

# Digitální prototyp při vstřikování plastů

Petr Halaška

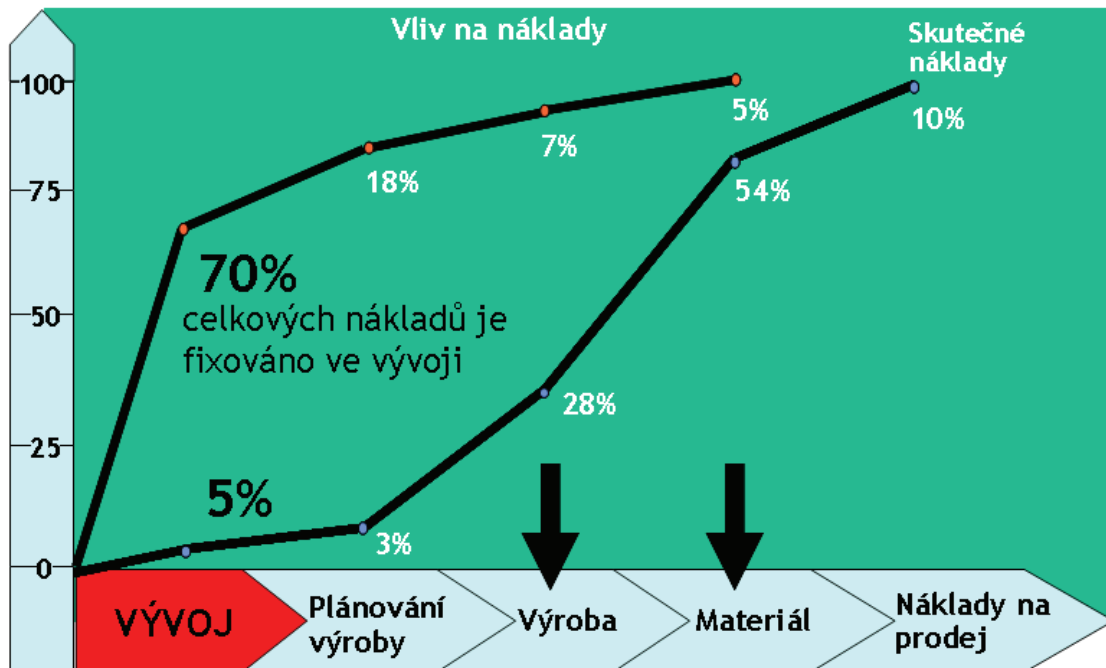
SMARTPLAST s.r.o.

## Úspora výrobních nákladů ve fázi vývoje

Při standardním způsobu návrhu výstřiku se uplatňují hlavně zkušenosti designéra a konstruktéra formy. Do jaké míry byl návrh výstřiku a formy úspěšný se ukáže až po výrobě vstřikovací formy a po vystříknutí zkušebních výlisků. Totéž platí pro samotné nastavení parametrů vstřikovacího procesu, které je dáno hlavně zkušenostmi technologa.

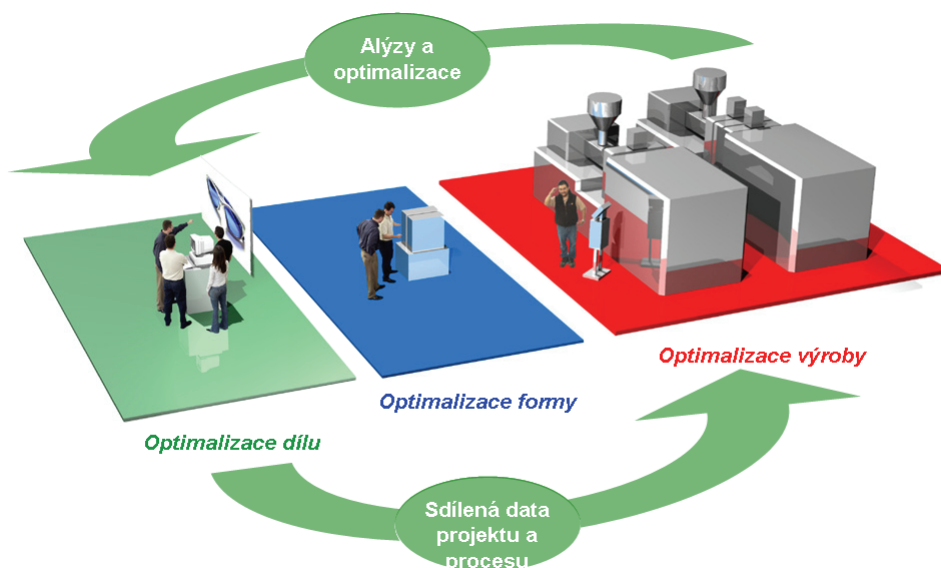
Cena vstřikovaného dílu je z největší části dána sumou těchto cen: cenou vstřikovací formy, cenou plastu, hmotností výstřiku včetně vtoků a délkou vstřikovacího cyklu. Výše těchto cen je zejména ovlivněna ve fázi designu plastového dílce, konstrukcí vstřikovací formy a technologické přípravy výroby, tj. nastavením technologických podmínek vstřikovacího procesu. Ve vývoji je fixováno až 70% celkových nákladů na výrobu, přičemž vývojová fáze představuje pouhých 5% z celkových výrobních nákladů. To je rozhodně důvod, proč věnovat vývojové fázi velkou pozornost. S částkou odpovídající 5% výrobních nákladů můžeme ušetřit desítky procent celkových výrobních nákladů. (Obr. 1) Tímto se dostáváme k požadavku krizových rozpočtů: Extrémnímu stlačení výrobních nákladů, které ale nutně nemusí vést ke snížení rentability. Nejprve se podívejme, jak je vývoj a příprava výroby rozdělena v globálním tržním prostředí:

Ve světě globálního tržního prostředí jsou realizační týmy, které řeší design dílu, návrh nástrojů a výrobní technologii od sebe vzdáleny tisíce kilometrů a několik časových pásem.



Obr. 1: Růst nákladů na uvedení výrobku na trh a vliv jednotlivých etap na růst nákladů

Pokud tyto týmy (Obr. 2) nemají v rukou exaktní hodnoty popisující design, nástroj a technologii, jejich komunikace může být velmi složitá až konfliktní a hlavně vede k nárůstu počtu chyb, nákladů a prodloužení času pro uvedení výrobku na trh.



Obr. 2: Klíčové týmy realizující vývoj a přípravu výroby plastového dílu

Typickým příkladem špatné týmové práce v prostředí, kde se využívají nejnovější výkriky vědy byl Hubbleův vesmírný teleskop. Po té, co byl teleskop dopraven na oběžnou dráhu, se zjistilo, že snímky, které posílá na Zemi, jsou nad očekávání nekvalitní a rozmazané. Primární chyba vznikla odchylkou jedné z čoček o 1,3mm. Protože na vývoji a výrobě teleskopu se podílely týmy jak v USA tak v Evropě, odchylka údajně vznikla v důsledku rozdílných měrových soustav, tj. palcové a metrické. Oprava této chyby si vyžádala čtyři mise raketoplánu do vesmíru. Náklady na odstranění výše uvedené chyby ponecháme na fantazii čtenáře.

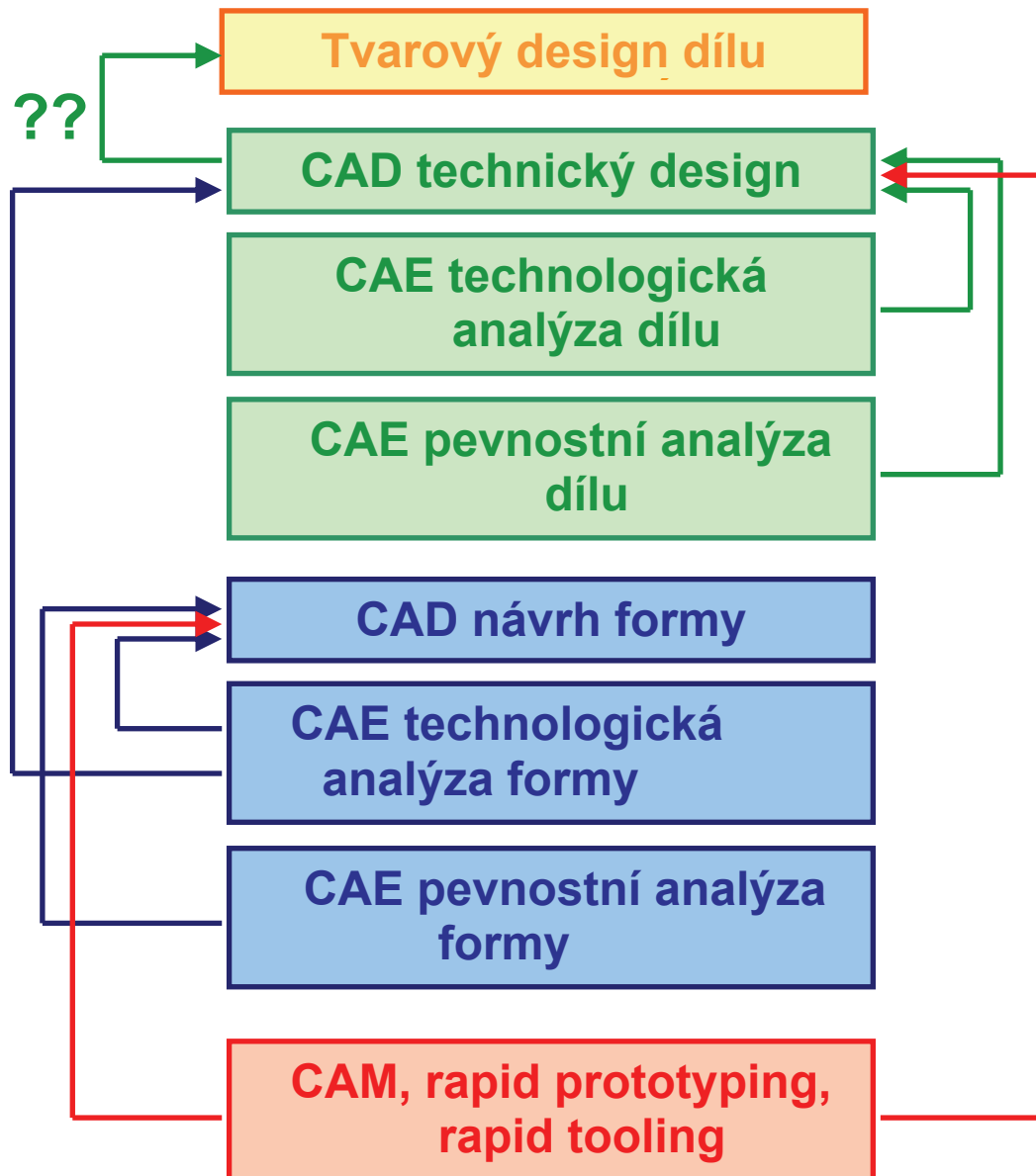
## Digitální prototyp

Digitální prototyp je spojení slov, v současné době skloňované ve všech pádech, mající poněkud mlhavý a všezahrnující význam. Zároveň softwarový vývojář, který toto sousloví nepoužije, jakoby dnes neexistoval. Digitální prototyp slovy Wikipedie „umožňuje vývojovému, konstrukčnímu, výrobnímu, prodejnímu a marketingovému oddělení virtuálně vytvořit a zdokonalit výrobek před tím, než je fyzicky vyroben. Designéři, konstruktéři a výrobci využívají Digitální prototyp k navrhování, optimalizaci, vyhodnocování a vizualizaci výrobku digitálně během procesu jeho vývoje. Také pracovníci marketingu využívají Digitální prototyp k tvorbě fotorealistických obrazů a animací produktu před jeho fyzickým vyrobením. Firmy často využívají Digitálního prototypu s cílem zjednodušit komunikaci mezi jednotlivými odděleními během vývoje produktu a tím ho dostat rychleji na trh a také zjednodušit jeho další inovace.“

Je to tedy nástroj poskytující propojení vývojových, technologických, výrobních a dokonce reklamních a marketingových týmů daty a hlavně vizualizacemi a simulacemi, tak jak se výrobek postupně rodí. Co je ovšem nejdůležitější, vše se děje ve virtuální realitě výpočetních stanic, bez použití fyzického materiálu či stroje. Výrobek je takto vytvořen jako

fotorealistický počítačový model a může být např. prováděn průzkum trhu, zatímco je připravována výroba a design může být dynamicky upravován podle požadavků zákazníka. Autodesk v tomto směru nabízí řešení od uměleckého designu, technického designu, analýz a simulací, vývoje výrobních nástrojů až po dokonalou filmovou animaci, umožňující představit výrobek zákazníkovi. Příkladem může být 3D film Avatar, kde byl použit software Autodesk Maya. Vraťme se ale ke vstřikování plastů.

### Digitální prototyp při vstřikování plastů



Obr. 3: Fáze digitálního prototypu při vstřikování plastů

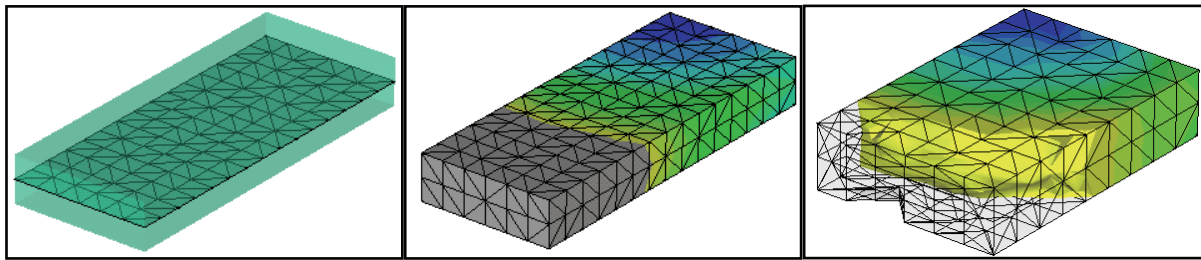
Jak už bylo řečeno v úvodu, na realizaci vstřikovaného plastového dílu se podílí tři klíčové týmy, tj. designéři, konstrukce a výroba nástroje a výroba, tedy vstřikování plastového dílu. Reklamu a marketing v tomto článku ponecháme stranou. Pokud se týká designu, musíme

rozlišovat mezi designem uměleckým a designem technickým. Umělecký nebo také průmyslový designer vytváří takzvanou zákaznickou stranu výrobku, tedy to, co je na vnější straně výrobku, to co výrobku dává charakteristický tvar, ergonomii, to co výrobek prodává. Umělecký designér pracuje hlavně se skicami a volně tvořenými plochami. Technický designer se zabývá vnitřní, nepohledovou stranou výrobku, která musí splňovat zejména nároky na montáž a zástavbu vnitřních mechanických či elektronických částí a pracuje s objemovými prvky, tzv. solidy. Technický design musí splňovat technologické požadavky na ekonomickou vyrobiteľnost a environmentální zatížení, tak aby vydržel namáhání prostředí, ve kterém bude používán. Např. jiné nároky jsou na plastovou klávesnici používanou v kanceláři a jiné nároky jsou na klávesnici používanou v průmyslovém prostředí. Nástroje pro vytvoření modelu designu dílu nebo sestavy dílů zahrnují skupinu software CAD (Computer Aided Design). Pro uměleckého designera Autodesk nabízí modelovací nástroj Alias a pro technického designera Inventor. Díl nebo sestava dílů je vytvořena ve formě solidu, tj. objem, který má definovanou základní fyzikální vlastnost měrnou hustotu. Model dílu je vytvořen parametricky a tvorba jeho geometrie je tedy popsána po jednotlivých krocích kótami ve stromu historie. Strom historie umožňují změny kterýchkoliv rozměrů modelu. Skupina dílů je svázána do sestavy. Sestava dílů je popsána montážními vazbami a jde-li o pohybovou sestavu, pak je pohyb jednotlivých dílů popsán kinematickými vazbami. Můžeme takto vytvořenou sestavu rozpohybovat a protože zadáváme rychlost pohybu a díly jsou vytvořeny pomocí solidů u kterých známe rozměry, objem, měrnou hustotu a těžiště, můžeme takto vyšetřit dynamické síly, které působí na jednotlivé díly.

Zde se dostáváme k další části virtuálního prototypu, k analýzám. Softwarové nástroje pro strukturální a technologickou analýzu patří do skupiny CAE (Computer Aided Engineering). U vstříkovaného dílu je nezbytná technologická analýza dílu (Obr. 3). Autodesk se v posledních letech velmi intenzivně zaměřil na oblast vstříkovaní plastů a vyvíjí Inventor Tooling, který umožňuje velmi jednoduchou analýzu vstříkovaného dílu. Speciální nástroj pro technologické analýzy je Autodesk Moldflow Adviser - expertní nástroj, určený zejména pro konstruktéry dílu a forem pro rychlou analýzu v postupných fázích návrhu, popř. pro technology pro ověření nastavených procesních parametrů a kalkulaci ceny výstřiku. Tento nástroj může běžet na pozadí CAD software a konstruktér může v kterékoliv fázi návrhu dílu nebo nástroje provést analýzu. Dostává jednoznačný výsledek s jednoduchým popisem problému a s možností jeho odstranění. Tzn. že tento expertní nástroj nepotřebuje hluboké znalosti problematiky vstříkovacího procesu, reologie a fyziky polymerů. Pracuje na bázi metody konečných prvků a umožňuje výpočty pomocí sítě Dual Domain i 3D. (Obr. 4)

Vlajkovou lodí pro technologické analýzy vstříkovaní plastů je Autodesk Moldflow Insight - nástroj pro hloubkovou analýzu vstříkovacího procesu. Poskytuje bezkonkurenční generování a editaci sítě konečných prvků a množství řešičů. Nejprve generátory sítě konečných prvků v AMI umožňují provádět výpočty na síti střednicové plochy, na síti dual domain a na síti objemové s využitím prvků TETRA 4 i TETRA 10. (Obr. 4) Výpočtové moduly jsou určeny pro komplexní analýzu vstříkovacího procesu včetně optimalizace DOE, dvoukomponentního vstříkovaní, zástříků, analýzy vstříkovaní se systémem Dynamic Feed, vstříkovaní s technologií GIT, vstříkovaní termosetů. Dále je možno analyzovat průhyb jádra ve formě a změnu tloušťky stěny výstřiku a kompletní mechanickou analýzu na síti střednicové plochy. Inventor Tooling, Moldflow Adviser i Insight obsahují unikátní databázi polymerních materiálů, kde je uvedeno cca 9000 typů termoplastů s hodnotami technologických podmínek, reologických vlastností, PVT vlastností, teplotních dat, mechanických dat a hodnot smrštění, umožňujících optimalizaci designu dílu, nástroje a výroby. Databáze Autodesk Moldflow obsahuje také jedinečná data CRIMS (Correct Residual In-mold Stress) modelu, který do výpočtu zahrnuje vznik krystalické fáze a její vliv na smrštění a také vliv orientace

makromolekul na smrštění ve směru toku taveniny a kolmo na směr taveniny. Hodnoty smrštění pro CRIMS model jsou naměřeny v testovací formě.



Obr. 4 Síť konečných prvků Midplane, Dual Domain, 3D objemová síť

Hlubková technologická analýza vstřikovaného dílu umožňuje optimalizovat tvar a hlavně tloušťky stěn dílu. Tato optimalizace má zcela zásadní vliv na hmotnost dílu a tedy spotřebu materiálu, ale také na délku vstřikovacího cyklu. Čas chlazení není jenom na chlazení formy, ale zejména na tloušťce stěny dílu, protože tepelná vodivost plastu je o dva řády nižší než tepelná vodivost oceli. Dále technický design dílu významně ovlivňuje deformaci a smrštění dílu po vyhození z formy. Když uvážíme, že smrštění plastu podle typu a plnění se pohybuje od 0,4 do 2,5% (mimo LCP polymery) a u technických dílů jsou běžné tolerance některých rozměrů  $\pm 0,05\text{mm}$ , pak znalost deformace před konstrukcí formy je naprosto nezbytná.

Další částí virtuálního prototypu je strukturální analýza dílu. (Obr. 3) Strukturální analýza dílu zahrnuje chování dílu při zatížení v pracovním prostředí. Tato analýza využívá také metody konečných prvků. Jedním se zatížení dílu může být dynamické namáhání jestliže je díl součástí pohybového řetězce. Dynamické síly pak dostáváme ze sestavy, jak je uvedeno výše. Díl může být dále namáhán vnějšími silami statickými, dynamickými a teplotně. Statické výpočty můžeme provádět v Autodesk Inventoru, pro rychlou analýzu designu. Hlubkové výpočty s namáháním statickým, dynamickým, teplotním a jejich kombinacemi můžeme provádět pomocí speciálního nástroje Autodesk Algor. Pro kvalitu výpočtu je důležitý nejenom výpočtový model ale také kvalita popisu materiálových vlastností. V tomto smyslu nabízí kombinace nástrojů Autodesk Moldflow a Autodesk Algor špičkové možnosti výpočtů. V Autodesk Moldflow vypočítáme vnitřní namáhání dílu v podobě reziduálních napětí, které mohou ovlivnit další chování plastového dílu při zatížení. Dále můžeme vypočítat nehomogenity vznikající orientací vláknitého plniva, studených spojů, případně lunek (vnitřních dutin vzniklých ve vstřikovací formě v důsledku nerovnoměrné tloušťky stěn dílu). Většinu těchto vnitřních namáhání a nehomogenit můžeme přenést do strukturální analýzy v Autodesk Algor. Po provedení technologické a strukturální analýzy může být na základě získaných výsledků velmi rychle upraven model technického designu dílu ve směru šipek zpětné vazby (Obr. 3). Otazníky u zpětné vazby uměleckého designu (Obr. 3) je nutno chápat jako otázku, zda by měl technik či technolog zasahovat invencí průmyslového designéra, který je hybatelem umělecké hodnoty a ergonomie výrobku. Od toho jsou schopnosti a dovednosti technického designéra a technologa, aby se přizpůsobil umělcově invenci.

Vážení čtenáři, Digitální prototyp vstřikovaných dílů je velmi rozsáhlé téma. S popisem dalších částí digitálního prototypu budeme pokračovat v některé z dalších příloh Technologie zpracování plastů v Technickém týdeníku. Další informace naleznete na našich webových stránkách a můžete se také zúčastnit Autodesk Moldflow workshopu, který se bude konat v polovině měsíce října. V případě zájmu napište prosím na naší e-mailovou adresu.

Petr Halaška, SMARTPLAST s.r.o, e-mail: halaška@smartplast.cz