

# Kaskádové vstřikování a simulační analýza Cadmould®

Jiří Gabriel

*Kaskádové (sekvenční) vstřikování se používá především u rozměrných plastových výrobků, u kterých zamýšlíme minimalizovat počet studených spojů, snížit potřebný vstřikovací tlak a přídržnou sílu vstřikovacího stroje, případně se pokoušíme tímto výrobním postupem také snížit výsledné deformace. Při návrhu koncepce kaskádového vstřikování by se vždy měla uplatnit simulační analýza, protože zejména poloha horkých trysek by měla být optimalizována a riskovat se nevyplácí: prakticky vždy je vstřikovací forma s uzavíratelnými horkými tryskami drahým výrobním nástrojem. Důležitým pomocníkem při navrhování a konstrukci kvalitních forem pro kaskádové vstřikování je simulační software Cadmould® německé firmy Simcon GmbH. V článku budou stručně představeny dva vstřikovací postupy vhodné pro dlouhé plastové díly.*

Analýzy byly provedeny na zjednodušeném protáhlém plastovém dílu s dvěma vtokovými systémy. U prvního se nabízí použití sekvenční vstřikování s plněním nejprve střední části tvaru a s postupným otevíráním trysek směrem ke kraji výrobku. Pro tuto koncepci bylo navrženo 5 horkých trysek s jehlovým uzávěrem. Druhou variantu představuje vtokový systém se 6 horkými tryskami s jehlovým uzávěrem, u kterého bude probíhat postupné kaskádové plnění od jedné strany tvaru ke straně opačné. Obě vtokové varianty jsou patrné z obrázku 2. Plnění bylo simulováno a vyhodnoceno s využitím softwaru Cadmould®.

## Konstrukce a postup zadání výpočtu

Testovací výpočty byly uskutečněny s jednoduchou tenkostěnnou konstrukcí o rozměrech 1400 x 280 x 2 mm. Simulační vstřikování proběhlo s houževnatým typem PP, který obsahoval 10 % minerálního plniva a vykazoval velmi dobré tokové vlastnosti (ITT = 40 g/10 min pro 230°C/2,16 kg). Zadávání výpočtů se provádí v příkazovém okně simulačního softwaru a je velmi jednoduché, jak můžete vidět na obrázku 1. Pro okamžik otevření příslušné horké trysky je optimální použít senzory, které uživatel vhodně umístí na tvar dílu. Pro otevírání a/nebo uzavírání horkých trysek lze také zadat časový, procentuální nebo tlakový údaj. Po vyhodnocení časových a tlakových simulačních výsledků následuje fáze optimalizace poloh horkých trysek. Původně geometricky pravidelně umístěné horké trysky u obou systémů byly přemístěny tak, aby se snížilo kolísání tlakových maxim během plnicí fáze, blíže obrázek 2. Tímto postupem uživatel softwaru dosáhne:

- ✓ Minimalizaci vstřikovacího tlaku pro zvolený počet horkých trysek, obr. 3.
- ✓ Minimalizaci přídržné síly.
- ✓ Očekávaným přínosem je snadné naplnění tvarové dutiny - u testované konstrukce - bez vzniku studených spojů.
- ✓ Možnost jemného vybalancování průběhu plnění.
- ✓ Automatický technologický zápis, obr. 4. (Ponecháváme text v angličtině. Podle nastavení softwaru může být text zaznamenán také v němčině, francouzštině, italštině, portugalštině nebo španělštině.)

Potřebný vstřikovací tlak je po optimalizaci v obou případech nízký, i když se jedná o plnění poměrně slabostěnného dílu. Vstřikovací tlak pro konstrukci s 5 horkými

tryskami je pouze o 37 barů vyšší než potřebný tlak při nasazení 6 horkých trysek. Lze tedy usuzovat, že z cenového hlediska by bylo výhodnější – alespoň u analyzované konstrukce – použít sekvenční vstřikování, tedy vstřikování začínající od středu tvaru. Výhodou tohoto technologického postupu je také středově vyvážené tlakové namáhání formy.

### Posouzení velikosti smrštění a deformace

Oba technologické postupy mají pozitivní vliv na velikost deformací. Vypočítané deformace jsou malé (obrázek 5), přitom o něco nižší jsou pro variantu se 6 horkými tryskami. (Simulační výpočty byly provedeny pouze pro ideální teplotu tvarové dutiny a rovnoměrný tepelný odvod, nebyla tedy provedena analýza chlazení.)

### Rychlost proudění taveniny a smykové napětí

Kaskádové (sekvenční) vstřikování skrývá jeden problém, který si musíme uvědomit. V okamžiku otevření nové horké trysky je ve tvarové dutině v okolí ústí této trysky pouze malý objem taveniny. Následkem toho klade tavenina proudění jen minimální odpor, rychlost proudění právě otevřenou tryskou proto rapidně naroste, zatímco v ostatních, již dříve otevřených tryskách, výrazně klesne. Nastane tak krátkodobý nárůst smykové rychlosti a smykového napětí v tvarové dutině v blízkosti nově otevřené trysky. Je-li tento nárůst příliš výrazný a zároveň vstříkujeme-li napětově citlivý materiál, mohou se ve zmíněné oblasti objevit vzhledové závady.

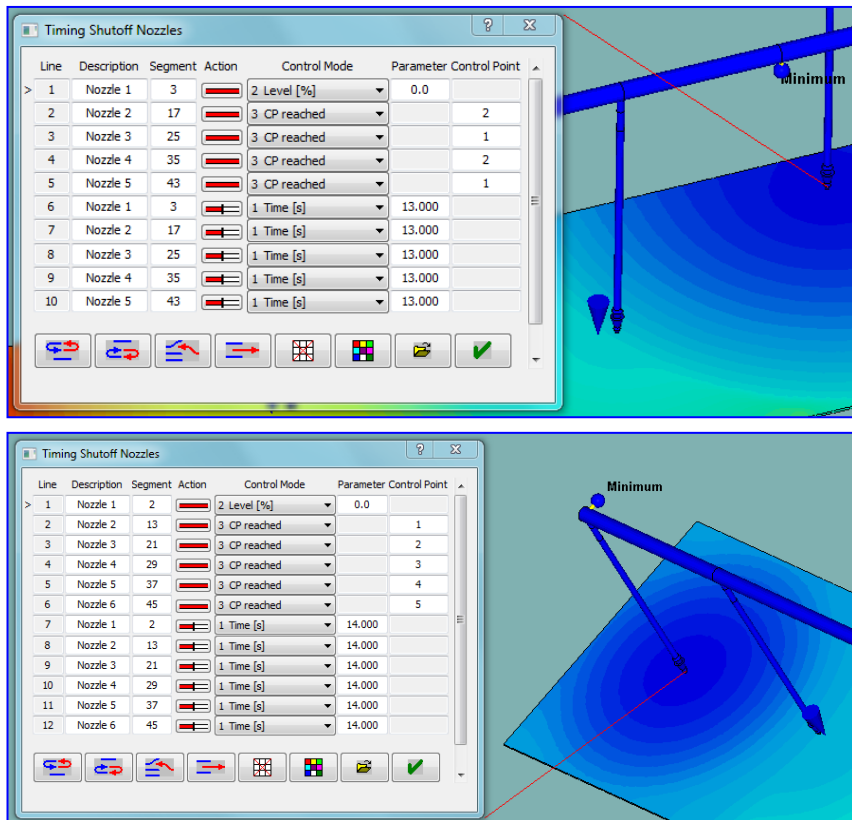
### Porovnání vnitřního napětí

Vstřikované plastové díly mají různou úroveň vnitřního (zbytkového) napětí. Vnitřní napětí ovlivňuje kvalitu výrobku, jeho pevnost, rozměrovou přesnost a v případě transparentních dílů vznik eventuelních vzhledových závad. Vnitřní napětí může také dodatečně způsobit nečekané problémy. Díly mohou v místech příliš vysokého vnitřního napětí praskat, ještě ve skladu nebo po určité provozní době. Simulační software Cadmould® nabízí tři různé metody pro posouzení vnitřního napětí: napětí von Mises, hydrostatické napětí a dvojlom. Například napětí max. von Mises leželo u obou technologických variant v rozmezí 3,5 – 7 MPa. Vypočítaná napětíová maxima, která se soustřeďovala pouze okolo okrajů konstrukce, byla téměř shodná (8,7 MPa pro systém s 5 horkými tryskami, 8,4 MPa pro 6 horkých trysek.)

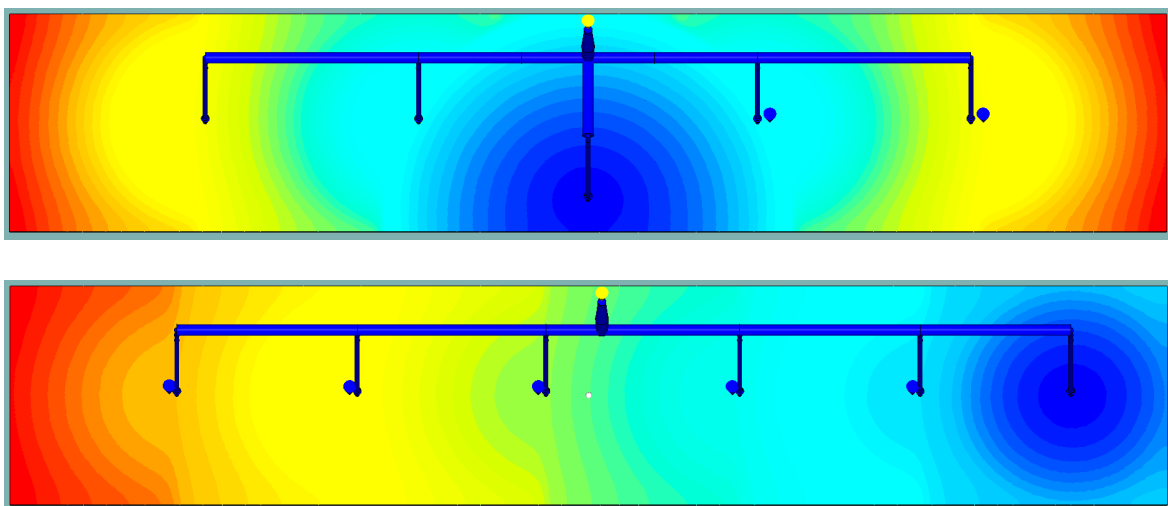
### Shrnutí

Technologie kaskádového (sekvenčního) vstřikování přináší řadu pozitivních efektů, které souvisejí s nasazením uzavíratelných horkých trysek. Zajímavým, v tomto příspěvku nepopsaným uplatněním kaskádové technologie, je zastříkávání folií a textilií.

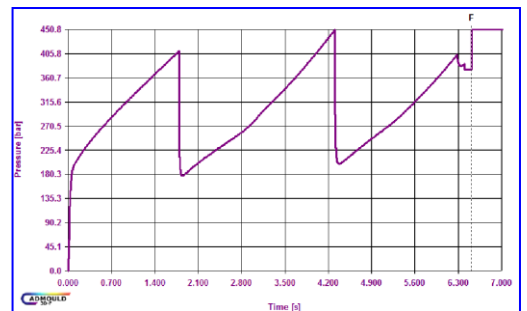
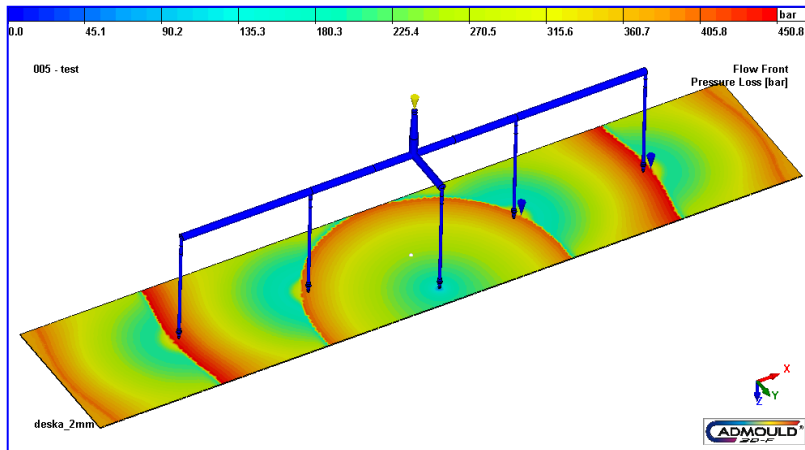
Vedoucí projektů, konstruktéři forem, obchodníci a případně další techničtí nebo řídicí pracovníci by si měli uvědomit, že očekávaná pozitiva mohou však nastat pouze tehdy, když bude zavčas provedena simulační analýza kaskádového vstřikování.



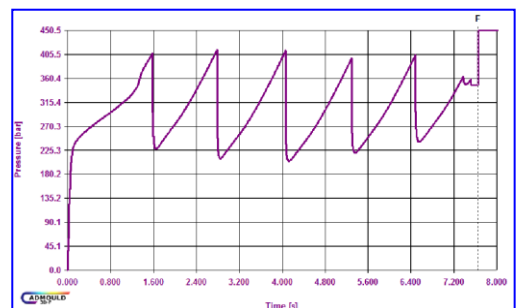
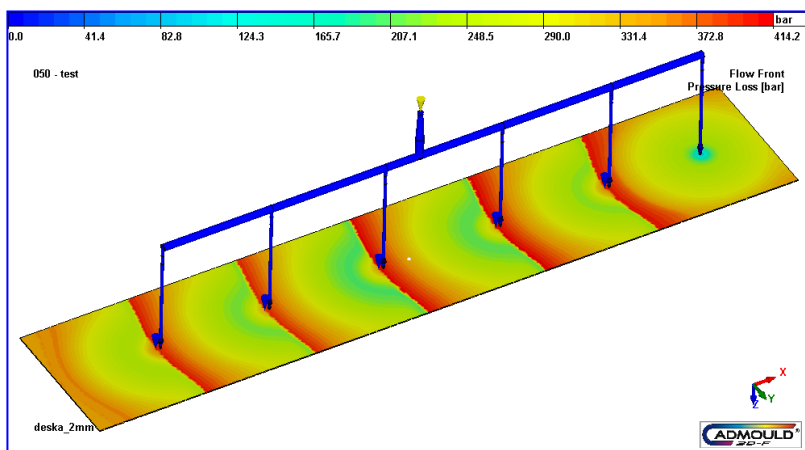
Obr. 1: Zadání technologie kaskádového (sekvenčního) vstřikování: nahoře pro systém s pěti horkými tryskami, dole se šesti horkými tryskami



Obr. 2: Optimalizované polohy horkých trysek, výše pro systém s 5 HT, níže pro 6 HT. (Tavenina plní tvarovou dutinu postupně od míst zobrazených modře po červené oblasti.)



Obr. 3a: Vstřikovací tlak pro systém s 5 horkými tryskami



Obr. 3b: Vstřikovací tlak pro systém se 6 horkými tryskami

#### Timing Shutoff Nozzles

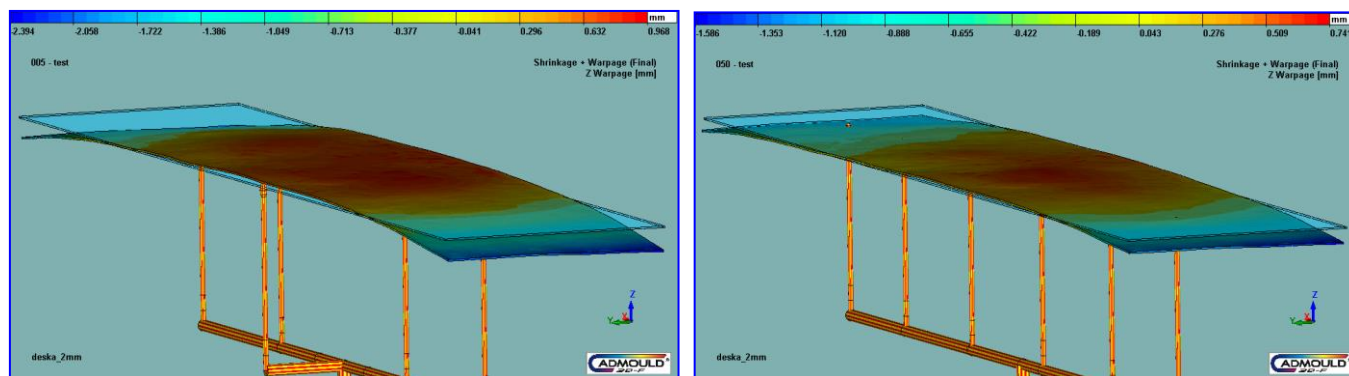
Description	Action	Time [s]	Level [%]
Nozzle 1	Open	0.002	0.0
Nozzle 2	Close	0.002	0.0
Nozzle 3	Close	0.002	0.0
Nozzle 4	Close	0.002	0.0
Nozzle 5	Close	0.002	0.0
Nozzle 3	Open	1.792	28.4
Nozzle 5	Open	1.792	28.4
Nozzle 2	Open	4.311	67.1
Nozzle 4	Open	4.311	67.1
Nozzle 1	Close	13.073	100.0
Nozzle 2	Close	13.073	100.0
Nozzle 3	Close	13.073	100.0
Nozzle 4	Close	13.073	100.0
Nozzle 5	Close	13.073	100.0

Obr. 4a: Automatický technologický zápis kaskádového (sekvenčního) vstřikování, 5 HT

## Timing Shutoff Nozzles

Description	Action	Time [s]	Level [%]
Nozzle 1	Open	0.002	0.0
Nozzle 2	Close	0.002	0.0
Nozzle 3	Close	0.002	0.0
Nozzle 4	Close	0.002	0.0
Nozzle 5	Close	0.002	0.0
Nozzle 6	Close	0.002	0.0
Nozzle 2	Open	1.582	21.1
Nozzle 3	Open	2.785	37.0
Nozzle 4	Open	4.061	53.7
Nozzle 5	Open	5.293	70.0
Nozzle 6	Open	6.480	85.6
Nozzle 1	Close	14.084	100.0
Nozzle 2	Close	14.084	100.0
Nozzle 3	Close	14.084	100.0
Nozzle 4	Close	14.084	100.0
Nozzle 5	Close	14.084	100.0
Nozzle 6	Close	14.084	100.0

Obr. 4b: Automatický technologický zápis kaskádového (sekvenčního) vstřikování, 6 HT



Obr. 5: Redukovaná deformace ve směru osy z, konstrukce s 5 HT a se 6 HT