosti smrštění použitého materiálu. Rozsah smrštění naší součásti byl spočítán na 0,78 – 1,97 %.
6. Obrobek – definujeme tvar a přídavky tvárnice a tvárníku. V Inventoru můžeme vybírat mezi válcovým tvarem a obdélníkovým. Přídavky byly stanoveny 50 mm na všechny strany. Tyto přídavky by neměly být zbytečně malé, protože se bude tvořit temperační systém a další konstrukční prvky a také z důvodu dostatečné tuhosti sestavy (vysoké tlaky při vstřikování).
7. Dělící povrchy – jako poslední krok před vygenerováním tvárnice a tvárníku určíme dělící rovinu.

Pokud máme vše správně nastaveno, nebrání nám nic k automatickému vytvoření tvárnice a tvárníku vstřikovací formy.

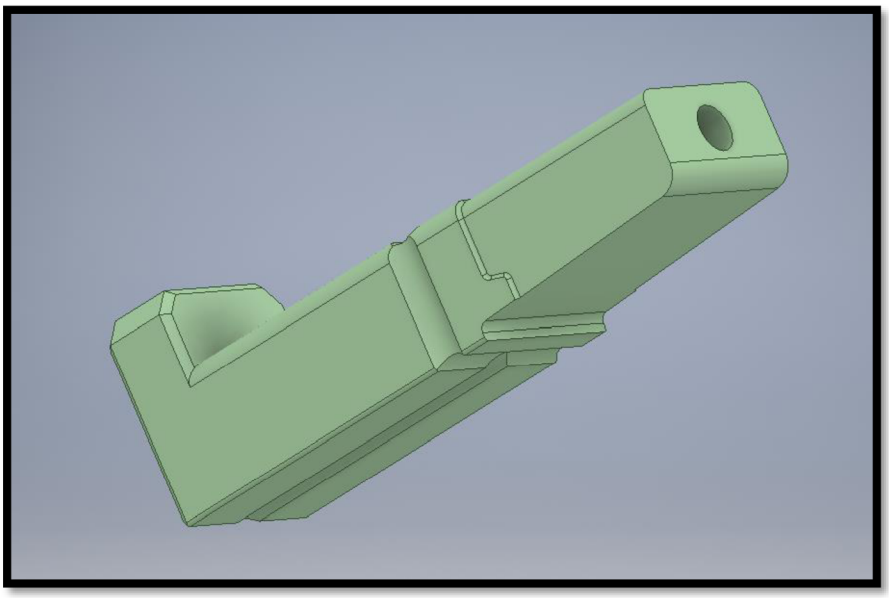


Obr. 17 Tvárník a tvárnice po vygenerování

5.2.2 Tvorba tvarových vložek

Další, v dnešní době hojně využívanou metodou při konstrukci forem, je vytváření tvarových vložek v tvárníku či tvárnici. Tyto vložky se zpravidla používají na těch tvarových částech, které se můžou rychle opotřebit či poškodit a místo nákladných oprav se vyrobí nová tvarová vložka. Další uplatnění mají tyto vložky při odvzdušnění tvárníku, resp. tvárnice. Vstřikovací proces se vyznačuje vysokými teploty a tlaky a tak při plnění dutiny formy se vzduch velmi rychle zahřívá na vysokou teplotu a dochází tak k degradaci plastového materiálu, tzv. dieselefektu.

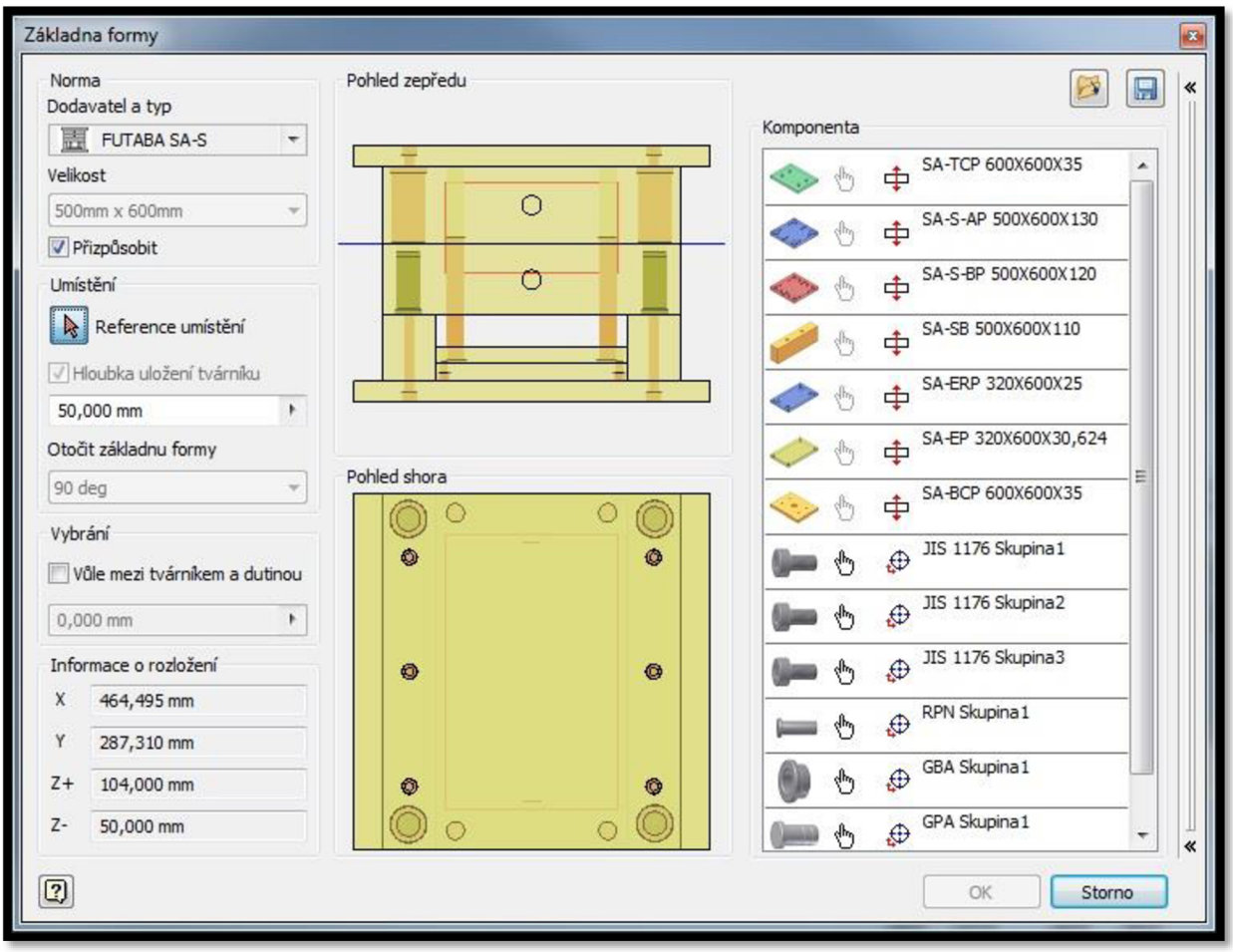
Firma Lego tuto metodu na svém dílu nepoužila, já jsem se rozhodl použití této varianty demonstrovat. Byla vytvořena tvarová vložka na tvárníku v místě, kde je v praxi riziko vzniku dieselefektu. Samotná tvorba není složitá. Vytvoříme náčrt na poloze budoucí tvarové vložky, definujeme výšku a necháme Inventor automaticky vložku vytvořit. Následuje konstrukční úprava vložky z důvodu upevnění v tvárníku formy a vyvedení odvzdušnění z dělící roviny.



Obr. 18 Tvarová vložka tvárníku

5.2.3 Základna formy

Nyní je na řadě vytvoření základny formy. Přepneme se do záložky „Sestava formy“ a zvolíme funkci „Základna formy“. Zobrazí se nám okno s databází standartně používaných rámů a dalších normálií. Můžeme volit mezi dvoudeskovými či třídeskovými základnami. Pro naši formu je dostačující dvoudeskový systém.



Obr. 19 Tvorba základny formy

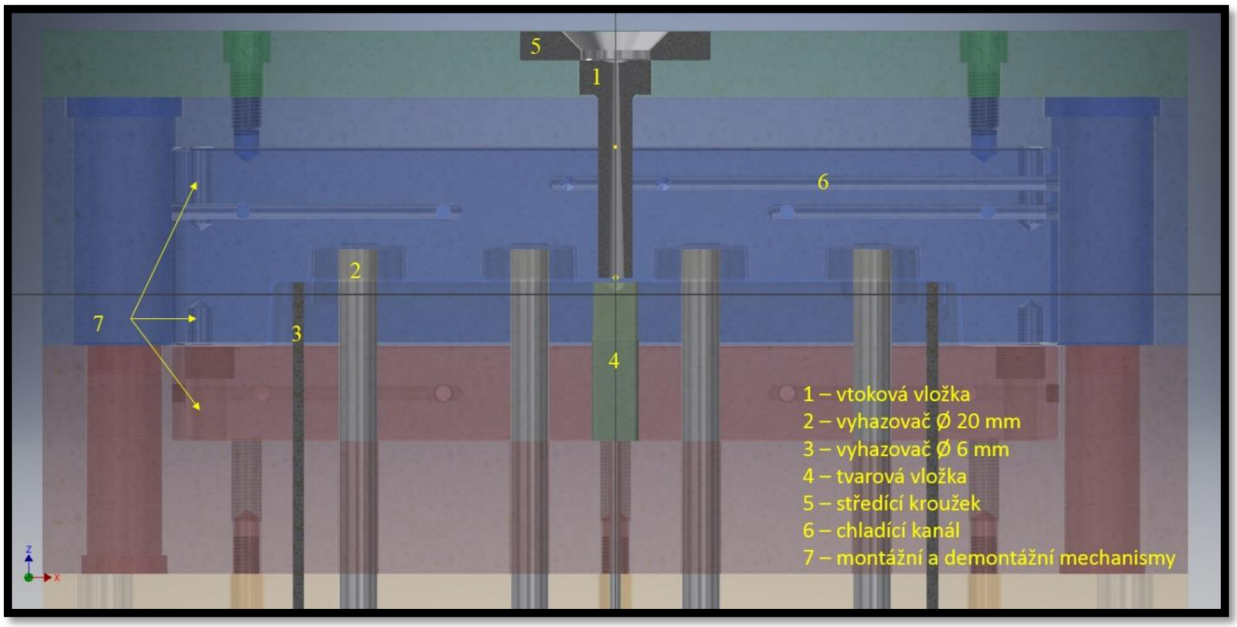
Každou položku základny můžeme ještě doupravit, aby vyhovovala naším požadavkům. Nejčastěji upravovaným parametrem je výška jednotlivých desek. Pokud máme již vše nastaveno, necháme Inventor vygenerovat naši základnu formy, viz obr. 21.

5.2.4 Další konstrukční komponenty

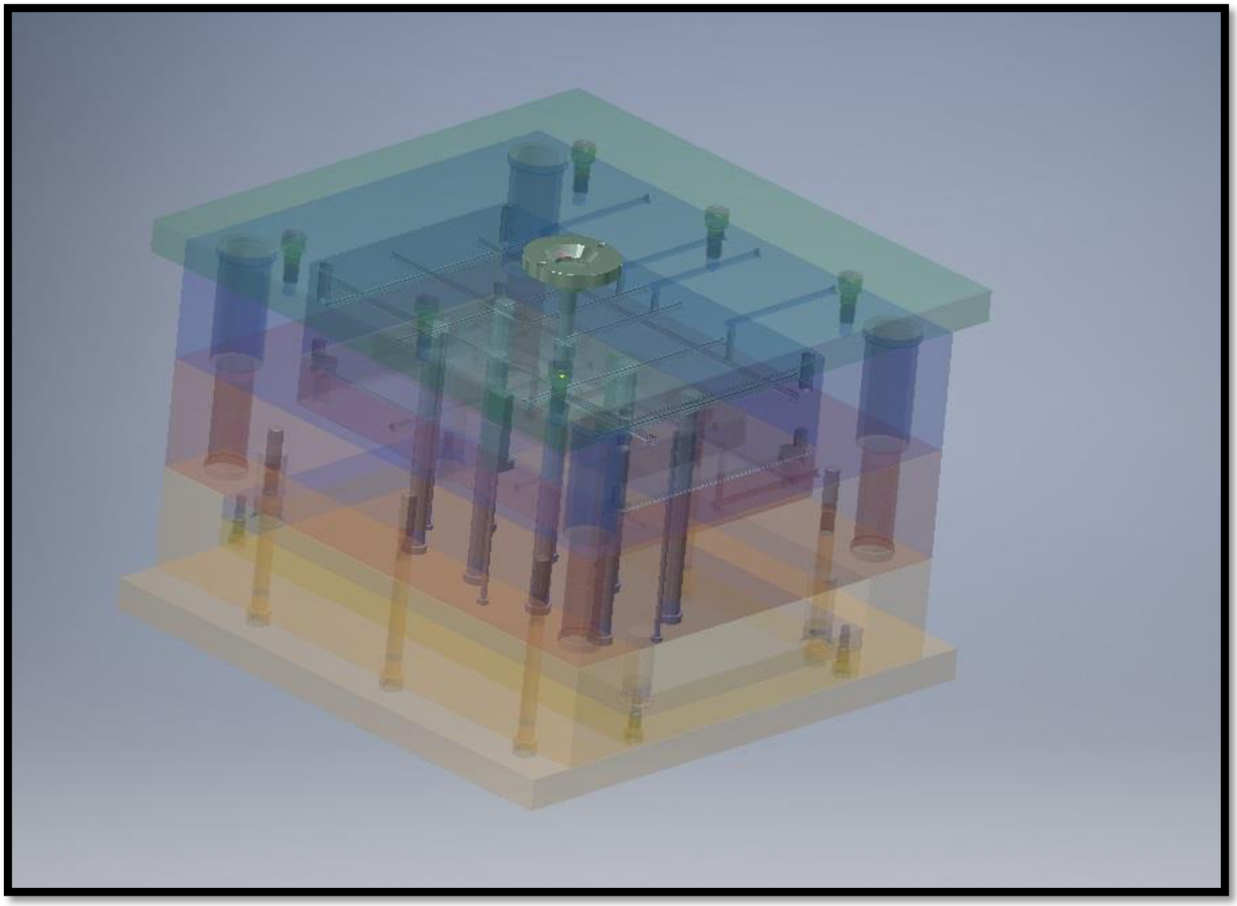
Jakmile máme vytvořené tvarové části formy a samotnou základnu, můžeme začít dodělávat nezbytné konstrukční a technologické komponenty. Vzhledem k tomu, že cílem této diplomové práce je pouze výroba tvarových částí, byly vytvořeny jen opravdu nezbytné komponenty zasahující právě do tvárníku a tvárnice. Postupně tvoříme:

a) Vtokový systém – definujeme podobu vtokového systému (horký vs. studený), případně vytváříme trasy vtokových kanálů. V našem případě stačilo použít pouze vtokovou vložku přímo na díl, viz obr. 20. Jedná se o studený vtokový systém.
b) Chladící systém – definujeme trasu a podobu chladícího systému ve formě.
c) Vyhazovací systém – definujeme polohu a podobu vyhazovačů ve formě. Pro náš díl bylo navrženo 8x válcový vyhazovač Ø 20 mm a 4x válcový vyhazovač Ø 6 mm.

Mezi další komponenty by patřily např. teplotní čidla, počítadlo zdvihů, montážní oka, hydraulické systémy při složitějších formách či využití tvarových pojezdů, rozvody elektriky, náustky na vody, resp. hydrauliku, atd.



Obr. 20 Řez formou

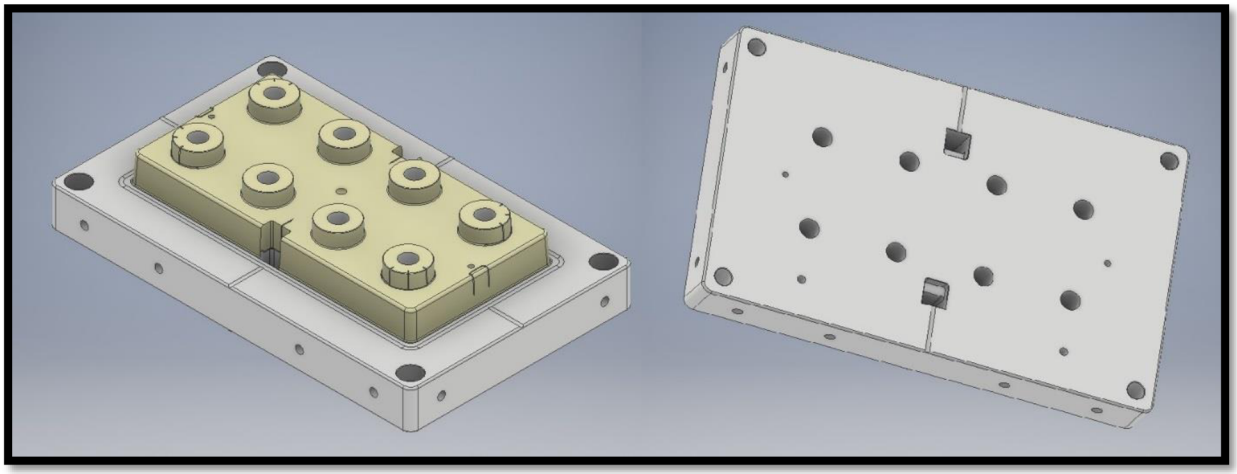


Obr. 21 Základna formy včetně všech vytvořených komponentů

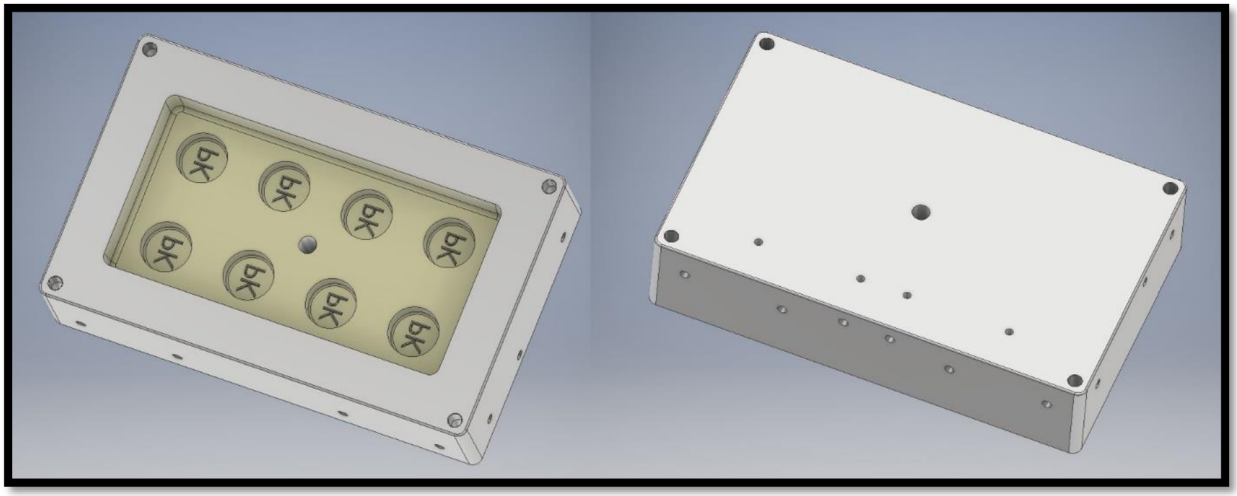
5.2.5 Dokončení tvárníku a tvárnice [24]

Posledním krokem při konstrukci modelů tvarových částí formy je jejich konstrukční a technologická úprava. Pro naši tvárnici, resp. tvárník byly vytvořeny zaoblení, sražení, odvzdušňovací drážka, díry pro šrouby, vybrání pro tvarové vložky, závity pro upevnění ve formě a závity pro demontáž z formy.

Při konstrukci rohových rádiusů se používá metoda Poka Yoke, jejímž principem je zabránění zbytečným chybám při montáži formy. V praxi to vypadá tak, že se jeden z rádiusů navrhne větší či menší než ostatní, a tvárník resp. tvárnice se při montáži dostane vždy do stejné polohy. Stejná poloha je důležitá, jelikož jedním z kroků montáže je tušírování dělící roviny a rozdílná poloha by měla za následek vznik defektů v podobě přetoků. Na našich součástech toto realizováno nebylo a tak je nezbytné, aby nástrojař vyhotovené součásti správně popsal a to jak na tvárníku/tvárnici, tak i v rámech formy. [24]



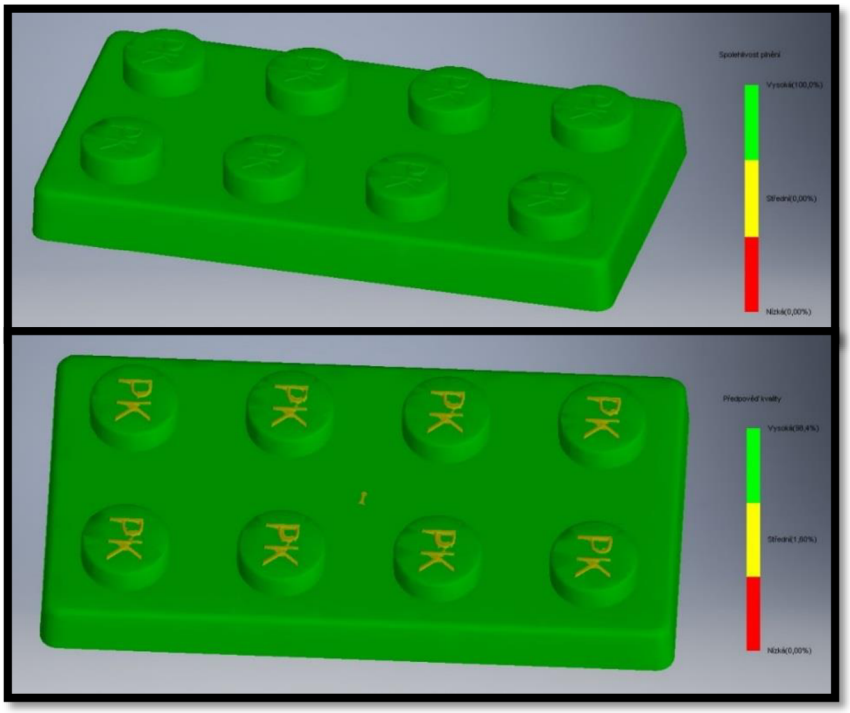
Obr. 22 Tvárník vstřikovací formy po dokončení



Obr. 23 Tvárnice vstřikovací formy po dokončení

5.3 Moldflow simulace vstřikovacího procesu

Jakmile máme vstřikovací formu dokončenou, můžeme provést Moldflow simulace vstřikovacího procesu. Nutno podotknout, že v tomhle ohledu Inventor zaostává za konkurencí a umožňuje pouze 6 základních simulací a vygenerování souhrnné tabulky základních parametrů vstřikovacího procesu.



Obr. 24 Moldflow simulace spolehlivosti plnění a předpovědi kvality dílu

Skutečná doba plnění	1.87 (s)
Skutečný tlak vstřiku	42.718 (MPa)
Oblast svěrné síly	682.4774 (cm^2)
Max. svěrná síla během plnění	141.120 (tonne)
Přepnutí rychlost/tlak při objemu %	98.66 (%)
Přepnutí rychlost/tlak v čase	1.82 (s)
Odhadovaná doba cyklu	16.43 (s)
Celková hmotnost součásti	200.128 (g)
Objem vstřiku	252.2046 (cm^3)

Odhad svěrné síly během zhušťování pomocí:	
20% ze vstřikovacího tlaku	59.440 (tonne)
80% ze vstřikovacího tlaku	237.759 (tonne)
120% ze vstřikovacího tlaku	356.639 (tonne)

Obr. 25 Základní parametry vstřikovacího procesu

Tímto je zakončena kapitola Konstrukce vstřikovací formy. Pro účely této práce je forma na dostačující úrovni a tvarové součásti jsou kompletní. Moldflow simulace potvrdila vyrobitelnost dílu víko na box technologií vstřikování plastů.

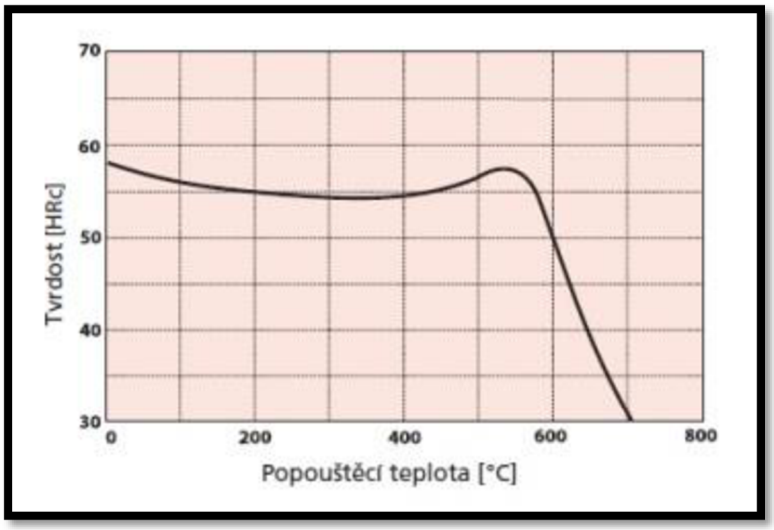
6 TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato kapitola se věnuje vytváření CAM programů řešených tvarových součástí. Tvorba CAM programů byla realizována v softwaru WorkNC od společnosti SESCOI, kterou na český trh v české lokalizaci dodává společnost Semaco. O možnostech tohoto softwaru pojednává kapitola 4.

6.1 Volba materiálu [16]

Jako první krok před samotným vytvářením NC programů je potřeba důkladně promyslet volbu materiálu. O zásadách při volbě materiálu pro jednotlivé části vstřikovací formy jsme se již bavili v kapitole 1.4. Předpokládaná výrobní série našeho výstřiku byla stanovena na 200 000 ks za rok po dobu 5ti let.

Pro všechny tvarové části naší formy volím materiál 1.2343 dle normy EN 10027 (ČSN 19552), kterou dodává společnost Bogner Edelstahl. Jedná se o středně legovanou nástrojovou ocel pro práci za tepla s velmi dobrou houževnatostí a odolností proti opotřebení, vysokou pevností a malou rozměrovou deformací při tepelném zpracování. V žíhaném stavu dobře obrobitelná. Použití pro tvarové části vstřikovacích forem, formy na tlakové lití lehkých kovů, části malých zápustek, atd. Dodávaný stav žíhaná na měkko, tvrdost max. 229 HB. [16]



Obr. 26 Popouštěcí křivka oceli 1.2343 dle EN 10027 [16]

	C	Mn	Si	Pmax.	Smax.	Cr	Mo	V
%	0,33 - 0,41	0,25 - 0,5	0,8 - 1,2	0,03	0,02	4,8 - 5,5	1,1 - 1,5	0,3 - 0,5

Tab. 3 Chemické složení podle normy ČSN EN ISO 4957 oceli 1.2343 dle EN 10027. [16]

Způsob	Teplota (°C)	Chlazení
Žíhaní na měkko	780 - 820	v peci
Žíhaní na odstranění pnutí	600 - 650	v peci
Kalení	1000 - 1050	olej, intertní plyn, vzduch
Popouštění	550 - 700	vzduch

Tab. 4 Tepelné zpracování oceli 1.2343 dle EN 10027. [16]

6.2 Volba strojů

Další nezbytný krok před samotnou tvorbou NC programů je volba strojů, na kterých bude výroba realizována. Výroba vstřikovacích forem je náročná nejenom na kvalifikaci pracovníků, ale taky na strojový park nástrojáren. Mimo níže zmíněné stroje se využívají ještě například soustruhy či vrtačky. Samozřejmostí jsou CNC stroje pro měření jednak jednotlivých částí forem, ale také hotových výstřiků za účelem zajištění výroby a korekcí forem.

6.2.1 Úhlovací operace [17]

Pro úhlovací operace disponuje firma SKD Bojkovice konvenční konzolovou frézkou FGS 50/63 od společnosti TOS Kuřim.

Rok výroby	Upínací plocha stolu	Max. hmotnost obrobku	Otáčky vřetena	Max pojezd (x, y, z)
1989	630 x 1800 mm	1500 kg	35 - 1800 ot/min	1400 x 500 x 630 mm

Tab. 5 Parametry stroje FGS 50/63. [17]

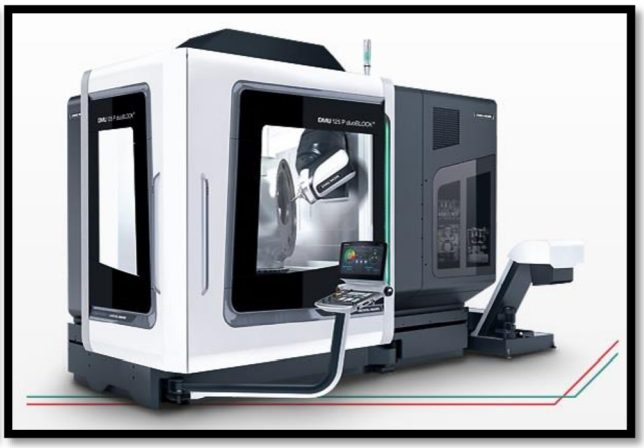
6.2.2 CNC frézování a vrtání [18]

Všechny frézovací operace mimo úhlovací budou prováděny na moderním CNC 5ti-osém stroji DMU 125P duoBLOCK od společnosti DMG Mori s řídícím softwarem Heidenhain.

Rok výroby	Upínací plocha stolu	Max. hmotnost obrobku	Otáčky vřetena	Max pojezd (x, y, z)
2008	Ø 1250 mm	2800 kg	30000 ot/min	1250 x 1250 x 1000 mm

Tab. 6 Parametry stroje DMU 125P duoBLOCK. [18]

Obr. 27 Konzolová frézka FGS 50/63 [17]



Obr. 28 5ti-osé CNC DMU 125P duoBLOCK [18]

6.2.3 Bruska [19]

Na broušení bude použita bruska FS 1050 GT CB od společnosti G+H.

Rok výroby	Upínací plocha stolu	Max. hmotnost obrobku	Otáčky vřetena	Max pojezd (x, y, z)
2010	1050 x 825 mm	1380 kg	1400 ot/min	1000 x 500 x 425 mm

Tab. 7 Parametry brusky FS 1050 GT CB. [19]

6.2.4 CNC frézování grafitových elektrod [20]

Frézování grafitových elektrod pro hloubení bude realizováno na moderním 5ti-osém HSM CNC stroji Mikron MILL S 400 U od společnosti +GF+ s řídícím softwarem Heidenhain.

Rok výroby	Upínací plocha stolu	Max. hmotnost obrobku	Otáčky vřetena	Max pojezd (x, y, z)
2012	Ø 156 mm	25 kg	42000 ot/min	500 x 240 x 360 mm

Tab. 8 Parametry stroje HSM CNC Mikron MILL S 400 U. [20]

Obr. 29 Bruska FS 1050 GT CB [19]

Obr. 30 HSM CNC Mikron MILL S 400 U [20]

6.2.5 Hloubička [21] [22]

Pro účely EDM hloubení bude sloužit stroj AgieCharmilles ROBOFORM 550 od společnosti +GF+ s řídícím systémem Fanuc.

Rok výroby	Upínací plocha stolu	Max. hmotnost obrobku	Max pojezd (x, y, z)
2003	750 x 600 mm	500 kg	350 x 250 x 300 mm

Tab. 9 Parametry hloubičky AgieCharmilles ROBOFORM 550. [21]

6.2.6 Drátovka [23]

Řezání drátem bude prováděno na drátovce FA30S od společnosti Mitsubishi Electric.

Rok výroby	Upínací plocha stolu	Max. hmotnost obrobku	Průměr drátu	Max pojezd (x, y, z)
2011	1100 x 875	3000 kg	0,2 – 0,3 mm	750 x 500 x 350 mm

Tab. 10 Parametry stroje Mitsubishi FA30S. [23]

Obr. 31 Hloubička AgieCharmilles ROBOFORM 550 [22]

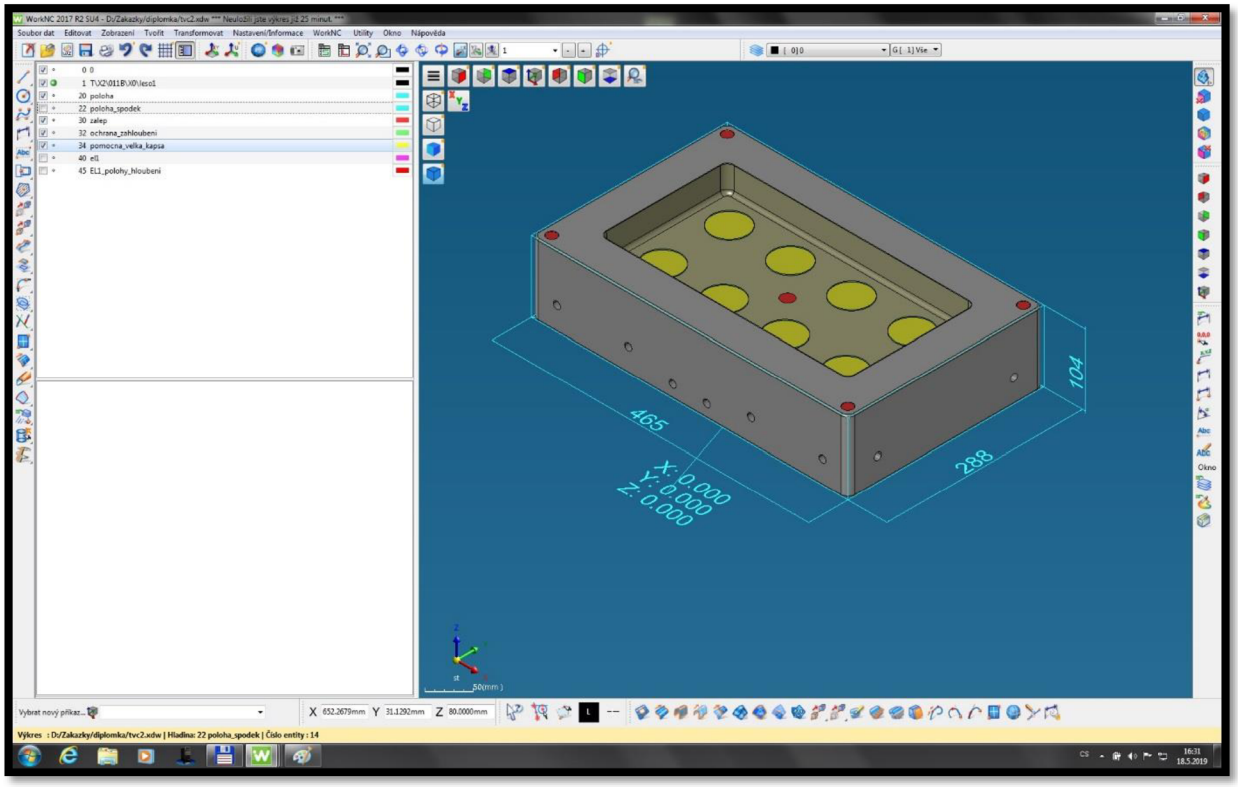
Obr. 32 Drátovka Mitsubishi FA30S [23]

6.3 Výroba tvárnice vstřikovací formy

6.3.1 Zapolohování CAD modelu tvárnice

Jako první krok při tvorbě NC programu musíme stanovit polotovar a poté 3D CAD model tvárnice zapolohovat, promyslet počet upnutí, které nejvíce vyhovují samotné výrobě a vytvořit souřadnicové systémy a ochranu zahloubení při frézování pomocí zalepení. Polotovar tvárnice bude blok oceli 1.2343 dle EN 10027 o rozměrech 480 x 300 x 110 mm.

Tvárnice bude obráběna na dvě upnutí, přičemž budeme používat dva souřadné systémy. Souřadnicový systém „st“ pro obrábění vrchní části s kapsou a souřadnicový systém „el“, který je otočený o 180° podle osy y pro obrábění a vrtání spodní části a obrábění elektrod pro EDM hloubení. Počátek obou souřadnicových systému leží na průsečíku úhlopříček spodní strany polotovaru.



Obr. 33 CAD prostředí softwaru WorkNC, poloha tvárnice a souřadnicových systémů, ochrana zahloubení pomocí zalepení

6.3.2 Úhlování tvárnice

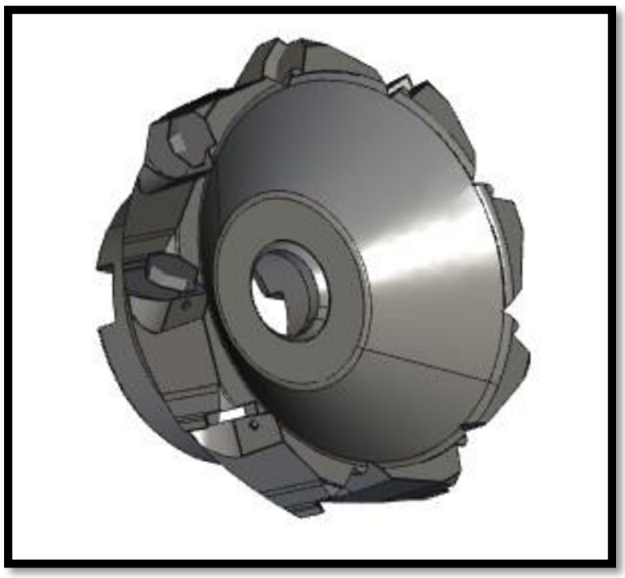
Úhlování bude realizováno na konvenční konzolové frézce FGS 50/63 s přídavkem +0,5 mm na stranu. Rozměry dle výkresové dokumentace. Na úhlování bude použita čelní nástrčná fréza s úhlem nastavení 50° a čtvercovými oboustrannými destičkami. Upnutí elektromagnet nebo svěrák. Parametry v tabulce níže. Všechny strany se budou po kalení brousit na přesné rozměry, více v kapitole 6.3.6. Strojní čas úhlování cca 180 min.

Fréza	Průměr frézy [mm]	Destička	Jakost	Počet destiček
IQ845 FSY D125-09-40-R07	125	IQ845 SYHU 070400N-MM	IC830	9

Tab. 11 Označení použité frézy a destičky pro úhlování tvárnice. [24]

v_c [m/min]	n [min-1]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
150	382	0,3	1031

Tab. 12 Řezné podmínky pro úhlování tvárnice. [24]



Obr. 34 Model úhlovací frézy [24]

6.3.3 Vrtání

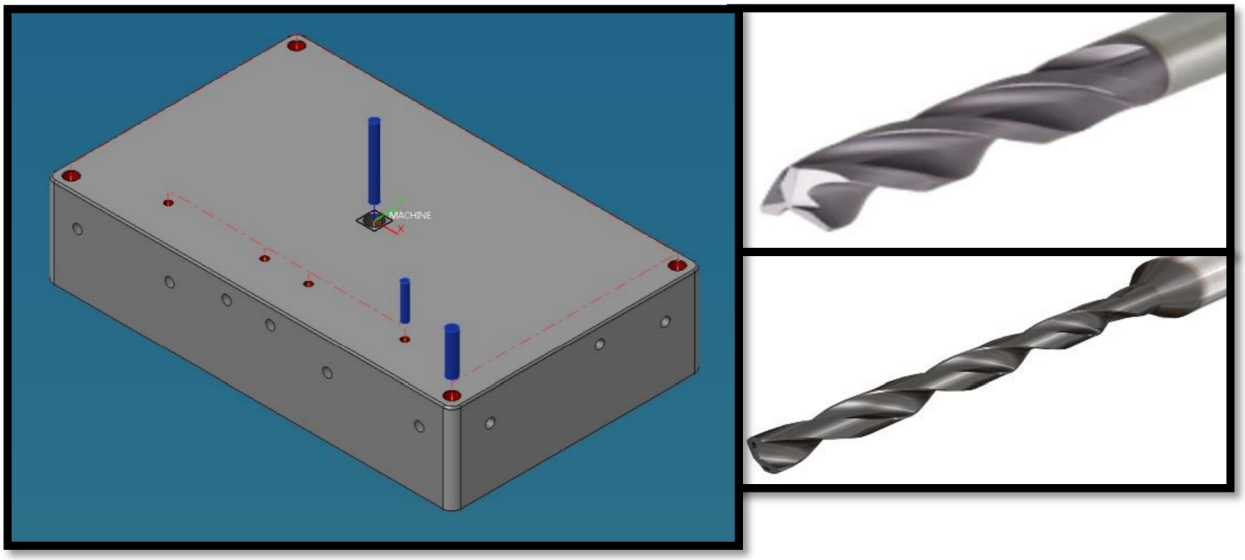
Ještě před samotným hrubováním kapsy tvárnice proběhne vrtání a frézování všech děr. Použitý stroj bude DMU 125P duoBLOCK. Veškeré upnutí na tomto stroji bude realizováno přes elektromagnet.

Vrtáme či frézujeme:

1. V prvním upnutí budeme vrtat 4x díru Ø 12 mm pro závit M14 k montáži tvárnice do rámu formy. Dále vrtáme 4x díru Ø 8 mm pro přívod chladícího média k temperačním kanálkům. Nakonec vrtáme startovací díru pro řezání drátem o Ø 10 mm, za účelem výroby díry pro vtokovou vložku.

Vrták	**Průměr vrtáku [mm]**	**Jakost**	**Počet zubů**
SCD 120-040-120 AP3N SCCD 080-043-080 AP5 SCD 100-080-100 ACP8N	12 8 10	IC908	2
v_c [m/min]	**n [min-1]**	**f_z [mm/ot]**	**v_f [mm/min]**
60	1592 2387 1910	0,17 0,12 0,16	541 573 611

Tab. 13 Parametry a řezné podmínky karbidových vrtáků Ø 8 mm, resp. Ø 10 mm. [24]

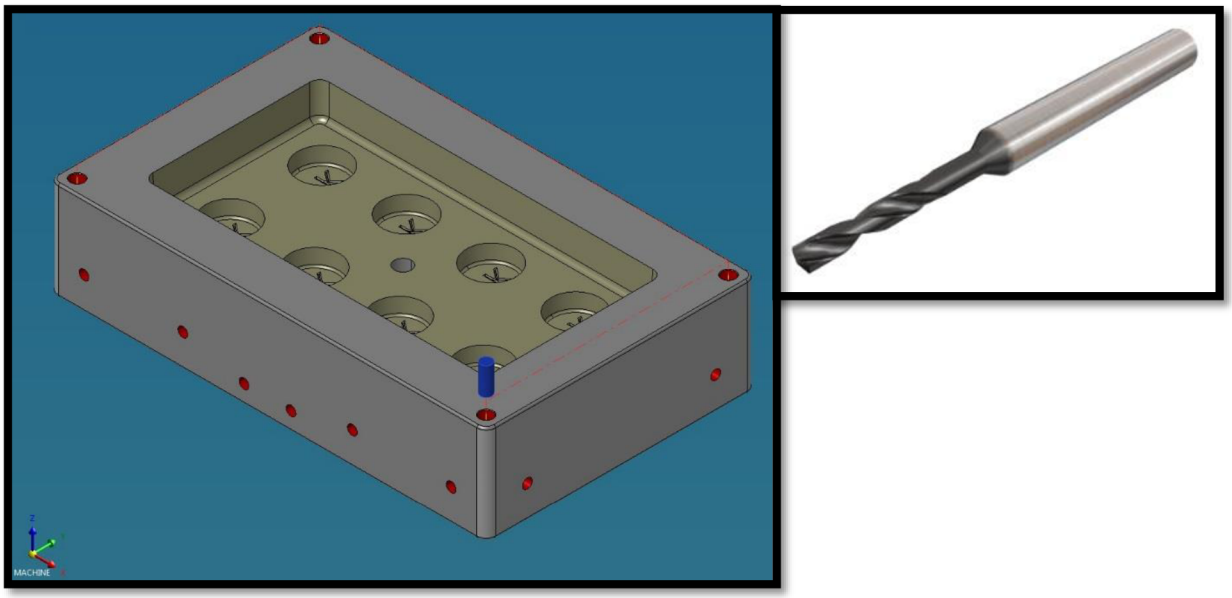


Obr. 35 Simulace vrtání děr ve druhém upnutí, karbidové vrtáky [24]

2. Ve druhém upnutí vrtáme 4x díru Ø 12 mm, kde se bude následně ručně řezat závit M14 pro demontáž tvárnice z rámu vstřikovací formy. Bude použit monolitní karbidový vrták bez vnitřního chlazení stejný jako v prvním upnutí.

Vrták	**Průměr vrtáku [mm]**	**Jakost**	**Počet zubů**
SCD 120-040-120 AP3N	12	IC908	2
v_c [m/min]	**n [min-1]**	**f_z [mm/ot]**	**v_f [mm/min]**
60	1592	0,17	541

Tab. 14 Parametry a řezné podmínky karbidového vrtáku Ø 12 mm. [24]

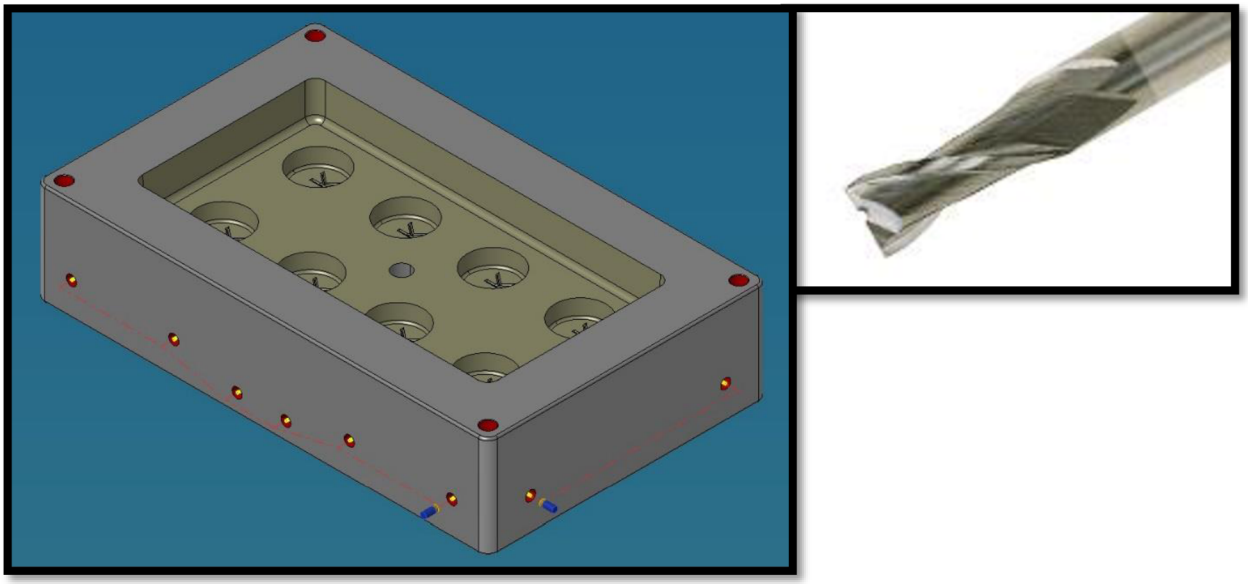


Obr. 36 Simulace vrtání a model vrtáku [24]

3. Frézujeme 15x díru Ø 8,5 mm pro závit M10, do kterého bude šroubována těsnící zátka. Použitý nástroj monolitní karbidová fréza.

Fréza	**Průměr frézy [mm]**	**Jakost**	**Počet zubů**
EC060A16-2C06	6	IC900	2
v_c [m/min]	**n [min-1]**	**f_z [mm/ot]**	**v_f [mm/min]**
150	7958	0,05	796

Tab. 15 Parametry a řezné podmínky frézy Ø 6 mm. [24]

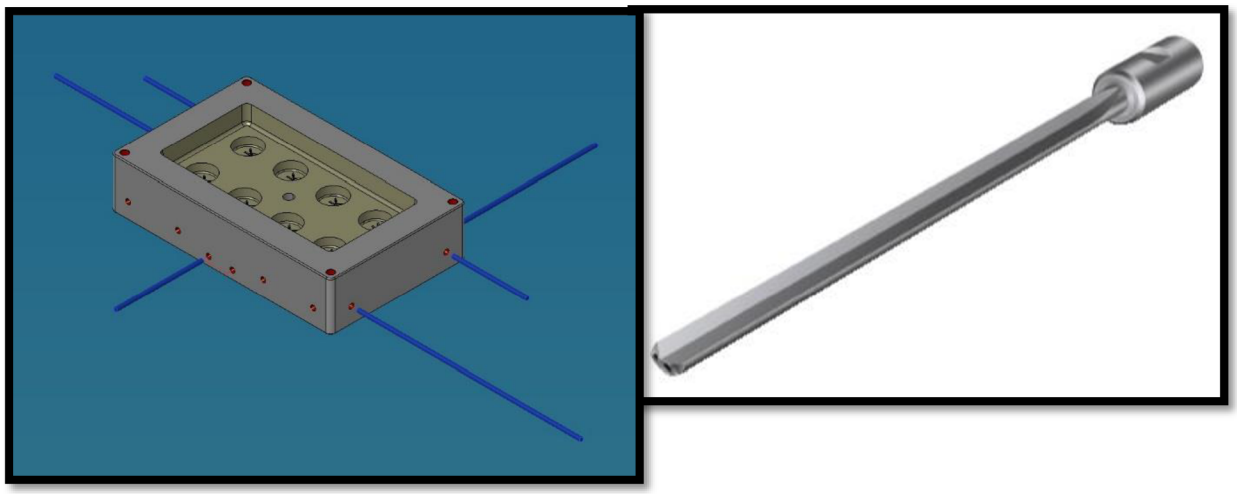


Obr. 37 Simulace frézování děr a model frézy [24]

4. Vrtání chladících kanálů pomocí dělových vrtáků. Všechny temperační kanály mají Ø 8 mm, liší se pouze v délce. Délky jednotlivých kanálů jsou 1x 455 mm, 4x 280 mm, 1x 258.5 mm, 2x 170 mm a 2x 144 mm. Budou použity 2 dělové vrtáky o použitelné délce 304.1 mm a 609.1 mm.

Vrták	**Průměr vrtáku [mm]**	**Jakost**	**Počet zubů**
A428.91-03125-16-103K15 A428.91-03125-28-103K15	8	-	2
v_c [m/min]	**n [min-1]**	**f_z [mm/ot]**	**v_f [mm/min]**
60	2387	0,12	573

Tab. 16 Parametry a řezné podmínky dělových vrtáků Ø 8 mm. [25]



Obr. 38 Simulace vrtání děr dělovými vrtáky [25]

6.3.4 Hrubování

Hrubování kapsy probíhá ve dvou operacích, kdy nejprve vyhrubujeme kapsu velkou a poté dohrubujeme rohy velké kapsy a vyhrubujeme 8 kapes menších. Použité nástroje jsou hrubovací nástrčná rychloposuvová fréza a toroidní stopková fréza. Přídavek na další obrábění +0,7 mm.

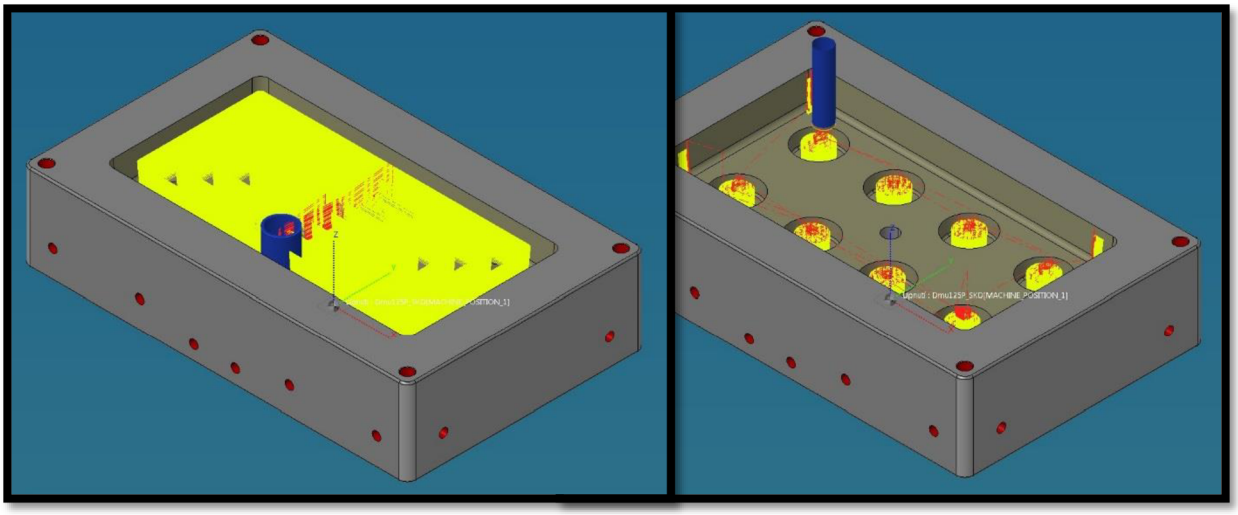
Fréza	Průměr frézy [mm]	Destička	Jakost	Počet destiček
FF FWX D050-05-22-07	37	H600 WXCU 070515HP	IC830	5
E93CN D20-3-L160-C20-07	20	CNHT 070315	IC908	3

Tab. 17 Označení použitých fréz a destiček pro hrubování tvárnice. [24]

Fréza	v_c [m/min]	n [min-1]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
FF FWX D050-05-22-07	100	860	0,25	1075
E93CN D20-3-L160-C20-07	150	2387	0,25	1790

Tab. 18 Řezné podmínky pro hrubování tvárnice. [24]

Obr. 39 Modely hrubovacích fréz [24]



Obr. 40 Simulace hrubování kapsy tvárnice

6.3.5 Kalení

Jakmile máme všechny díry vyvrtány a kapsu vyhrubovanou, zasíláme tvárnici do kalírny. Kalíme při teplotě 1000°C, chladící médium vzduch. Následuje popouštění při teplotě 600°C, chladící médium vzduch, výsledná tvrdost 48+2 HRc, viz popouštěcí křivka v kapitole 6.1. [25]

6.3.6 Broušení

Ihned po dodání tvárnice z kalírny následuje broušení netvarových ploch na přesné rozměry dle výkresové dokumentace. Brousíme na stroji FS 1050 GT CB. Výsledná drsnost povrchu Ra 1,6. Specifikace brusného kotouče 68A 46 J 9 V C40 od společnosti TYROLIT, rozměry kotouče 1400 x 50 x 127 mm. Otáčky n = 1200 min^{-1}. Strojní čas cca 150 min.

6.3.7 Předdokončování

Po přebroušení všech ploch následuje obrábění vnějších rádiusů nejdříve v prvním upnutí a následně ve druhém a poté předdokončování tvarových ploch. Nejprve předdokončíme pomocí 5ti-osého obrábění stěny s technologickým úkosem pomocí monolitní tvrdokovové frézy a poté následuje předdokončení rovinných ploch tvaru a tvarových rádiusů pomocí stopkové frézy s toroidními destičkami. Přídavek na dokončení +0,2 mm.

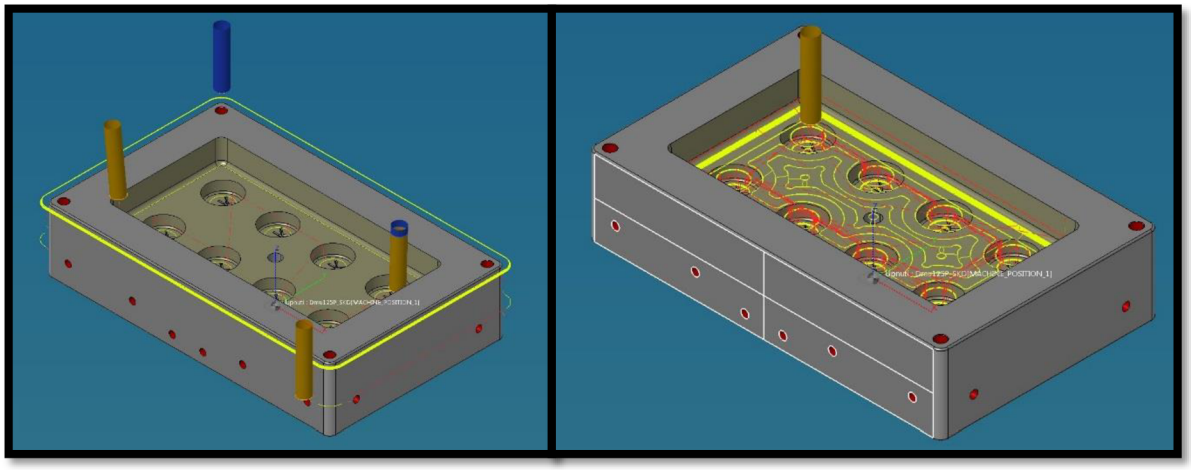
Fréza	Průměr frézy [mm]	Destička	Jakost	Počet břitů
ECXL200B80-6C20	20	-	IC900	6
E90CN D20-3-L140-C19-07-C	20	CNHT 070315	IC908	3

Tab. 19 Označení použitých fréz a destiček pro předdokončování tvárnice. [24]

Fréza	v_c [m/min]	n [min-1]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
ECXL200B80-6C20 E90CN D20-3-L140-C19-07-C	60 60	955 955	0,10 0,20	573 573

Tab. 20 Řezné podmínky pro předdokončování tvárnice. [24]

Obr. 41 Modely předdokončovacích fréz [24]



Obr. 42 Simulace předdokončení tvárnice

6.3.8 Dokončování

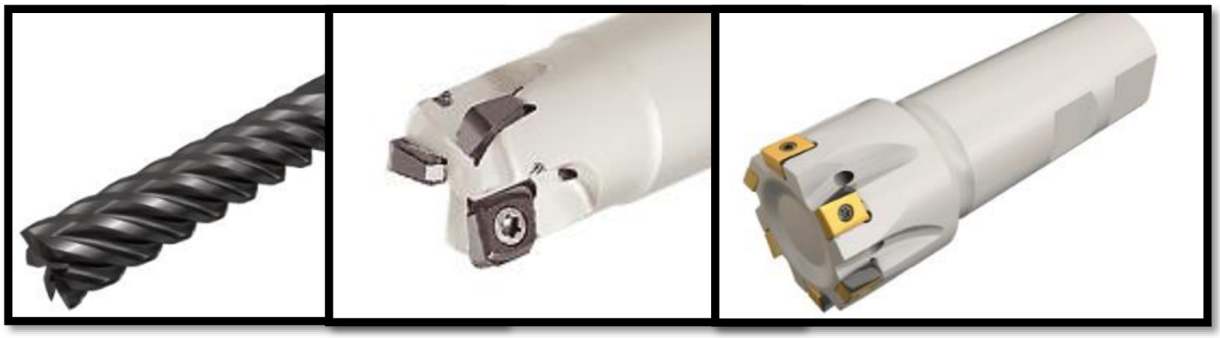
Poslední část při obrábění je dokončení tvarových ploch. Nejprve dokončíme pomocí 5ti-osého obrábění stěny s technologickým úkosem, poté dokončujeme tvarové rádiusy a nakonec dokončíme tvarové rovinné plochy.

Fréza	Průměr frézy [mm]	Destička	Jakost	Počet břitů
ECXL200B80-6C20	20	-	IC900	6
E90CN D20-3-L140-C19-07C	20	CNHT 070315	IC908	3
T490 ELN D20-2-C19-08B	20	T490 LNMT 0804PNR	IC810	2

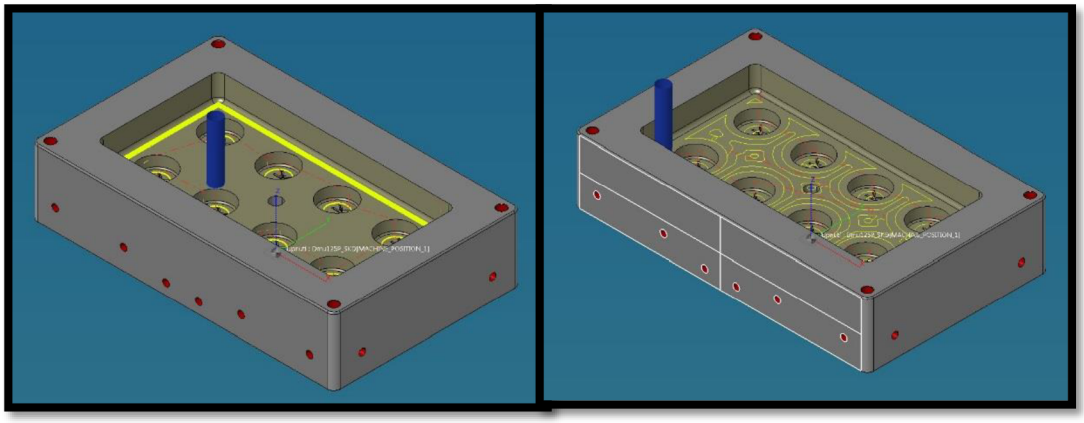
Tab. 21 Označení použitých fréz a destiček pro dokončování tvárnice. [24]

Fréza	v_c [m/min]	n [min-1]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
ECXL200B80-6C20	75	1194	0,05	358
E90CN D20-3-L140-C19-07-C	75	1194	0,10	358
T490 ELN D20-2-C19-08B	80	1273	0,10	255

Tab. 22 Řezné podmínky pro dokončování tvárnice. [24]



Obr. 43 Modely dokončovacích fréz [24]

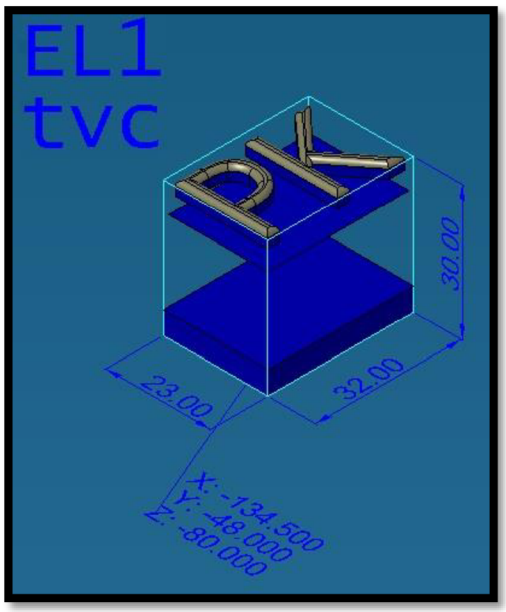


Obr. 44 Simulace dokončování tvárnice

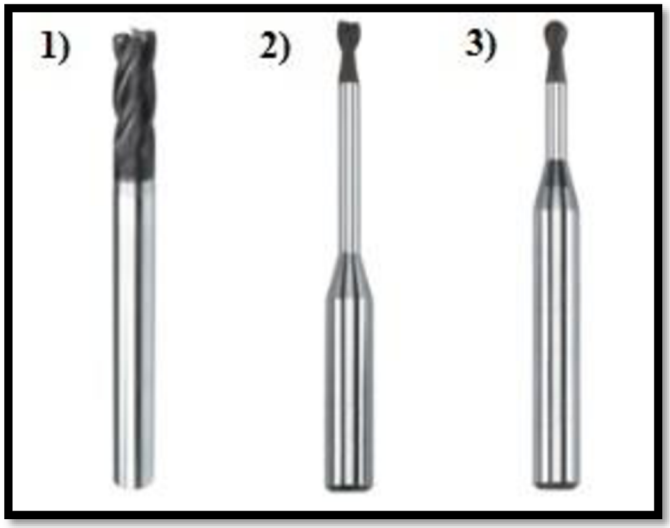
6.3.9 Výroba elektrody pro hloubení

Nezbytnou součástí pro následné EDM hloubení je také výroba elektrody. Nejprve musíme model elektrody vygenerovat. V CAD modulu WorkNC přepneme na souřadnicový systém „el“, vybereme plochy, které se budou následně hloubit a tangenciálně je vytáhneme. Následně ještě vytvoříme základnu elektrody, za kterou se bude následně ve stroji upínat. Poté se přepneme zpět do CAM modulu a přes funkci import vzoru obrábění naimportujeme již předvytvořený program. Nakonec upravíme dráhy, nástroje a řezné podmínky. Finální tvar má záporný přídavek -0,15 mm, aby při hloubení mohl vznikat elektrický výboj.

Výroba elektrod je realizována na stroji Mikron HSM 400U LP. Materiál elektrody bude Grafit Q70 dodávaný společností Meusburger, polotovar elektrody 30 x 38 x 40 mm. Vzhledem k opalu elektrody při hloubení je třeba vyrobit elektrody dvě s tím, že jeden kus bude hrubovací a druhý dokončovací. Strojní čas výroby jedné elektrody je 40 min, tj. celkový čas bude 80 min.



Obr. 45 Model elektrody pro hloubení tvárnice



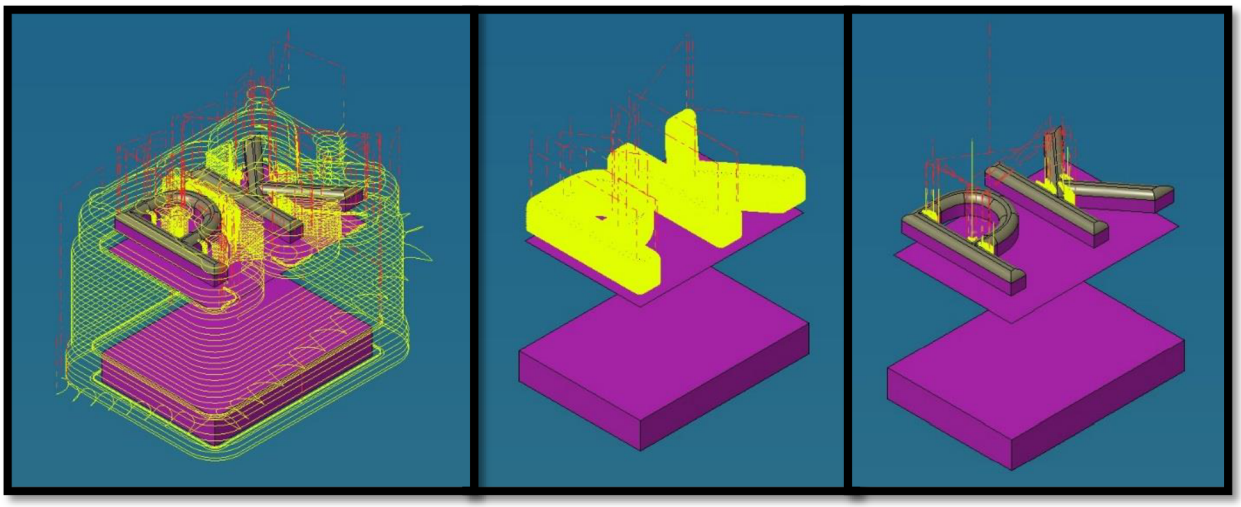
Obr. 46 Frézy pro obrábění elektrod, 1) WZF 27998T, 2) WZF 27996T, 3) WZF 28996K [26]

Č. op.	Název	Fréza	Popis	Řezné podmínky
1	Hrubování	WZF 27998T-10 WZF 27996T-4 WZF 27996T-2	Hrubování elektrody s přídavkem +0,2 mm	Dle tabulky nástrojů
2	Dokončování	WZF 28996K-2	Dokončování povrchu elektrody – úběr tvar una -0,15 mm	Dle tabulky nástrojů
3	Korekce zbytkového materiálu	WZF 28996K-1 WZF 28996K-0,5	Korekce zbytkového materiálu – úběr tvaru na -0,15 mm	Dle tabulky nástrojů

Tab. 23 Technologický postup obrábění elektrody pro hloubení tvárnice.

Fréza	Průměr frézy [mm]	Rádius frézy [mm]	Počet zubů	v_c [m/min]	n [min-1]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
WZF 27998T-10	10	1	4	200	6366	0,100	2546
WZF 27996T-4	4	0,5	2	200	15915	0,040	1273
WZF 27996T-2	2	0,2	2	200	31831	0,020	1273
WZF 28996K-2	2	1	2	132	21008	0,018	756
WZF 28996K-1	1	0,5	2	82	26101	0,009	470
WZF 28996K-0,5	0,5	0,25	2	50	31831	0,004	255

Tab. 24 Označení fréz a řezné podmínky pro obrábění elektrody tvárnice. [26]



Obr. 47 Simulace obrábění elektrody pro hloubení tvárnice, zleva hrubování, dokončování a korekce zbytkového materiálu

6.3.10 Řezání drátem

Předposlední část výroby je řezání díry pro vtokovou vložku tvárnice. Tato díra je již předvrtána, viz kapitola 6.3.3 bod 1. Poloha díry dle výkresové dokumentace a CAD modelu. Řezání drátem bude realizováno na stroji Mitsubishi FA30S. Použitý drát CuZn37 Ø 0,3 mm od společnosti EDM TRADE. Řezání drátem probíhá ve třech operacích vždy s jiným posuvem. Pro vtokovou vložku Ø 18 mm bude $v_{f\,1}$ = 3.6 mm/min, $v_{f\,2}$ = 5.6 mm/min a $v_{f\,3}$ = 3.8 mm/min. Celkový strojní čas 60 min.

6.3.11 Hloubení

Poslední část je EDM hloubení nápisu „PK“ již vyrobenou elektrodou. Výsledný povrch po hloubení bude Ra 1,6. Polohy hloubených nápisů dle výkresu „polohy hloubení“. Hloubení bude provedeno na stroji AgieCharmilles ROBOFORM 550. Strojní čas na výrobu jednoho nápisu „PK“ je cca 30 min, tj. celkový strojní čas hloubení je 240 min.

6.3.12 Technologický postup výroby tvárnice

Níže v tabulkách bude popsán kompletní sled operací výroby tvárnice, sled obráběcích operací na CNC stroji DMU 125P duoBLOCK a tabulka použitých nástrojů pro obrábění na tomto stroji. Samozřejmostí je mezioperační kontrola a po kompletním zhotovení následuje CNC 3D měření tvárnice. Celkový strojní výrobní čas tvárnice je 1260 min, tj. 21 hod. Nejsou započítány přípravné práce a čas kooperace v kalírně. Následně se všechny tvarové plochy leští na technický lesk.

Č. op.	Název	Stroj	Popis	Nástroj	Destička	Strojní čas [min]
1	Úhlování	FGS 50/63	Úhlovat polotovar s přídavkem +0,5 mm dle výkresu	IQ845 FSY D125-09-40-R07	IQ845 SYHU 070400N-MM	180
2	Vrtání	DMU 125P duoBLOCK	Vrtat a frézovat díry dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	70
3	Hrubování	DMU 125P duoBLOCK	Hrubování s přídavkem +0,7 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	250
4	Kalení	Kooperace	Kalit na HRc 48+2	n/a	n/a	n/a
5	Broušení	FS 1050 GT CB	Brousit na přesný rozměr dle výkresu, povrch Ra 1,6	68A 46 J 9 V C40	n/a	150
6	Předdokončování	DMU 125P duoBLOCK	Předdokončování s přídavkem +0,2 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	130
7	Dokončování	DMU 125P duoBLOCK	Dokončování dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	100
8	Elektrody	Mikron HSM 400U LP	Výroba elektrod dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	80
9	Řezání drátem	Mitsubishi FA30S	Řezání díry pro vtokovou vložku dle výkresu a CAD modelu	CuZn37 Ø 0,3 mm	n/a	60
10	Hloubení	AgieCharmilles ROBOFORM 550	Hloubení nápisu "PK" dle výkresu	el1 tvc	n/a	240

Tab. 25 Technologický postup výroby tvárnice.

Č. op.	Název	Nástroje	Popis	Řezné podmínky
1	Vrtání a frézování otvorů	SCD 120-040-120 AP3N SCCD 080-043-080 AP5 SCD 100-080-100 ACP8N EC060A16-2C06 A428.91-03125-16-103K15 A428.91-03125-28-103K15	Vrtání a frézování otvorů dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
2	Hrubování	FF FWX D050-05-22-07 E93CN D20-3-L160-C20-07	Hrubovat s přídavkem +0,7 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
3	Vnější rádiusy	ECXL200B80-6C20 E90CN D20-3-L140-C19-07-C	Výroba vnějších rádiusů dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
4	Předdokončování	ECXL200B80-6C20 E90CN D20-3-L140-C19-07-C	Předdokončování s přídavkem +0,2 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
5	Dokončování	ECXL200B80-6C20 E90CN D20-3-L140-C19-07-C T490 ELN D20-2-C19-08B	Dokončování ploch dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů

Tab. 26 Sled operací obrábění tvárnice na CNC DMU 125P duoBLOCK.

Vrták/Fréza	Destička	Ø frézy [mm]	z	v_c	n	f_z	v_f
SCD 120-040-120 AP3N	-	12	2	60	1592	0,17	541
SCCD 080-043-080 AP5	-	8	2	60	2387	0,12	573
SCD 100-080-100 ACP8N	-	10	2	60	1910	0,16	611
EC060A16-2C06	-	6	2	150	7958	0,05	796
A428.91-03125-16-103K15	-	8	2	60	2387	0,12	573
A428.91-03125-28-103K15	-	8	2	60	2387	0,12	573
FF FWX D050-05-22-07	H600 WXCU 070515HP	37	5	100	860	0,25	1075
E93CN D20-3-L160-C20-07	CNHT 070315	20	3	150	2387	0,25	1790
ECXL200B80-6C20 (P)	-	20	6	60	955	0,10	573
E90CN D20-3-L140-C19-07-C (P)	CNHT 070315	20	3	60	955	0,20	573
ECXL200B80-6C20 (D)	-	20	6	75	1194	0,05	358
E90CN D20-3-L140-C19-07-C (D)	CNHT 070315	20	3	75	1194	0,10	358
T490 ELN D20-2-C19-08B	T490 LNMT 0804PNR	20	2	80	1273	0,10	255

Tab. 27 Použité nástroje a destičky pro obrábění tvárnice, řezné podmínky, (P) – předdokončování, (D) - dokončování.

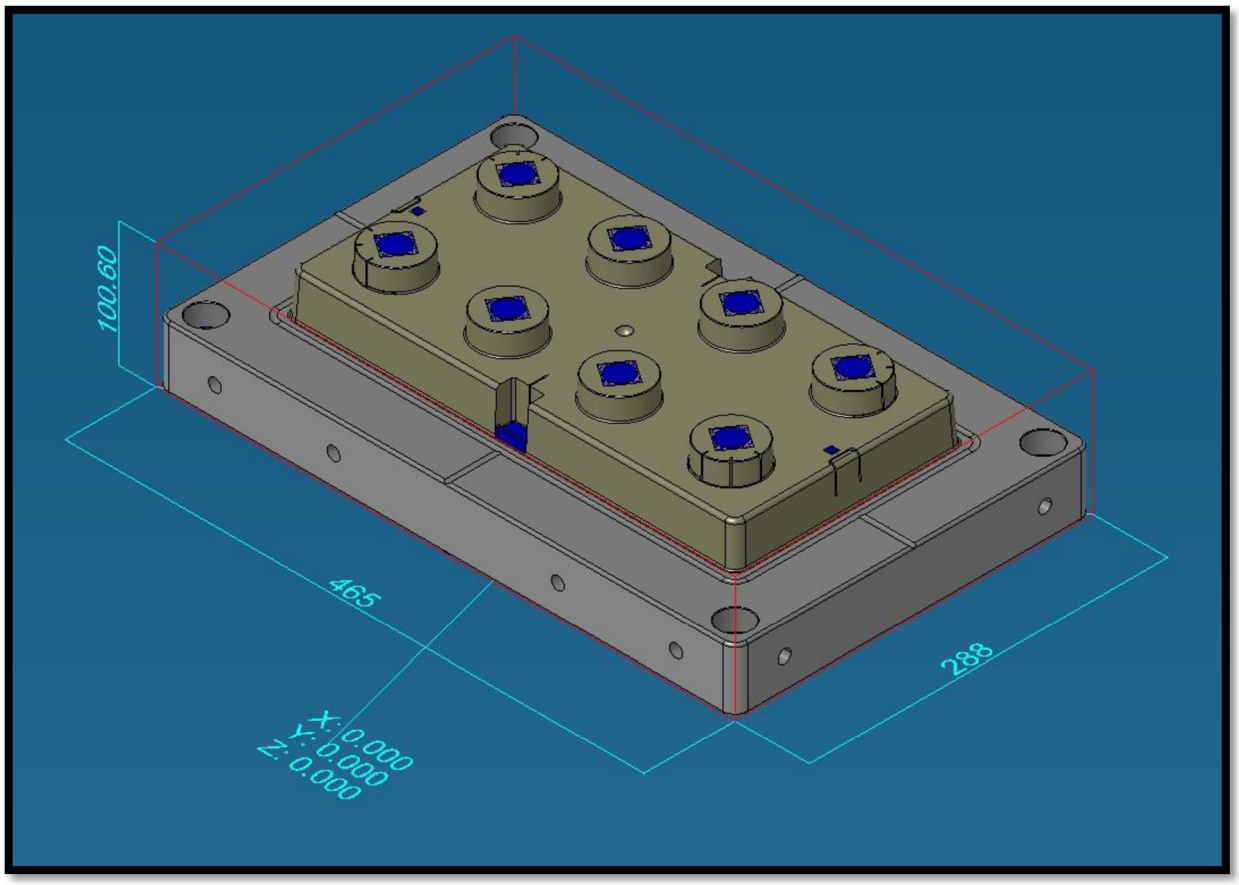
6.4 Výroba tvárníku vstřikovací formy

Výroba tvárníku vstřikovací formy probíhá obdobně jako výroba tvárnice. Proto budou popsány jen rozdílné záležitosti a doplněny nástroje pro obrábění. Následně bude vytvořený technologický sled operací a tabulka nástrojů včetně řezných podmínek obrábění.

6.4.1 Zapolohování CAD modelu tvárníku

Tvárník stejně jako tvárnici zapolohujeme a vytvoříme zalepení ploch jako ochranu zahloubení. Polotovar tvárníku bude blok oceli 1.2343 dle EN 10027 o rozměrech 480 x 300 x 110 mm.

Tvárník bude opět obráběn na dvě upnutí, přičemž budeme používat dva souřadnicové systémy stejné jako u tvárnice, tj. souřadnicový systém „st“ pro obrábění vrchní tvarové části tvárníku a souřadnicový systém „el“, který je otočený o 180° podle osy y pro obrábění a vrtání spodní části a obrábění elektrod pro EDM hloubení. Počátek obou souřadnicových systému leží opět na průsečíku úhlopříček spodní strany polotovaru.



Obr. 48 Poloha tvárníku a souřadnicových systémů, ochrana zahloubení pomocí zalepení

6.4.2 Úhlování tvárníku

Úhlování tvárníku bude probíhat za stejných podmínek a stejným nástrojem jako úhlování tvárnice s tím rozdílem, že na horní plochu, kde bude následně frézovaný tvar, úhlujeme s přídavekem +2 mm oproti výkresu. Na ostatní plochy, které budou následně na přesný rozměr dobrušovány, bude přídavek jako u tvárnice +0,5 mm. Rozměry dle výkresu.

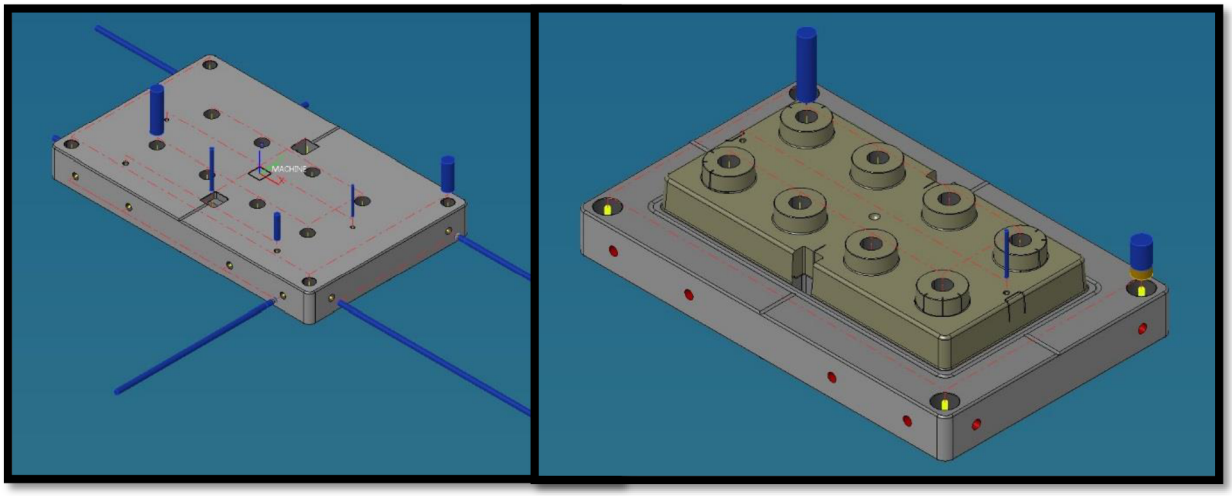
6.4.3 Dodatečné nástroje k obrábění tvárníku

1. Vrtání a frézování otvorů

Jelikož jsou na tvárníku i průchozí díry pro vyhazovače, tak tyto díry budou vrtány v obou upnutí vždy lehce za půlku hloubky příslušné díry.

Vrták/Fréza	Průměr vrtáku [mm]	Jakost	Počet zubů
SCD 040-017-060 AP3N	4	IC908	
SCD 060-020-060 AP3N	6	IC908	
SCD 170-051-180 AP3	17	IC908	2
SCD 180-071-180 AP5	18	IC908	
EC200A38-2C20	20	IC900	
v_c [m/min]	**n [min-1]**	**f_z [mm/ot]**	**v_f [mm/min]**
60	4775	0,07	668
60	3183	0,10	637
60	1123	0,22	494
60	1061	0,22	467
150	2387	0,05	239

Tab. 28 Dodatečné vrtáky a frézy pro obrábění děr tvárníku včetně řezných podmínek. [24]



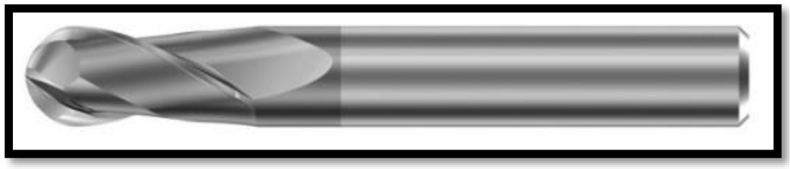
Obr. 49 Simulace vrtání a frézování děr tvárníku v prvním a druhém upnutí

2. Kulové frézy

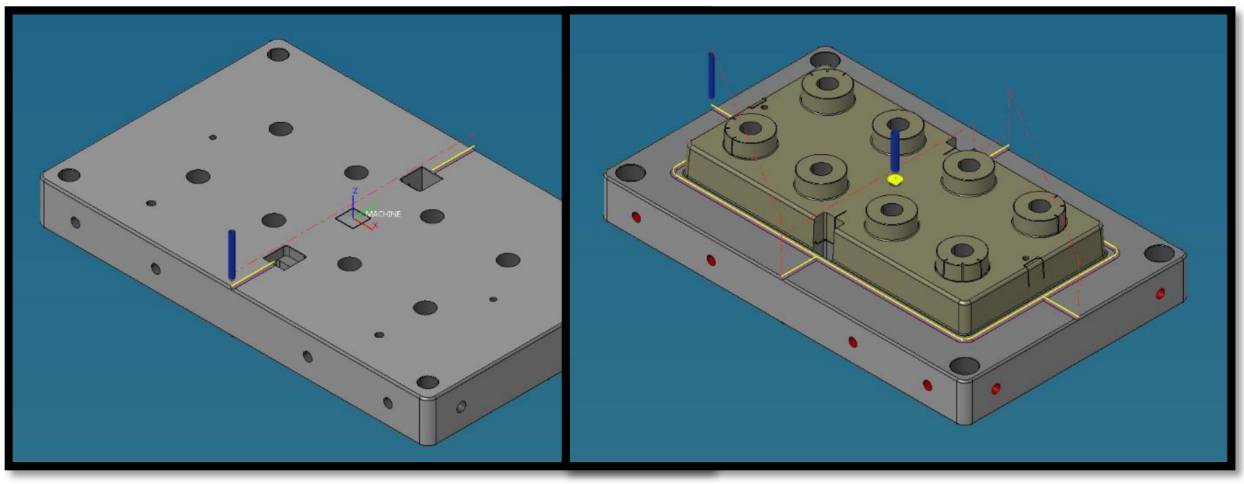
Na tvárníku využijeme také dvě kulové frézy a to kulovou frézu Ø 6 mm pro gravírování odvzdušňovací drážky a kulovou frézu Ø 8 mm pro obrábění zahloubení pro nálitek.

Fréza	**Průměr frézy [mm]**	**Jakost**	**Počet zubů**
F8250.6.V6.57.12.Z2 F8250.8.V8.63.16.Z2	6 8	- -	2
v_c [m/min]	**n [min-1]**	**f_z [mm]**	**v_f [mm/min]**
100	5305 3979	0,10	1061 796

Tab. 29 Kulové frézy a řezné podmínky pro obrábění tvárníku. [27]



Obr. 50 Model použitých kulových fréz [27]



Obr. 51 Aplikace kulových fréz při obrábění tvárníku, vlevo upnutí 1, vpravo upnutí 2

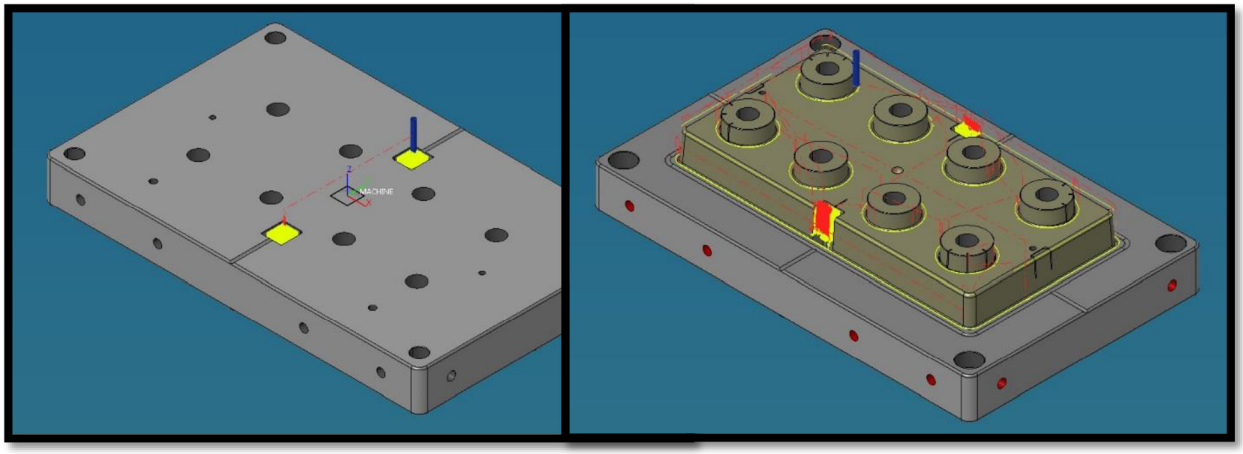
3. Monolitní frézy

Pro vyhrubování kapsy pro vložku tvárníku v prvním upnutí a pro dohrubování tvaru ve druhém upnutí bude použita monolitní toroidní tvrdokovová fréza Ø 6 mm a pro dokončení kapsy pro vložku bude použita monolitní válcová karbidová fréza Ø 6 mm.

Fréza	**Průměr frézy [mm]**	**Jakost**	**Počet zubů**
GP TK fréza 4z 6x6x28x75 R0.5 EC060B16-4C06	6 6	- IC900	4
v_c [m/min]	**n [min-1]**	**f_z [mm]**	**v_f [mm/min]**
90 100	4775 5305	0,02 0,04	382 849

Tab. 30 Monolitní frézy a řezné podmínky pro obrábění tvárníku. [24] [28]

Obr. 52 Modely monolitních fréz [24] [28]



Obr. 53 Aplikace monolitních fréz při obrábění tvárníku, vlevo upnutí 1, vpravo upnutí 2

6.4.4 Výroba elektrod pro hloubení

Sled operací je pro obrábění elektrod stejný jako u tvárnice, ovšem pro elektrody tvárníku používáme nástroje jiných rozměrů, viz tab. 32. Materiál elektrod bude Grafit Q70, polotovary jednotlivých elektrod dle výkresu. Vzhledem k opalu jednotlivých elektrod při hloubení je třeba vyrobit vždy dva kusy s tím, že jeden kus bude vždy hrubovací a druhý dokončovací. Celkový strojní čas na výrobu všech elektrod je 300 min.

Č. op.	Název	Fréza	Popis	Řezné podmínky
1	Hrubování	WZF 27998T-10 WZF 27996T-3	Hrubování elektrody s přídavkem +0,2 mm	Dle tabulky nástrojů
2	Dokončování	WZF 27996T-6 WZF 28996K-6	Dokončování povrchu elektrody – úběr tvar una -0,15 mm	Dle tabulky nástrojů
3	Korekce zbytkového materiálu	WZF 28996K-2 WZF 28996K-1	Korekce zbytkového materiálu – úběr tvaru na -0,15 mm	Dle tabulky nástrojů

Tab. 31 Technologický postup pro obrábění elektrod tvárníku.

Fréza	Průměr frézy [mm]	Rádius frézy [mm]	Počet zubů	v_c [m/min]	n [min-1]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
WZF 27998T-10	10	1	4	200	6366	0,100	2546
WZF 27996T-3	3	0,3	2	200	21221	0,030	1273
WZF 27996T-6	6	0,5	2	250	13263	0,054	1432
WZF 28996K-6	6	3	2	250	13263	0,054	1432
WZF 28996K-2	2	1	2	132	21008	0,018	756
WZF 28996K-1	1	0,5	2	82	26101	0,009	470

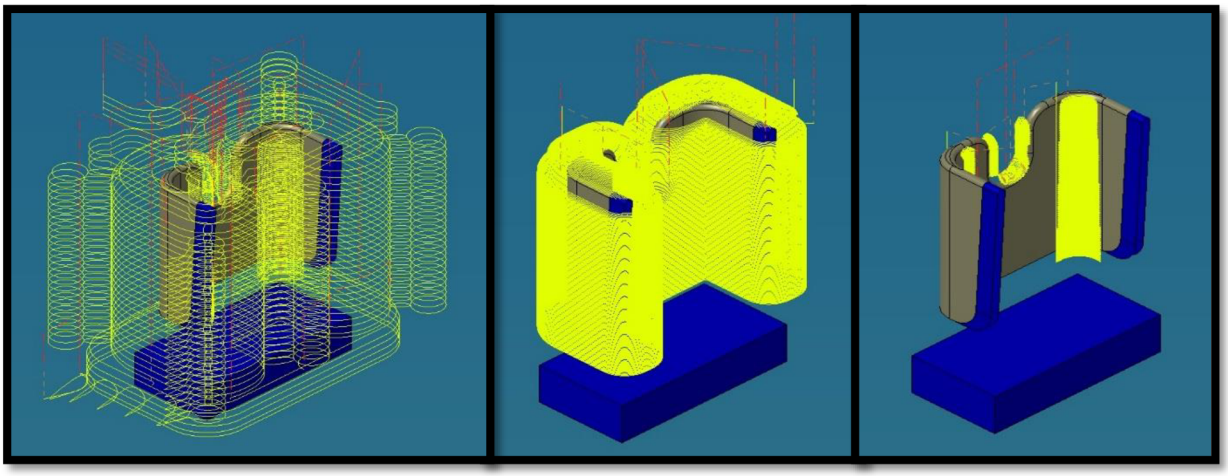
Tab. 32 Označení fréz a řezné podmínky pro obrábění elektrod tvárníku. [26]

6.4.5 Řezání drátem

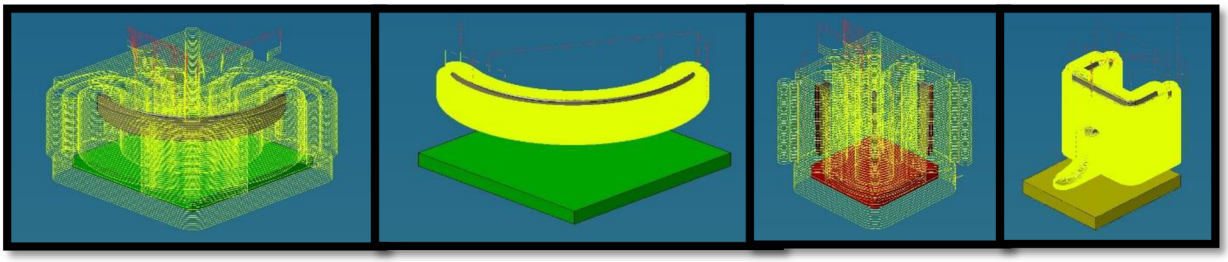
Předposlední část výroby je opět řezání děr jednak pro vyhazovače a také pro vložku tvárníku. Všechny díry jsou již předvrtány, polohy děr dle výkresové dokumentace a CAD modelu. Použitý stroj a drát stejný jako u tvárnice. Pro vyhazovače Ø 6 mm bude v_{f1} = 6.4 mm/min, v_{f2} = 6.1 mm/min a v_{f3} = 4.6 mm/min, pro vyhazovače Ø 20 mm a tvarovou vložku bude v_{f1} = 3.6 mm/min, v_{f2} = 5.6 mm/min a v_{f3} = 3.8 mm/min. Použitý drát CuZn37 Ø 0,3 mm. Strojní čas na všechny operace bude cca 500 min.

6.4.6 Hloubení

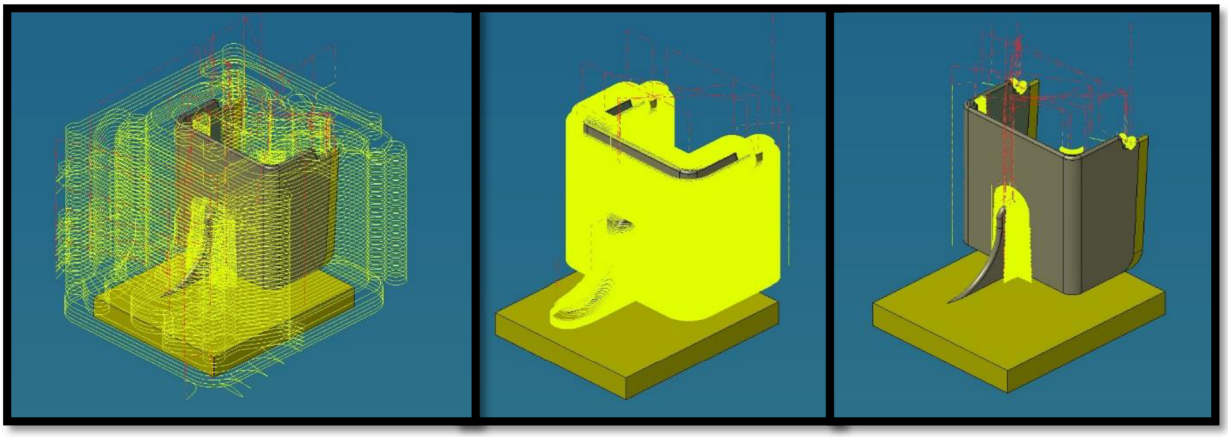
Poslední část je EDM hloubení tvarů tvárníku již vyrobenými elektrodami. Hloubíme zavírací mechanismy, přičemž dva zavírací mechanismy hloubíme v sestavě s tvarovými vložkami a výstužná žebra. Polohy hloubených částí dle příslušných výkresů „polohy hloubení“. Hloubení bude prováděno na stroji AgieCharmilles ROBOFORM 550. Strojní čas hloubení el1 je cca 60 min, el2 cca 45 min, el3 cca 45 min a el4 cca 75 min, tj. celkový strojní čas hloubení je 630 min. Výsledný povrch po hloubení bude Ra 1,6.



Obr. 54 Simulace obrábění elektrody č. 1, zleva hrubování, dokončování, korekce zbytkového materiálu



Obr. 55 Simulace obrábění elektrody č. 2 a č. 3, zleva hrubování el2, dokončování el2, hrubování el3, dokončování el3



Obr. 56 Simulace obrábění elektrody č. 4, zleva hrubování, dokončování, korekce zbytkového materiálu

6.4.7 Technologický postup výroby tvárníku

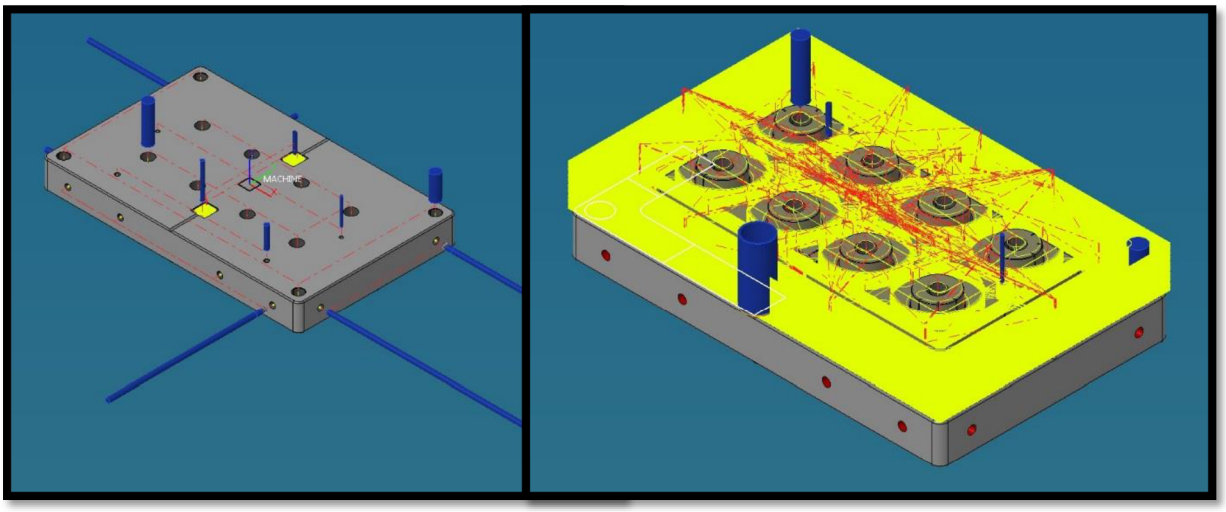
Níže v tabulkách bude obdobně jako u tvárnice popsán kompletní sled operací výroby tvárníku, sled obráběcích operací na CNC stroji DMU 125P duoBLOCK a tabulka použitých nástrojů pro obrábění na tomto stroji. Samozřejmostí je mezioperační kontrola a po kompletním zhotovení následuje CNC 3D měření tvárnice. Celkový strojní výrobní čas tvárníku je 3010 min, tj. 50 hod. Nejsou započítány přípravné práce a čas kooperace v kalírně. Následně se opět všechny tvarové plochy leští na technický lesk.

Č. op.	Název	Stroj	Popis	Nástroj	Destička	Strojní čas [min]
1	Úhlování	FGS 50/63	Úhlovat polotovar s přídavkem +2 mm na stěnu s tvarem a +0,5 mm na ostatní stěny dle výkresu	IQ845 FSY D125-09-40-R07	IQ845 SYHU 070400N-MM	180
2	Vrtání	DMU 125P duoBLOCK	Vrtat a frézovat díry dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	80
3	Hrubování	DMU 125P duoBLOCK	Hrubování s přídavkem +0,7 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	520
4	Kalení	Kooperace	Kalit na HRc 48+2	n/a	n/a	n/a
5	Broušení	FS 1050 GT CB	Brousit na přesný rozměr dle výkresu, povrch Ra 1,6	68A 46 J 9 V C40	n/a	150
6	Předdokončování	DMU 125P duoBLOCK	Předdokončování s přídavkem +0,2 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	370
7	Dokončování	DMU 125P duoBLOCK	Dokončování dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	280
8	Elektrody	Mikron HSM 400U LP	Výroba elektrod dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů	Dle tabulky nástrojů	300
9	Řezání drátem	Mitsubishi FA30S	Řezání děr dle výkresu a CAD modelu	CuZn37 Ø 0,3 mm	n/a	500
10	Hloubení	AgieCharmilles ROBOFORM 550	Hloubení tvarů dle výkresu	el1, el2, el3, el4	n/a	630

Tab. 33 Technologický postup výroby tvárníku.

Č. op.	Název	Nástroje	Popis	Řezné podmínky
1	Vrtání a frézování otvorů	SCCD 080-043-080 AP5 EC060A16-2C06 A428.91-03125-16-103K15 A428.91-03125-28-103K15 SCD 040-017-060 AP3N SCD 060-020-060 AP3N SCD 170-051-180 AP3 SCD 180-071-180 AP5 EC200A38-2C20	Vrtání a frézování otvorů dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
2	Hrubování	FF FWX D050-05-22-07 GP TK fréza 4z 6x6x28x75 R0.5	Hrubovat s přídavkem +0,7 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
3	Vnější rádiusy	ECXL200B80-6C20 E90CN D20-3-L140-C19-07-C F8250.6.V6.57.12.Z2-C	Výroba vnějších rádiusů dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
4	Předdokončování	ECXL200B80-6C20 E90CN D20-3-L140-C19-07-C	Předdokončování s přídavkem +0,2 mm dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů
5	Dokončování	ECXL200B80-6C20 E90CN D20-3-L140-C19-07-C T490 ELN D20-2-C19-08B F8250.8.V8.63.16.Z2 EC060B16-4C06	Dokončování ploch dle NC kódu	Dle tabulky nástrojů

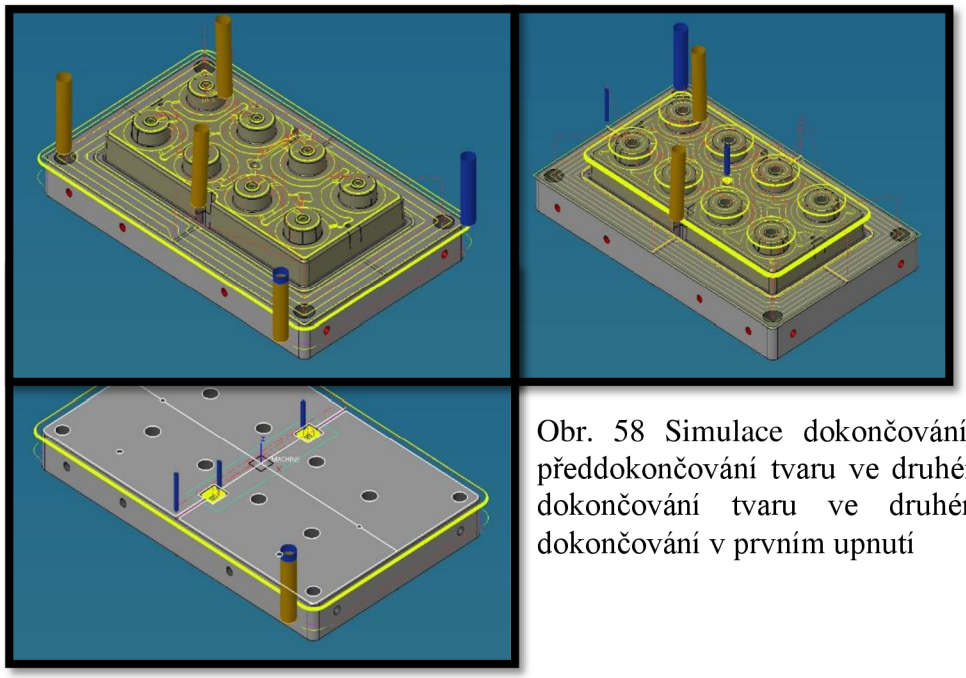
Tab. 34 Sled operací obrábění tvárníku na CNC DMU 125P duoBLOCK.



Obr. 57 Simulace hrubování tvárníku, vlevo první upnutí, vpravo druhé

Vrták/Fréza	Destička	Ø frézy [mm]	z	v_c	n	f_z	v_f
SCCD 080-043-080 AP5	-	12	2	60	1592	0,08	255
EC060A16-2C06	-	6	2	150	7958	0,05	796
A428.91-03125-16-103K15	-	8	2	60	2387	0,08	382
A428.91-03125-28-103K15	-	8	2	60	2387	0,08	382
SCD 040-017-060 AP3N	-	4	2	60	4775	0,07	668
SCD 060-020-060 AP3N	-	6	2	60	3183	0,10	637
SCD 170-051-180 AP3	-	17	2	60	1123	0,22	494
SCD 180-071-180 AP5	-	18	2	60	1061	0,22	467
EC200A38-2C20	-	20	2	150	2387	0,05	239
FF FWX D050-05-22-07	H600 WXCU 070515HP	37	5	100	860	0,25	1075
GP TK fréza 4z 6x6x28x75 R0.5	-	6	4	90	4775	0,02	382
ECXL200B80-6C20 (P)	-	20	6	60	955	0,10	573
E90CN D20-3-L140-C19-07-C (P)	CNHT 070315	20	3	60	955	0,20	573
T490 ELN D20-2-C19-08B (P)	T490 LNMT 0804PNR	20	2	80	1273	0,18	458
F8250.6.V6.57.12.Z2	-	6	2	100	5305	0,10	1061
ECXL200B80-6C20 (D)	-	20	6	75	1194	0,05	358
E90CN D20-3-L140-C19-07-C (D)	CNHT 070315	20	3	75	1194	0,10	358
T490 ELN D20-2-C19-08B (D)	T490 LNMT 0804PNR	20	2	100	1592	0,10	318
F8250.8.V8.63.16.Z2	-	8	2	100	3979	0,10	796
EC060B16-4C06	-	6	4	100	5305	0,04	849

Tab. 35 Použité nástroje a destičky pro obrábění tvárníku, řezné podmínky, (P) – předdokončování, (D) - dokončování.



Obr. 58 Simulace dokončování tvárníku, vlevo předdokončování tvaru ve druhém upnutí, vpravo dokončování tvaru ve druhém upnutí, dole dokončování v prvním upnutí

6.5 Technologický postup výroby vložky tvárníku

Nakonec vyrábíme tvarovou vložku tvárníku. Tato výroba již nebude probíhat na CNC frézovacím stroji z důvodu své neekonomičnosti. Budeme vyrábět dvě tvarové vložky, tvary budeme následně hloubit v sestavě společně s tvárníkem. Polotovar pro výrobu vložky bude ocel 1.2343 dle EN 10027 o rozměrech 90 x 30 x 30 mm. Celkový strojní čas výroby obou vložek bude 580 min. Nejsou započítány přípravné práce a čas kooperace v kalírně. Následně se opět všechny tvarové plochy leští na technický lesk. Foto tvarové vložky viz obr. 18.

Č. op.	Název	Stroj	Popis	Nástroj	Destička	Strojní čas [min]
1	Úhlování	FGS 50/63	Úhlovat polotovar s přídavkem +0,5 mm na všechny stěny	IQ845 FSY D125-09-40-R07	IQ845 SYHU 070400N-MM	60
2	Kalení	Kooperace	Kalit na HRc 48+2	n/a	n/a	n/a
3	Broušení	FS 1050 GT CB	Brousit na přesný rozměr dle výkresu, povrch Ra 1,6	68A 46 J 9 V C40	n/a	60
4	Řezání drátem	Mitsubishi FA30S	Řezání tvaru a díry pro vyhazovač dle výkresu a CAD modelu	CuZn37 Ø 0,3 mm	n/a	30
5	Hloubení	AgieCharmilles ROBOFORM 550	Hloubení tvarů v sestavě s tvárníkem dle výkresu	el4 tvk	n/a	140

Tab. 36 Technologický postup výroby jednoho kusu vložky tvárníku.

6.6 Výroba vyhazovačů

Součástí tvarových ploch jsou také vyhazovací kolíky. V naší vstřikovací formě bude 4x vyhazovací kolík Ø 6 mm v délce 232.80 ± 0.01 mm a 8x vyhazovací kolík Ø 20 mm v délce 250 mm viz příslušné výkresy. Tyto vyhazovače jsou nakupovanou normálií, které jsou dle výkresu upraveny na finální požadovaný rozměr. Kolíky budou dodány od firmy Meusburger a to E 1740/6 x 250 a E 1740/20 x 250. Vyhazovače Ø 20 mm jsou tedy již na požadovaném rozměru, ale vyhazovače Ø 6 mm musíme na požadovaný rozměr zkrátit. Tato operace probíhá na konvenční vodorovné rovinné brusce, kdy se nejprve délka uřízne a nakonec dobrousí na požadovaný rozměr dle výkresu. Celkový strojní čas cca 15 min.

7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY

Poslední kapitola této práce bude věnována stručnému ekonomickému zhodnocení výroby tvarových částí vstřikovací formy. K tomuto hodnocení potřebujeme znát hodinové sazby příslušných strojů, celkový strojní čas na jednotlivých strojích a cenu materiálu. Stanovení hodinových sazeb příslušných strojů je interní záležitostí firmy SKD Bojkovice.

Celkový potřebný materiál ke zhotovení tvárnice, tvárníku a tvarové vložky tvárníku je 252 kg oceli 1.2343 dle EN 10027, přičemž cena od dodavatele této oceli je 140 Kč/kg. Cena za ocel bude tedy 35 300 Kč. Cena grafitových polotovarů pro výrobu elektrod je k celkovým nákladům zanedbatelná.

Stroj	Hodinová sazba stroje [Kč]	Výrobní čas [min]	Náklady [Kč]
FGS 50/63	550	420	3 850
DMU 125P duoBLOCK	675	1 800	20 250
FS 1050 GT CB	600	375	3 750
Mikron HSM 400U LP	740	380	4 690
Mitsubishi FA30S	740	590	7 280
AgieCharmilles ROBOFORM 550	680	1 010	11 450
	suma	**4 575**	**51 270**

Tab. 37 Hodinové sazby strojů, celkové strojní výrobní náklady. [29]

Celkové náklady výroby na strojích jsou tedy 51 270 Kč. Náklady za nástroje jsou započítány ve výrobní režii, která je promítnuta do hodinové sazby jednotlivých strojů.

Další nezanedbatelné náklady tvoří náklady za kooperaci pro tepelné zpracování, v našem případě v kalírně. Náklady pro kalení jednoho kilogramu oceli jsou 25 Kč. Celkové náklady za kalírnu bez dopravy jsou tedy 6300 Kč.

Do nákladů také započítáme nakupované normálie, v našem případě vyhazovače od společnosti Meusburger. Cena vyhazovače Ø 6 mm v délce 250 mm je 6,30 eur/ks. Cena vyhazovacího kolíku Ø 20 mm v délce 250 mm je 32,70 eur/ks. Celkové náklady za normálie jsou tedy 4x 6,30 eur a 8x 32,70 eur, přičemž 1 euro = 25,80 Kč, tj. náklady jsou 7 400 Kč. [30]

Kompletní náklady na výrobu tvárnice, tvárníku a vložky tvárníku jsou 35 300 + 51 270 + 6 300 + 7 400 = 100 270 Kč. Při započtení marže by firma tuto výrobu nabízela okolo 115 000 Kč.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh výroby tvarových částí vstřikovací formy s ohledem na možnosti firmy SKD Bojkovice.

V první kapitole teoretické části práce, byla provedena studie samotné vstřikovací formy. Vstřikovací formy jsme si zadefinovali, popsali jejich rozdělení a jednotlivé části vstřikovacího nástroje. Dále byly popsány materiály pro výrobu jednotlivých dílů formy. Jelikož jsou tyto formy stavěny většinou na statisícové výrobní série, volba správných materiálů je nezbytnou součástí výrobního procesu. Další podkapitola byla věnována konstrukčním a technologickým prvkům formy. Konkrétně násobnosti formy, vtokovým, vyhazovacím a temperačním systémům a odvzdušnění vstřikovacího nástroje. Tyto poznatky byly aplikovány dále v praktické části této práce.

V další kapitole byl popsán kompletní proces výroby vstřikovací formy a to od nabídkového řízení až po první výpadové plastové díly. Tento proces je na závěr kapitoly zjednodušeně prezentován formou diagramu, znázorňujícího i vstupní data pro příslušné úseky výroby.

Poslední kapitolou teoretické části bylo představení CAM softwaru WorkNC, ve kterém byla následně vypracována podstatná část praktické části této práce. Byly stručně popsány možnosti programu a důraz byl kladen především na princip práce v tomto programu, neboť se tento princip mírně liší od konkurenčních CAM softwarů.

Praktická část práce byla zaměřena na návrh vlastní plastové součásti a příslušné vstřikovací formy, zpracování nezbytné výrobní dokumentace, popsání procesu výroby tvarových částí formy a ekonomickému zhodnocení této výroby. Zvolená součást bylo víko na box od společnosti The LEGO Group. V první kapitole jsme si součást krátce představili a dále se věnovali materiálu výstřiku, kterým je Polypropylen PPC 5660.

Druhá kapitola praktické části pojednává o konstrukčním návrhu vstřikovací formy pro tento díl. Konstrukce byla realizována v softwaru Autodesk Inventor 2018 a byla provedena s důrazem na všechny zásady a náležitosti při konstruování vstřikovacích forem popsanými v teoretické části práce. Nakonec proběhla simulace vyrobitelnosti výstřiku technologií vstřikování plastů. Jelikož cílem práce byla výroba pouze tvarových částí formy, konstrukce ostatních dílů nástroje byla provedena pouze z technologických důvodů a není tedy plně detailní a funkční. Tvarové části této formy jsou tvárnice, tvárník, vložka tvárníku a vyhazovací kolíky.

Ve třetí, zdaleka nejobsáhlější kapitole praktické části jsem se věnoval technologii výroby tvarových částí vstřikovacího nástroje. Nejprve byl představen materiál pro tyto tvarové části, kterým byla zvolena ocel 1.2343 dle EN 10027 a následně byly představeny všechny stroje nutné k samotné výrobě. Nejvíce vytěžovanými stroji jsou moderní 5ti-osé CNC DMU 125P duoBLOCK od společnosti DMG Mori a hloubička pro EDM hloubení tvarů AgieCharmilles ROBOFORM 550. Následně byly zpracovány veškeré obráběcí CAM programy a to včetně programů pro výrobu grafitových elektrod. Tyto programy byly verifikovány pomocí simulací. Poté byly zpracovány kompletní výrobní postupy pro každou tvarovou část formy včetně příslušných nástrojů nutných k výrobě v každé operaci a jejich řezných podmínek při operacích třískového obrábění.

V poslední kapitole práce stručně pojednává o technicko-ekonomickém zhodnocení procesu výroby tvarových částí vstřikovací formy. Lze si všimnout, že výroba forem je časově i finančně velmi náročnou záležitosti a proto musíme eliminovat většinu rizik již v samotné přípravě výroby.

Závěrem lze stanovit, že práce splnila všechny předem stanovené cíle.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 1. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-23]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: https://publi.cz/books/179/Cover.html
2. ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy* [online]. In: . [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
3. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2017-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: https://publi.cz/books/184/Cover.html
4. LENFELD, Petr. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů: Skripta* [online]. Technická univerzita Liberec, 2008 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
5. ŠVAMBERK, Michal. *Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastových dílů: Vstřikovací forma – obrázek* [online]. In: . Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://docplayer.cz/9224049-Zapadoceska-univerzita-v-plzni-fakulta-strojni-bakalarska-prace.html
6. BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: sborník přednášek*. Vyd. 2. Brno: UNIPLAST, 1999.
7. HYNEK, Martin. *Plastové díly: Studené a živé vtokové systémy* [online]. In: . Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
8. HYNEK, Martin. *Plastové díly: Horké vtoky* [online]. In: . Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf
9. KANDUS, Bohumil. *Přednášky z Technologie zpracování plastů*. 2007. FSI VUT v Brně.
10. *KUKA: Tušírovací lis - obrázek* [online]. In: . [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/v%C3%BDrobn%C3%AD-stroje/sl%C3%A9v%C3%A1rensk%C3%A9-produkty/tu%C5%A1%C3%ADrovac%C3%AD-lis
11. *Měřící stroj Wenzel - obrázek* [online]. In: . [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.wenzel-group.com/praezision/en/products/cmm/medium-3d-coordinate-measuring-machine-xorbit.php?we_ID=2877
12. *SEMACO: WorkNC CAD/CAM* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.semaco.cz/cz/software-pro-nastrojarny/cad-cam
13. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2016. Svitavy: publi.cz [cit. 2019-05-23]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: https://publi.cz/books/180/Cover.html
14. *VM Plast s.r.o: Polypropylen - technical data sheet*[online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.vmplast.cz/sortiment/polypropylen/
15. *Managementmania: Poka Yoke* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://managementmania.com/cs/poka-yoke
16. *Bogner: ocel 1.2343 dle EN 10027 - technical data sheet*[online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.bogner.cz/files/files/Materialovy_list_1.2343.pdf

17. *Limetech: Konzolová frézka – parametry, obrázek* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.limetech.cz/frezka-konzolova-fgs-50-63/2220
18. *DMG Mori: DMU 125P duoBLOCK – parametry, obrázek* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu-duoblock/dmu-125-p-duoblock
19. *Lehmann: Bruska – parametry, obrázek* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.lehmann-rus.com/files/CB.pdf
20. *+GF+: HSM fréza na elektrody - parametry, obrázek* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.gfms.com/country_CZ/cs/Products/Milling/high-speed-milling--hsm-/hsm--high-speed-machining-centers/hsm-400u-lp.html
21. *+GF+: Hloubička AgieCharmilles - parametry* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.gindumac.com/product/gf-agiecharmilles-roboform-550_DE-EDM-+GF-2003-00001
22. *+GF+: Hloubička AgieCharmilles - obrázek* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.gfms.com/content/dam/gfac/PDF-Documents/sales/USA/Literature/Archived-Literature/FO350_550_US.pdf
23. *Mitsubishi Electric: Drátovka - parametry, obrázek*[online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.mitsubishi-edm.de/en/machines-history-fa-series.html
24. *ISCAR Cutting Tools: Katalog* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.iscar.com/eCatalog/
25. *Sandvik Coromant: Dělové vrtáky - parametry, obrázek* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/gundrills/Pages/assortment.aspx#query=%7B%22n%22:%22%22,%22l%22:%22DRLFGP_SLD_COR%22,%22r%22:%5B%7B%22n%22:%22TIBPAvailability%22,%22v%22:%5B%7B%22n%22:%22Available%22%7D%5D%7D%5D,%22c%22:%5B%5D%7D
26. *Meusburger: Frézy pro obrábění elektrod - parametry, obrázky*[online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.meusburger.com/EN/US/workshop-equipment/machining/milling-cutter#!/filter?selectedTreeElementId=1000295424&sortBy=1000529454:DESC
27. *UniCut: Kulové frézy - parametry, obrázek* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.unicut.cz/stopkove-frezy-ze-slinuteho-karbidu/finishball-f8250-br-kulova-freza-dokoncovaci
28. *KL Tech: Tvrdokovová fréza - parametry, obrázek*[online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://klte.inshop.cz/monolitni-frezy/tk-monolitni-frezy/gp-tvrdokovova-freza-4z-6x6x28x75-r0.5-%5Bid%3D40140600T028R050%20TIALN%5D
29. *SKD Bojkovice* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.skd-bojkovice.cz/
30. *Meusburger: Vyhazovače - nakupovaná normálie*[online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://ecom.meusburger.com/e/index.asp?id=165&rnd=3770

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotka
CAD	Computer aided design	[-]
CAM	Computer aided manufacturing	[-]
CNC	Computer numeric control	[-]
EDM	Electric Discharge Machining	[-]
FOT	First off tool	[-]
PP	Polypropylen	[-]
v_c	Řezná rychlost	[m/min]
v_f	Posuvová rychlost	[mm/min]
f_z	Posuv na zub	[mm]
z	Počet zubů	[-]
n	Otáčky vřetene	[min^{-1}]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad vstřikovací formy 13
Obr. 2 Schéma dvoudeskové vstřikovací formy se studeným vtokovým systémem 15
Obr. 3 Schéma studeného vtokového systému 17
Obr. 4 Příklad horkého vtokového systému 18
Obr. 5 Příklady uspořádání vtokové soustavy u vícenásobných forem 18
Obr. 6 Vyhazovací systém formy 19
Obr. 7 Temperační systém pomocí přepážky 20
Obr. 8 Tušírovací lis od společnosti KUKA, CNC 3D měřící stroj Wenzel XO 107 23
Obr. 9 Diagram procesu výroby vstřikovacích forem včetně vstupních dat 23
Obr. 10 Logo softwaru WorkNC 24
Obr. 11 Definice polotovaru v softwaru WorkNC 25
Obr. 12 Strategie pro 3osé dokončování 25
Obr. 13 Definice parametrů obrábění 26
Obr. 14 Simulace 5ti-osého obrábění stěny tvárnice na stroji DMU 125P duoBLOCK 27
Obr. 15 Výsledná součást víko na box 28
Obr. 16 Model víka 29
Obr. 17 Tvárník a tvárnice po vygenerování 31
Obr. 18 Tvarová vložka tvárníku 31
Obr. 19 Tvorba základny formy 32
Obr. 20 Řez formou 33
Obr. 21 Základna formy včetně všech vytvořených komponentů 33
Obr. 22 Tvárník vstřikovací formy po dokončení 34
Obr. 23 Tvárnice vstřikovací formy po dokončení 34
Obr. 24 Moldflow simulace spolehlivosti plnění a předpovědi kvality dílu 35
Obr. 25 Základní parametry vstřikovacího procesu 35
Obr. 26 Popouštěcí křivka oceli 1.2343 dle EN 10027 36
Obr. 27 Konzolová frézka FGS 50/63 37
Obr. 28 5ti-osé CNC DMU 125P duoBLOCK 37
Obr. 29 Bruska FS 1050 GT CB 38
Obr. 30 HSM CNC Mikron MILL S 400 U 38
Obr. 31 Hloubička AgieCharmilles ROBOFORM 550 39
Obr. 32 Drátovka Mitsubishi FA30S 39
Obr. 33 CAD prostředí softwaru WorkNC, poloha tvárnice a souřadnicových systémů 40

Obr. 34 Model úhlovací frézy 41
Obr. 35 Simulace vrtání děr ve druhém upnutí, karbidové vrtáky 42
Obr. 36 Simulace vrtání a model vrtáku 43
Obr. 37 Simulace frézování děr a model frézy 44
Obr. 38 Simulace vrtání děr dělovými vrtáky 44
Obr. 39 Modely hrubovacích fréz 45
Obr. 40 Simulace hrubování kapsy tvárnice 46
Obr. 41 Modely předdokončovacích fréz 47
Obr. 42 Simulace předdokončení tvárnice 47
Obr. 43 Modely dokončovacích fréz 48
Obr. 44 Simulace dokončování tvárnice 48
Obr. 45 Model elektrody pro hloubení tvárnice 49
Obr. 46 Frézy pro obrábění elektrod 49
Obr. 47 Simulace obrábění elektrody pro hloubení tvárnice 50
Obr. 48 Poloha tvárníku a souřadnicových systémů 51
Obr. 49 Simulace vrtání a frézování děr tvárníku 51
Obr. 50 Model použitých kulových fréz 55
Obr. 51 Aplikace kulových fréz při obrábění tvárníku 55
Obr. 52 Modely monolitních fréz 56
Obr. 53 Aplikace monolitních fréz při obrábění tvárníku 56
Obr. 54 Simulace obrábění elektrody č. 1 58
Obr. 55 Simulace obrábění elektrody č. 2 a č. 3 58
Obr. 56 Simulace obrábění elektrody č. 4 58
Obr. 57 Simulace hrubování tvárníku 60
Obr. 58 Simulace dokončování tvárníku 61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vybrané používané materiály pří výrobě vstřikovacích forem 16
Tab. 2 Vlastnosti izotaktického polypropylenu 28
Tab. 3 Chemické složení podle normy ČSN EN ISO 4957 oceli 1.2343 dle EN 10027 36
Tab. 4 Tepelné zpracování oceli 1.2343 dle EN 10027 36
Tab. 5 Parametry stroje FGS 50/63 37
Tab. 6 Parametry stroje DMU 125P duoBLOCK 37
Tab. 7 Parametry brusky FS 1050 GT CB 38
Tab. 8 Parametry stroje HSM CNC Mikron MILL S 400 U 38
Tab. 9 Parametry hloubičky AgieCharmilles ROBOFORM 550 39
Tab. 10 Parametry stroje Mitsubishi FA30S 39
Tab. 11 Označení použité frézy a destičky pro úhlování tvárnice 41
Tab. 12 Řezné podmínky pro úhlování tvárnice 41
Tab. 13 Parametry a řezné podmínky karbidových vrtáků Ø 8 mm, resp. Ø 10 mm 42
Tab. 14 Parametry a řezné podmínky karbidového vrtáku Ø 12 mm 43
Tab. 15 Parametry a řezné podmínky frézy Ø 6 mm 43
Tab. 16 Parametry a řezné podmínky dělových vrtáků Ø 8 mm 44
Tab. 17 Označení použitých fréz a destiček pro hrubování tvárnice 45
Tab. 18 Řezné podmínky pro hrubování tvárnice 45
Tab. 19 Označení použitých fréz a destiček pro předdokončování tvárnice 46
Tab. 20 Řezné podmínky pro předdokončování tvárnice 47
Tab. 21 Označení použitých fréz a destiček pro dokončování tvárnice 48
Tab. 22 Řezné podmínky pro dokončování tvárnice 49
Tab. 23 Technologický postup obrábění elektrody pro hloubení tvárnice 49
Tab. 24 Označení fréz a řezné podmínky pro obrábění elektrody tvárnice 50
Tab. 25 Technologický postup výroby tvárnice 51
Tab. 26 Sled operací obrábění tvárnice na CNC DMU 125P duoBLOCK 52
Tab. 27 Použité nástroje a destičky pro obrábění tvárnice, řezné podmínky 52
Tab. 28 Dodatečné vrtáky a frézy pro obrábění děr tvárníku včetně řezných podmínek 54
Tab. 29 Kulové frézy a řezné podmínky pro obrábění tvárníku 55
Tab. 30 Monolitní frézy a řezné podmínky pro obrábění tvárníku 56
Tab. 31 Technologický postup pro obrábění elektrod tvárníku 57
Tab. 32 Označení fréz a řezné podmínky pro obrábění elektrod tvárníku 57
Tab. 33 Technologický postup výroby tvárníku 59
Tab. 34 Sled operací obrábění tvárníku na CNC DMU 125P duoBLOCK 60
Tab. 35 Použité nástroje a destičky pro obrábění tvárníku, řezné podmínky 61
Tab. 36 Technologický postup výroby jednoho kusu vložky tvárníku 62
Tab. 37 Hodinové sazby strojů, celkové strojní výrobní náklady 63

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Polypropylen PPC 5660 – technical data sheet
Příloha 2	Ocel 1.2343 dle EN 10027 – technical data sheet
Příloha 3	Výkresová dokumentace (CD)
Příloha 4	Výkresy a polohy hloubení elektrod (CD)
Příloha 5	NC kódy obrábění (CD)

Technical data sheet
Polypropylene – Heterophasic Copolymer
Produced in Europe

Description

Polypropylene PPC 5660 is heterophasic copolymer with a Melt Flow Index of 7 g/10min.
Polypropylene PPC 5660 is characterized by a medium fluidity offering a combination of ease of processing and good manufactured article properties in applications ranging from household to industrial.
Polypropylene PPC 5660 has been developed for the manufacture of garden furniture, battery cases and other articles requiring a combination of good stiffness and impact properties.

Characteristics

	Method	Unit	Typical Value
Rheological properties			
Melt Flow Index 230°C/2.16 kg	ISO 1133	g/10 min	7
Mechanical properties			
Tensile Strength at Yield	ISO 527-2	MPa	25
Elongation at Yield	ISO 527-2	%	6
Tensile modulus	ISO 527-2	MPa	1300
Flexural modulus	ISO 178	MPa	1200
Izod Impact Strength (notched)	ISO 180	kJ/m²	
at 23°C			10
at -20°C			5.5
Charpy Impact Strength (notched)	ISO 179	kJ/m²	
at 23°C			13
at -20°C			6
Hardness Rockwell - R-scale	ISO 2039-2		85
Thermal properties			
Melting Point	ISO 3146	°C	165
Vicat Softening Point	ISO 306	°C	
50N-50°C per hour			65
10N-50°C per hour			135
Heat Deflection Temperature	ISO 752	°C	
1.80 MPa - 120°C per hour			50
0.45 MPa - 120°C per hour			92
Other physical properties			
Density	ISO 1183	g/cm³	0.905
Bulk Density	ISO 1183	g/cm³	0.525

Safety and Product Stewardship

For safe use and handling, please refer to the Safety Data Sheet. A Product Stewardship certificate giving the conformity to various regulations or statements on absence of certain chemicals is also available on our web site www.polypropylene.totalpetrochemicals.com

An Injection Moulding troubleshooting guide is available upon request.

Information contained in this publication is true and accurate at the time of publication and to the best of our knowledge. The nominal values stated herein are obtained using laboratory test specimens. Before using one of the products mentioned herein, customers and other users should take all care in determining the suitability of such product for the intended use. Unless specifically indicated, the products mentioned herein are not suitable for applications in the pharmaceutical or medical sector. The Companies within Total Petrochemicals do not accept any liability whatsoever arising from the use of this information or the use, application or processing of any product described herein. No information contained in this publication can be considered as a suggestion to infringe patents. The Companies disclaim any liability that may be claimed for infringement or alleged infringement of patents.

W.Nr. 1.2343

EN ISO 4957	EN 10027	ČSN	Bogner	Poldi
X37CrMoV5-1	1.2343	19552	PG1	TLH

Chemické složení: podle normy ČSN EN ISO 4957

	C	Mn	Si	Pmax.	Smax.	Cr	Mo	V
%	0,33-0,41	0,25-0,5	0,8-1,2	0,03	0,02	4,8-5,5	1,1-1,5	0,3-0,5

Charakteristika oceli:

Středně legovaná nástrojová ocel pro práci za tepla s velmi dobrou houževnatostí a odolností proti opotřebení za tepla, vysokou pevností za tepla a malou rozměrovou deformací při tepelném zpracování, v žíhaném stavu dobře obrobitelná.

Použití:

Nástroje pro stříhání a tváření kovů za tepla, nástroje pro kovací stroje, výrobu šroubů, zápustky. Formy pro tlakové lití neželezných kovů. Houževnaté díly a nástroje také pro práci za studena.

Dodávaný stav:

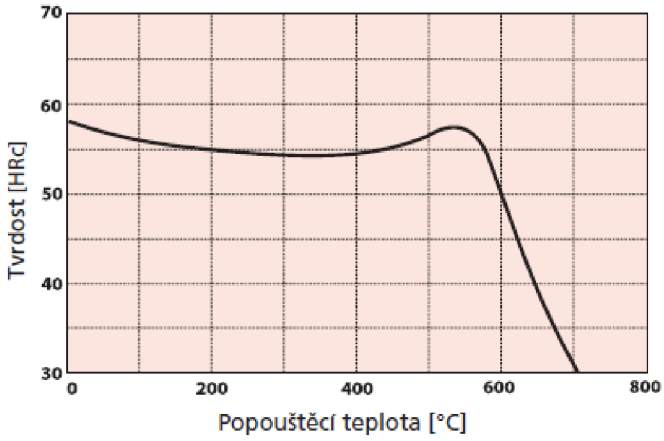
Žíhaná na měkko, max. 229 HB

Tepelné zpracování:

Způsob	Teplota (°C)	Chlazení
Žíhání na měkko	780 - 820	v peci
Žíhání na odstranění pnutí	600 - 650	v peci
Kalení	1000 - 1050	olej, inertní plyn, vzduch, vakuum, horká lázeň
Popouštění	550 - 700	vzduch, viz. popouštěcí křivka

Tvrdost:

Maximální : 57 HRc

Doporučená : 40 - 52 HRc

Popouštěcí křivka: