



Cadmould®

Vstřikování pěnových (strukturních) materiálů





1. **Úvod**
2. Varianty vstřikování termoplastických (strukturálních) pěn
3. Struktura simulačního modelu v Cadmould®
4. Simulační výsledky při vstřikování pěn v Cadmould®



- Vstřikování pěn se používá z těchto důvodů:
 1. uspořit materiál (5 % - 15 %),
 2. omezit deformace,
 3. snížit propady,
 4. omezit uzavírací sílu a
 5. zlepšit vlastnosti konstrukce.
- Vstřikování pěn je jako když otevřete láhev se sodovou vodou: kysličník uhličitý je nejprve rozpuštěný. Teprve při otevření láhve kysličník uhličitý vykypí.
- Při vstřikování pěn je plyn zaveden do taveniny a rozpustí se v ní.
- Tavenina je pod tlakem vstříknuta do formy a vypění pak při poklesu tlaku.



[Fraunhofer ICT]

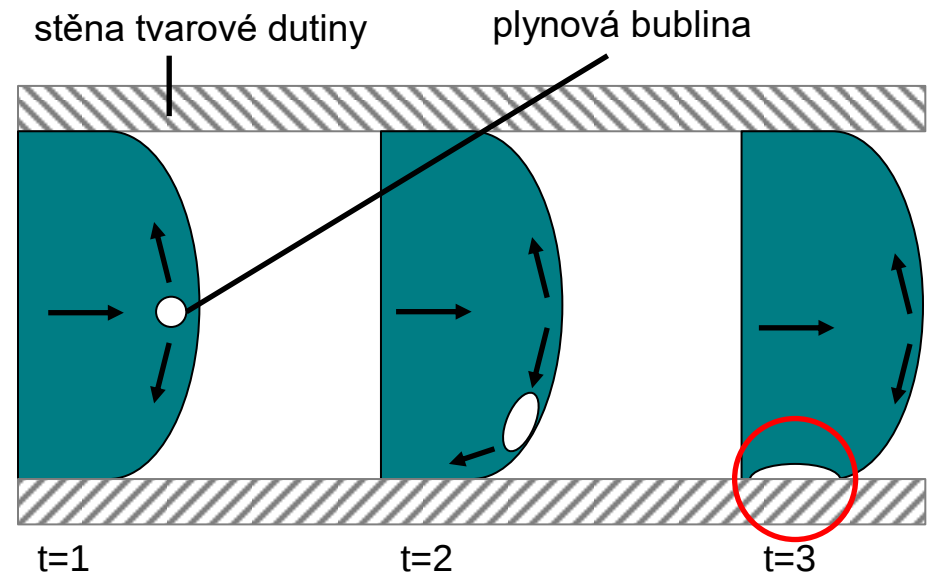
vypěněné jádro
(snížení váhy)

kompaktní
povrchová vrstva

Problémy při vstřikování pěn



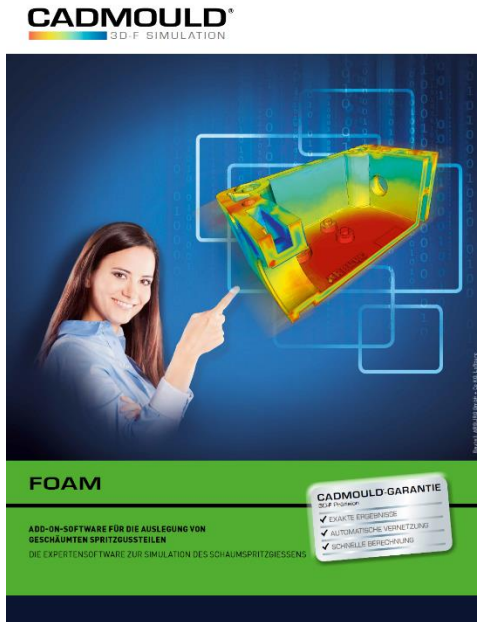
- Vypěněné plastové díly často vykazují špatnou povrchovou kvalitu:
 - příklad: stříbření



Vstřikování pěn v softwaru Cadmould®



- Základem výpočtu je simulace růstu bublin.
- Na tomto základě jsou vypočítány hustota a objemové změny.
- Budou zohledněny pvT- chování termoplastů a změny materiálových vlastností, takže smrštění a deformace mohou být simulovány.
- Potřebné speciální materiálové parametry jsou připraveny s ohledem na jednotlivé materiálové třídy. Není-li materiálová třída vybavena konkrétními informacemi, jsou navrženy takové standardní parametry, které v praxi vykazovaly velmi dobrou přesnost předpovědi.



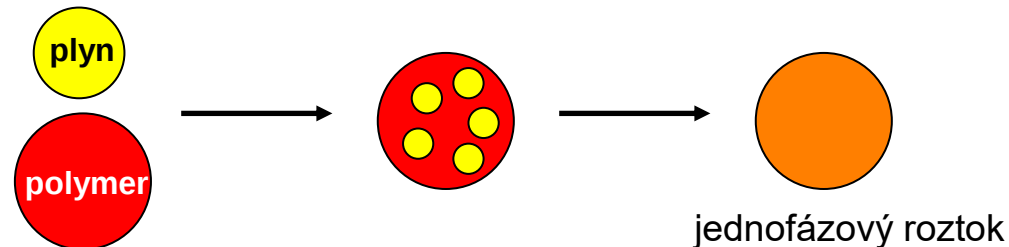


1. Úvod
- 2. Varianty vstřikování termoplastických (strukturálních) pěn**
3. Struktura simulačního modelu v Cadmould®
4. Simulační výsledky při vstřikování pěn v Cadmould®



1. Vytváření směsi polymerní taveniny a nadouvadla:

- Nadouvadlo se rozpustí pomocí procesu dopravy látek, takže před šíčkou šneku se nalézá homogenní jednofázový roztok



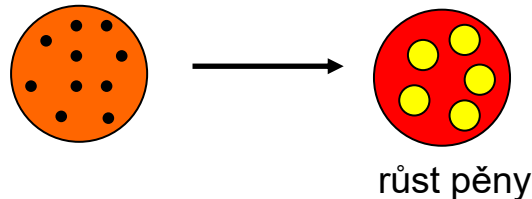
2. Nukleace (vytváření buněčných jader):

- Homogenní vytváření zárodků: tepelně-dynamická destabilizace jednofázové směsi polymer-plyn.
- Heterogenní vytváření zárodků: Vytváření zárodků na rozhraní s částicemi (např. nukleační prostředky), na zbytcích ne zcela roztavených částí taveniny, na rozhraní nečistot nebo na povrchu zpracovatelského stroje.



3. Růst pěny:

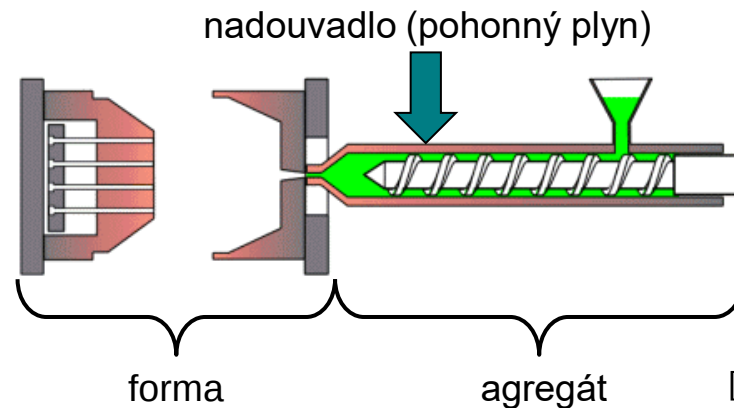
- Růst plynových bublin difuzí rozpuštěného plynu do buněk plynu na zárodečných místech



4. Stabilizace pěnových buněk:

- Stabilizační efekty:
 - Snížení teploty taveniny zvýší její viskozitu
 - Difundující plyn z jednofázového roztoku zvýší viskozitu taveniny
 - Narůstající prodloužení buněčných stěn zvýší extenzionální viskozitu a vede k orientaci molekul
- Destabilizační efekty:
 - Trhání buněčných stěn vlivem nehomogenit v polymerní tavenině
 - Vytváření dutin vlivem rychlého protažení

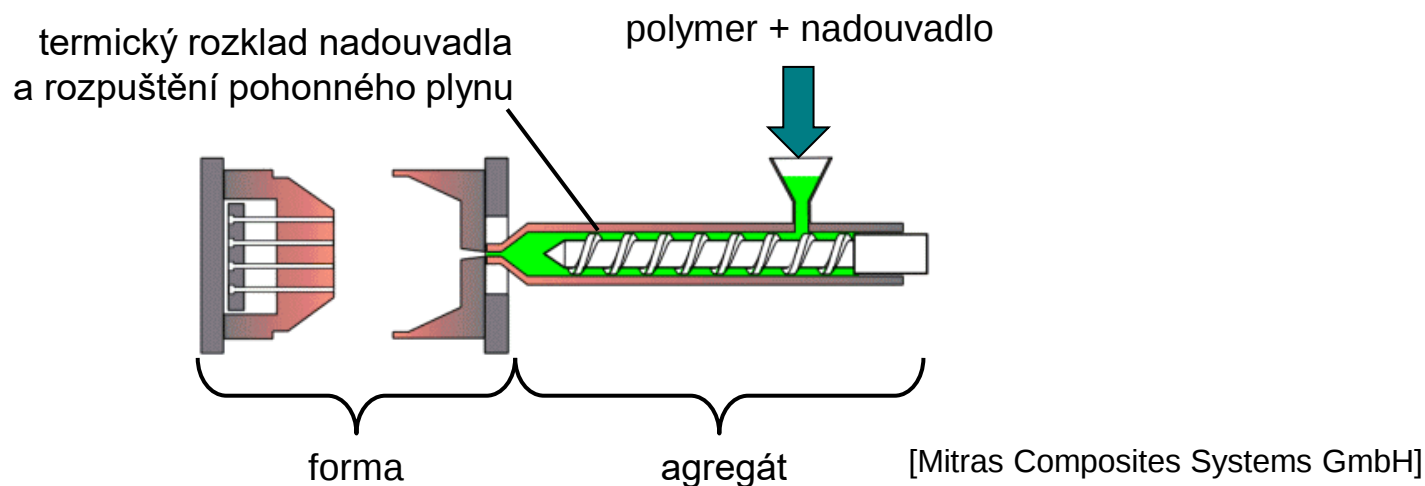
- Nadouvadlo - pohonný plyn (většinou dusík nebo kysličník uhličitý) je v nadkritickém stavu zamícháno do polymerní taveniny:
 - V nadkritickém stavu nelze rozlišovat mezi kapalinou a plynem
 - Použití stlačitelnosti kapaliny (výhoda pro dávkování) je zkombinováno s nízkou viskozitou a dobrými difuzními vlastnostmi plynu (výhoda pro vmíchání do polymerní taveniny)



- Technologie:
 - Mucell® (Trexel Inc., USA)
 - Ergocell® (Sumitomo (SHI) DEMAG Plastics Machinery GmbH, Deutschland)
 - Optifoam® (Sulzer Chemtech AG, Schweiz)
 - Cellmould® (WITTMANN BATTENFELD GmbH & Co.KG, Deutschland)

[Mitrax Composites Systems GmbH]

- Organické a anorganické látky, které se rozkládají nad určitou teplotou a uvolňují plynné složky.
- Vzhledem k tlaku, který existuje v plastikační jednotce, zůstane nejprve plyn rozpuštěný v polymerní tavenině.
- Vzhledem k rozkladu chemickou reakcí lze očekávat, že pouze část látky se přemění na plyn.



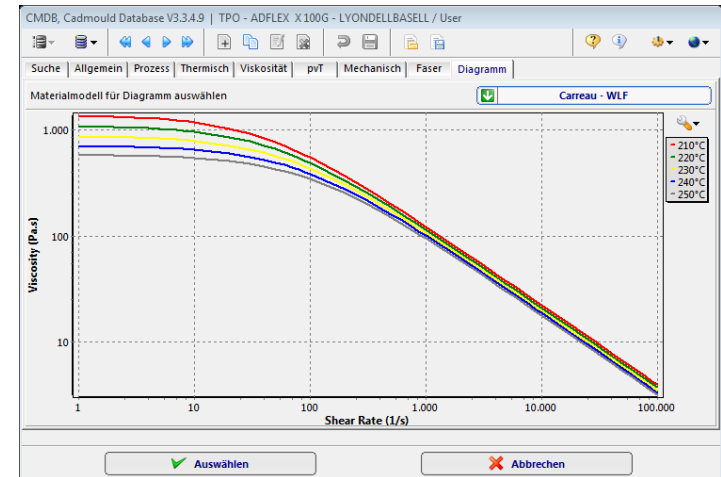


1. Úvod
2. Varianty vstřikování termoplastických (strukturálních) pěn
- 3. Struktura simulačního modelu v Cadmould®**
4. Simulační výsledky při vstřikování pěn v Cadmould®

Použití v simulaci



- Plyn je zcela rozpuštěný před špičkou šneku.
- Vliv plynu:
 - viskozita ↓
 - E-modul ↓
 - tepelná vodivost ↓
 - měrné teplo ↓
 - No-flow teplota ↓
 - pvT-chování (vliv plynových bublin)



Fyzikální pěny v softwaru Cadmould®



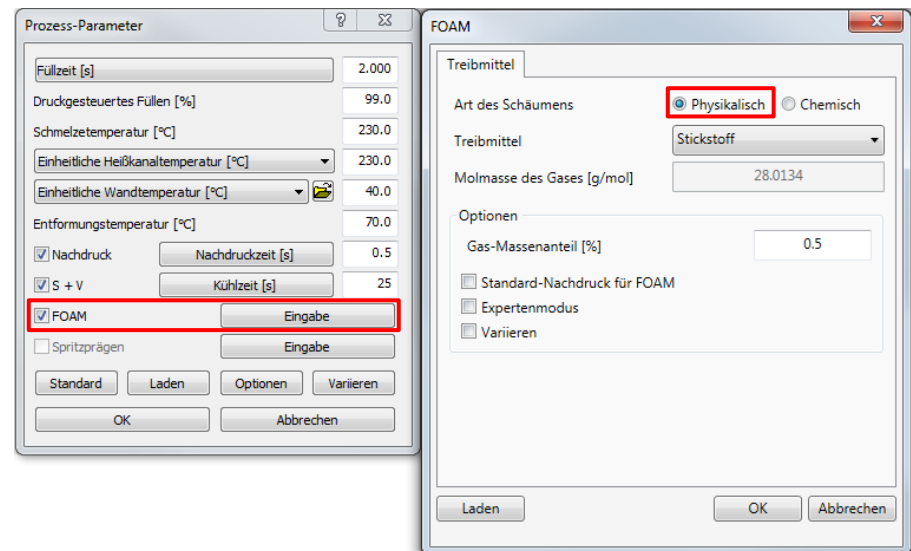
- Zadání veličin pro fyzikální pěny v Cadmould®:

- **Nutné zadání:**

- druh nadouvadla
- podíl plynu [%]

- **Volitelné zadání:**

- vlastní difuzní parametry (Expertenmodus)
- počet zárodků (Expertenmodus)
- standardní dotlak pro FOAM



➡ Standardní dotlak pro FOAM (trvání 0,5 s) je právě tak vysoký, aby plyn byl v polymeru rozpuštěn (asi 20 % vstřikovacího tlaku).

➡ Velikost a doba dotlaku jsou často hlavními parametry, které ovlivňují chování pěn (vypěnění konstrukce).

Chemické pěny v softwaru Cadmould®



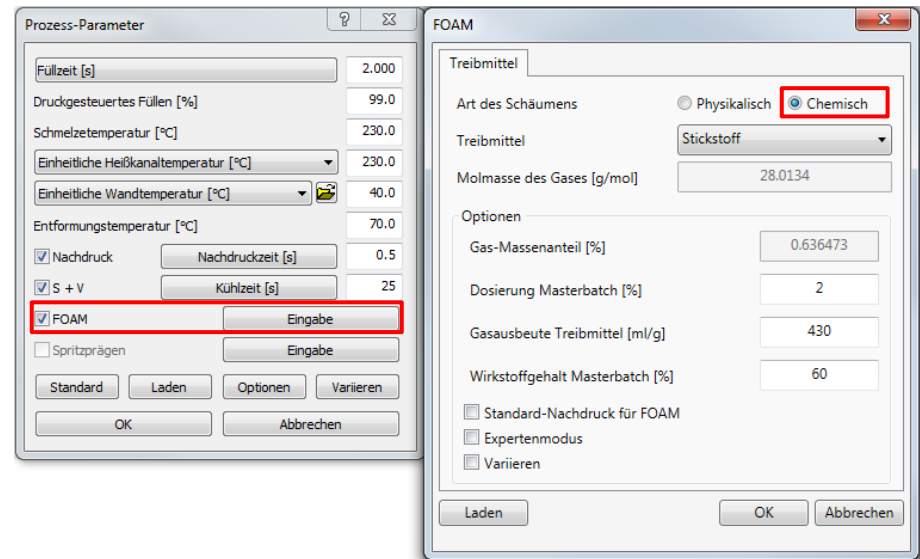
- Zadání veličin pro chemické pěny v Cadmould®:

- **Nutné zadání:**

- druh nadouvadla
- dávkování masterbatche
- výtěžek plynu z nadouvadla
- obsah účinné látky v masterbatchi

- **Volitelné zadání:**

- vlastní difuzní parametry (Expertenmodus)
- počet zárodků (Expertenmodus)
- standardní dotlak pro FOAM



➡ Standardní dotlak pro FOAM je shodný s fyzikálními pěny.

➡ Problém: Vstupní parametry pro chemická nadouvadla.

Vstupní parametry pro chemická nadouvadla I



- Zdroj: Datenblätter, Herstellerangaben, Patente, etc.
- **Příklad 1: X-Foaming 457051**
 - Informace výrobce: „*Nadouvadlo se skládá z kysličníku uhličitého s podílem vodní páry. Výtěžek plynu je změřen a uveden v ml/gram masterbatche a činí 105 ml/g.*“
 - výtěžek plynu z nadouvadla: **105 ml/g**
 - obsah látky masterbatch: **100 %**
 - předpoklad množství nadouvadla: 50 % CO₂ + 50 % H₂O
 - $0,5 \cdot 44 \text{ g/mol} + 0,5 \cdot 18 \text{ g/mol} = \mathbf{31 \text{ g/mol}}$

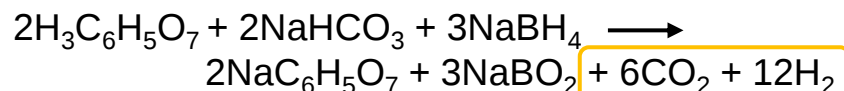
C = 12 g/mol
O = 16 g/mol
H = 1 g/mol

Vstupní parametry pro chemická nadouvadla II



• Příklad 2: Hydrocerol® ITP 815

- datasheet: účinný podíl = 40 %
- patent: chemická reakce



- molekulová hmotnost nadouvadla: 910 g/mol
 - 34 H (1 g/mol) + 18 C (12 g/mol) + 32 O (16 g/mol) + 3 B (11 g/mol) + 5 Na (23 g/mol) = 910 g/mol
- plynné složky:
 - 6 mol CO₂ + 12 mol H₂ = 18 mol plynu / 910 g nadouvadla
 - střední molekulová hmotnost směsi plynu:

$$6 \cdot 44 \text{ g/mol (CO}_2\text{)} + 12 \cdot 2 \text{ g/mol (H}_2\text{)} / 18 \text{ mol} = 16 \text{ g/mol}$$
- výtěžek plynu z nadouvadla pro ideální zákon o plynu:
 - 22,414 l/mol * 18 mol = 403,452 l / 910 g = 443,36 ml/g

C = 12 g/mol
O = 16 g/mol
H = 1 g/mol

1 mol plynu = objem 22,414 l

Hydrocerol® ITP 815 Treib- & Nukleierungsmittel

Allgemeines	Chemische Substanzen, die unter Wärmeabgabe reagieren und bei der Zersetzung Gas abspalten, werden als „Chemische Treibmittel“ bezeichnet. In Direktbelegungs-Produkten können diese „Chemischen Treibmittel“ als Nukleierungsmittel eingesetzt werden, um besonders feine und gleichmäßige Zellstrukturen zu erreichen.
Beschreibung	Hydrocerol® ITP 815 ist ein Chemisches Treib- und Nukleierungsmittel zum Aufschäumen thermoplastischer Kunststoffe. Wirksame Bestandteile: 40%.
Physikalische Form	Weißes Granulat, endothermes Chemisches Treibmittel-Masterbatch.
Technische Daten	Beginn der Zersetzung: 160 °C Um Gasverluste in der Erzeugniszone zu vermeiden, sollte hier die Temperatur im Rahmen des Verarbeitungstemperaturbereichs des Kunststoffes möglichst niedrig sein (z. B. 160 - 180 °C). Um eine optimale Gasausbeute zu erreichen, sollte die Verarbeitungstemperatur mindestens 220 °C betragen.
Temperaturprofil	
Anmerkung	Je nach Rohstoff kann das Temperaturprofil vom oben gezeigten Profil abweichen.
Anwendungen	Spritzguss (Vermeidung von Einfallstellen, Gewichtsreduktion) Geeignet für: Polyolefine, TPEs
Vorteile	Leicht zu dosieren Ungefähre Zersetzungstemperatur Breites Einsatzspektrum
Dosiereempfehlung	0,2 – 1,0 % Spritzguss (Vermeidung von Einfallstellen) 0,8 – 2,5 % Spritzguss (Gewichtsreduktion)

United States Patent [19] [11] **Patent Number:** 4,769,397
Lapierre et al. [45] **Date of Patent:** Sep. 6, 1988

[54] CHEMICAL BLOWING AGENT COMPOSITIONS	drocerol-CLMTP—Product Literature—Boehringer Ingelheim, author and date unknown.
[75] Inventors: Robert M. Lapierre, Sterling; Nicholas J. Leonard, North Andover, both of Mass.	<i>Plastics Engineering Handbook</i> —4th Ed.—Ed. by Joel Fraden, 1976, p. 847.
[73] Assignee: Euron Chemical Company, Rolling Meadows, Ill.	"Process Sinter Purification with Sodium Borohydride—Technical Manual and User's Guide—Morton Thiokol, Inc., Ventron Division, author and date unknown.
[21] Appl. No.: 908,625	"Production of Foamed Thermo-plastics with Hydrocerol CPT"—Product Literature—Boehringer Ingelheim, author and date unknown.
[22] Filed: Sep. 15, 1986	"Production of Foamed Thermo-plastics with Hydrocerol-Compound and Hydrocerol Butcher"—Product Literature—Boehringer Ingelheim, author and date unknown.
[51] Int. Cl. C08J 9/06; C08J 9/07	<i>Primary Examiner</i> —Morton Focak
[52] U.S. Cl. 521/48; 264/45.5; 264/54; 264/DIG. 5; 264/DIG. 14; 264/DIG. 83; 521/92; 521/97; 521/98; 521/143; 521/146	<i>Attorney, Agent, or Firm</i> —Marshall, O'Toole, Gerstein, Murray & Bicknell
[58] Field of Search 264/45.5, 54, DIG. 14, 264/DIG. 5, DIG. 83; 521/85, 92, 97	
[56] References Cited	
U.S. PATENT DOCUMENTS	
2,941,964 6/1960 Houston et al. 521/82	
3,185,588 5/1965 Rensick 521/82	
4,353,048 5/1983 Hall et al. 521/85	
4,394,458 7/1983 Wade 521/82	
4,397,948 8/1983 Wade 521/82	
4,399,238 8/1983 Wade 521/82	
4,403,045 9/1983 Wade 521/82	
4,413,085 11/1983 Hall et al. 521/82	
4,431,752 2/1984 Oswich 521/85	
4,520,137 5/1985 Hassel et al. 521/85	
4,588,754 5/1986 Lila 521/82	
4,650,616 3/1987 Bennett 521/85	
OTHER PUBLICATIONS	
Gribens and Rei, "Sodium Borohydride—A Novel Blowing Agent for Structural Foams", <i>Plastics Engineering</i> vol. 28, No. 3, Mar. 1982.	
"Hydrocerol—A Chemical Blowing Agent"—Product Literature, author and date unknown.	
"Hydrocerol, Hydrocerol-Compound, Hy-	

10 Claims, No Drawings

Vstupní parametry pro chemická nadouvadla III



FOAM

Blowing agent Diffusion

Foaming mode ☐ Physical ☒ Chemical

Blowing agent Custom

Mol Mass of the Gas [g/mol] 16

Options

Mass percentage of the gas [%] 0.12494

Dosage masterbatch [%] 1

Gas yield blowing agent [ml/g] 443.36

Blowing-agent content masterbatch [%] 40

☐ FOAM Default Packing

☒ Expert Mode

☐ Vary

Wirksame Bestandteile = 40 %

Load OK Cancel

Viz příští str.

FOAM

Blowing agent Diffusion Variation

Diffusion Coefficient $D(T) = D0 \cdot \exp(D1/T)$, [T] = K

D0 [mm/s]: 0.066 D1 [K]: -1000

Henry's Law Constant $H(T) = H0 \cdot \exp(H1/T)$, [T] = K

H0 [mol/J]: 4E-05 H1 [K]: 0

Nuclei per unit volume [1/cm³] 10000

Default

Load OK Cancel

Viz příští str.

Vstupní parametry pro chemická nadouvadla IV

– variační výpočty



FOAM

Blowing agent Diffusion Variation

Options

Mass percentage of the gas [%]	0.06247
Dosage masterbatch [%]	0.5
Nuclei per unit volume [$1/\text{cm}^3$]	5000

Dosage masterbatch [%]:
Null-Stufe: 1%
Plus-Stufe: 0.5%
Minus-Stufe: 1.5%

Nuclei per unit volume [$1/\text{cm}^3$]:
Null-Stufe: 10000
Plus-Stufe: 5000
Minus-Stufe: 15000

Load OK Cancel

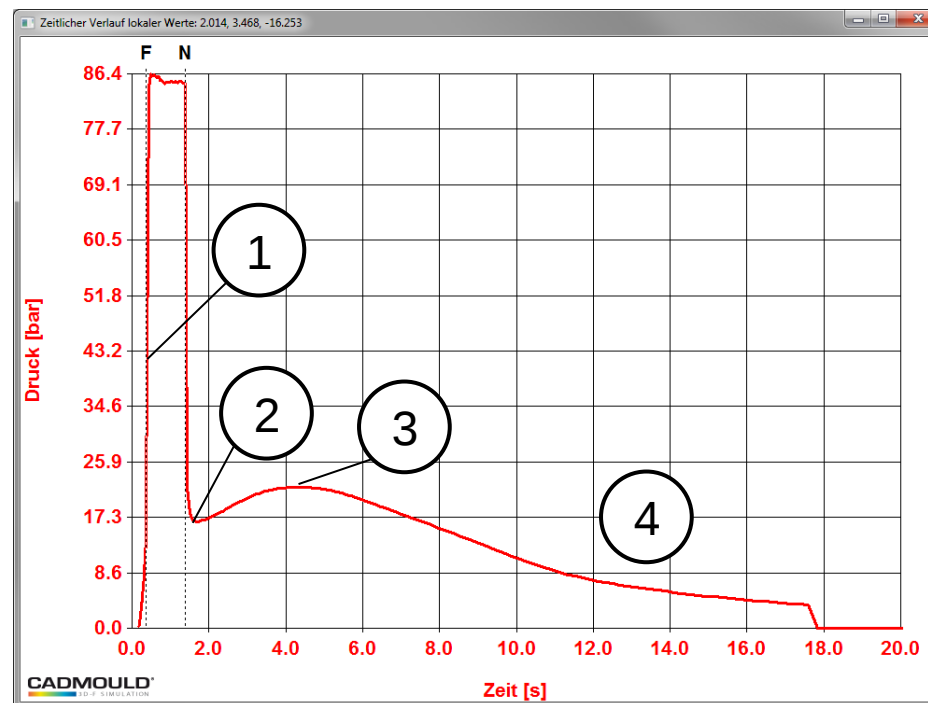


1. Úvod
2. Varianty vstřikování termoplastických (strukturálních) pěn
3. Struktura simulačního modelu v Cadmould®
4. **Simulační výsledky při vstřikování pěn v Cadmould®**

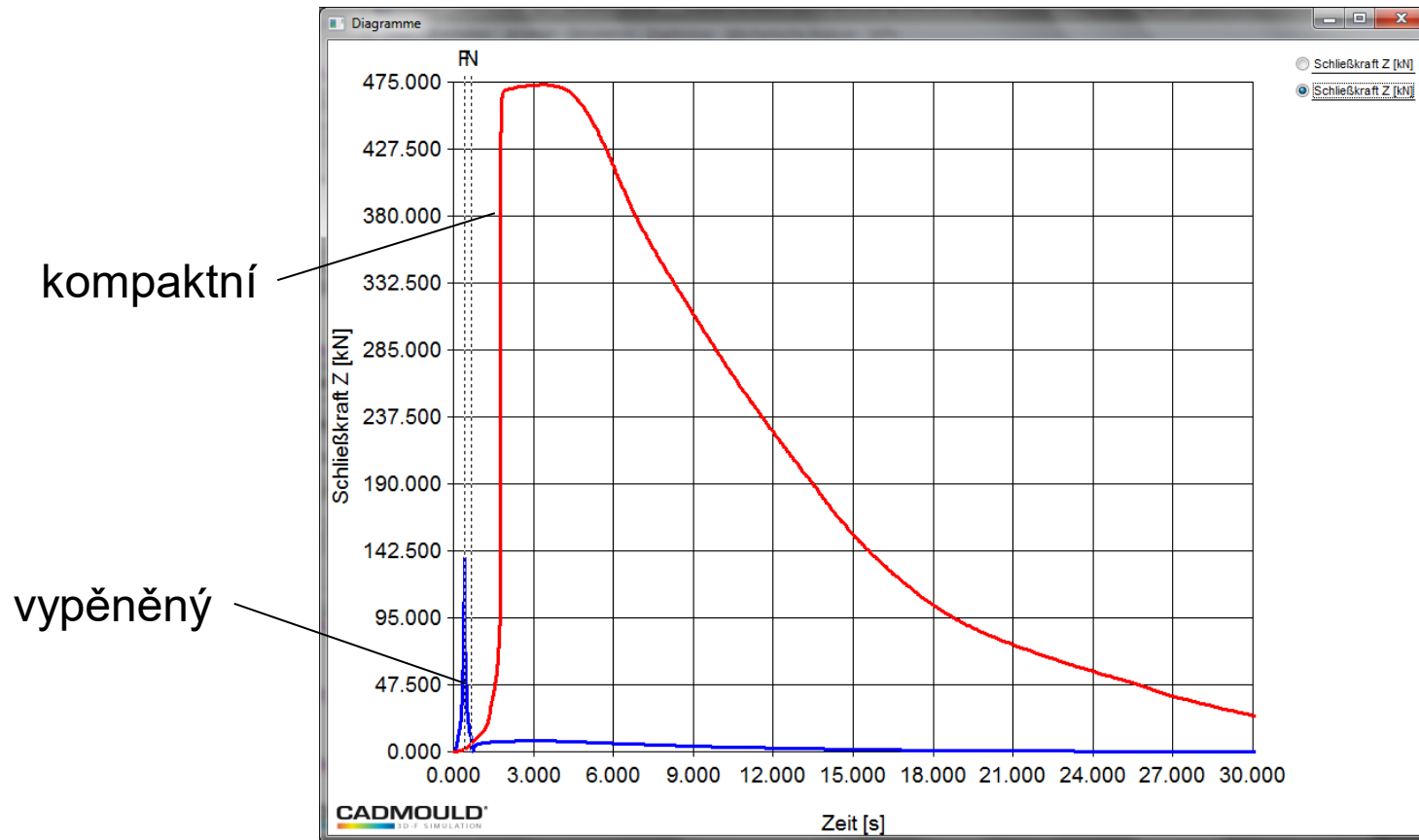
Typický tlakový průběh u vtoku při vstřikování pěn



1. Tlak narůstá na konci plnění a začátku dotlaku.
2. Tlak poté klesá na konci dotlaku na tlak vytvořený plynem.
3. Plyn difunduje do bublin a zvýší tlak.
4. Při ochlazování tlak zase klesá.



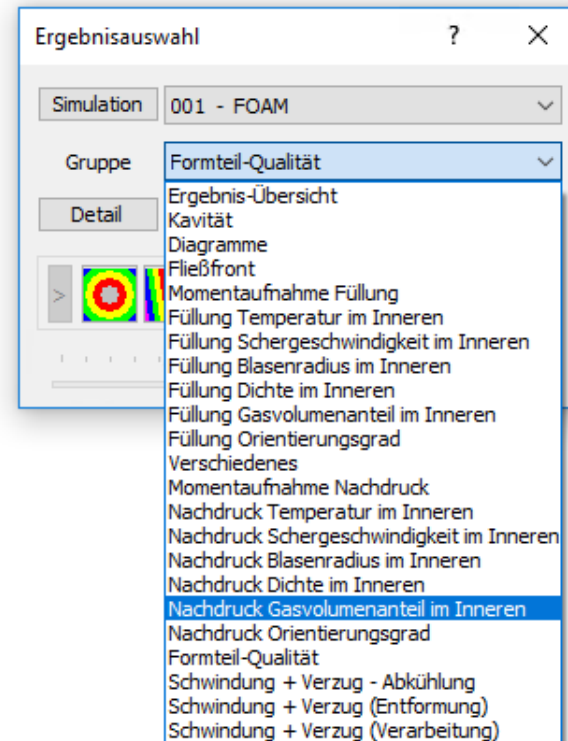
Srovnání přídržné síly pro vypěnění a kompaktní materiály při různém dotlaku



Specifické výsledky při vstřikování pěn

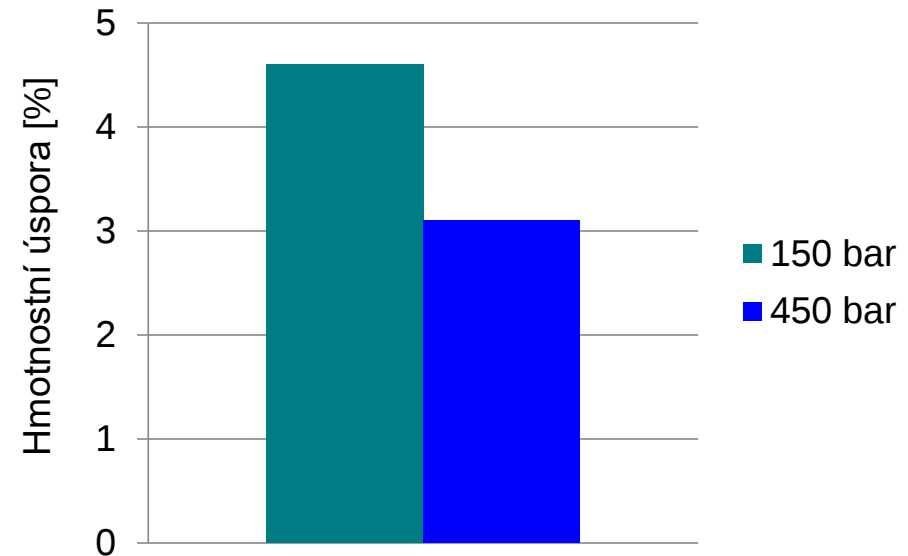
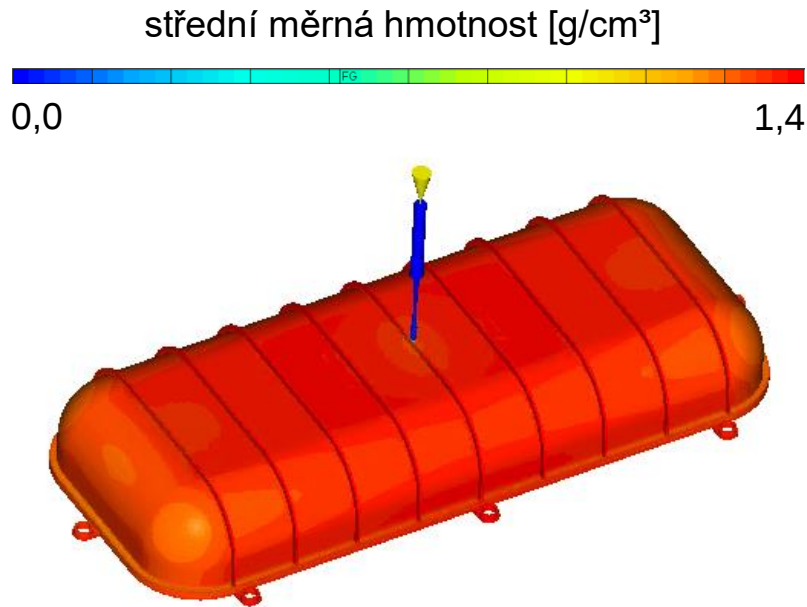


- Výsledky pro fázi plnění a dotlaku:
 - Hmotnostní podíl plynu uvnitř [%]
 - Měrná hmotnost uvnitř [g/cm³]
 - Poloměr bublin uvnitř [mm]
- Výsledky na konci technologie:
 - Střední měrná hmotnost [g/cm³]
 - Podíl plynu [%]



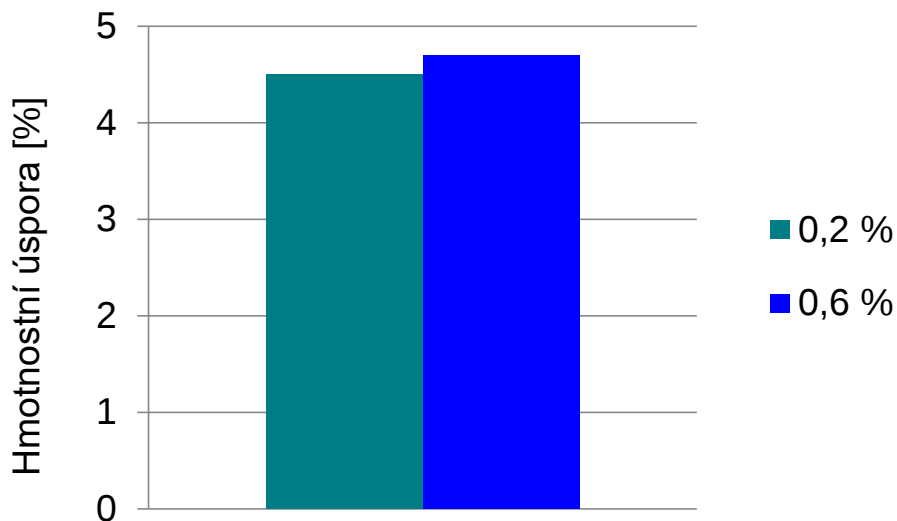
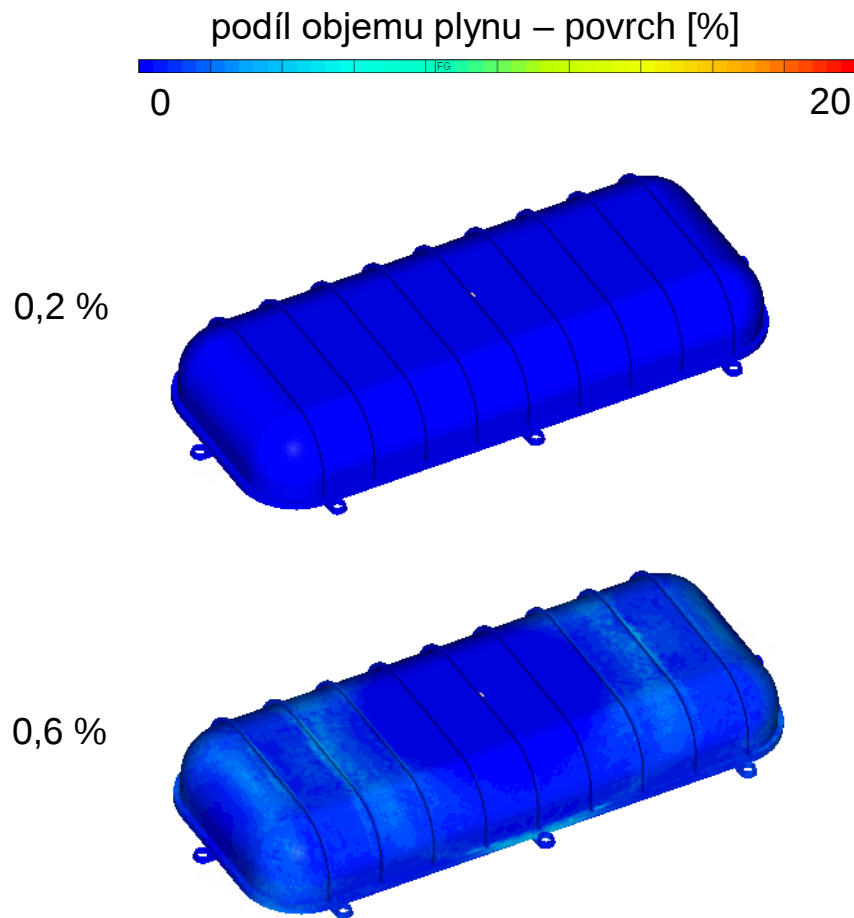
Pro srovnání výsledků simulace s realitou mohou být použity výsledky, které se vážou ke konci technologie (konec doby chlazení).

Příklad: Vliv velikosti dotlaku na výsledky výpočtu



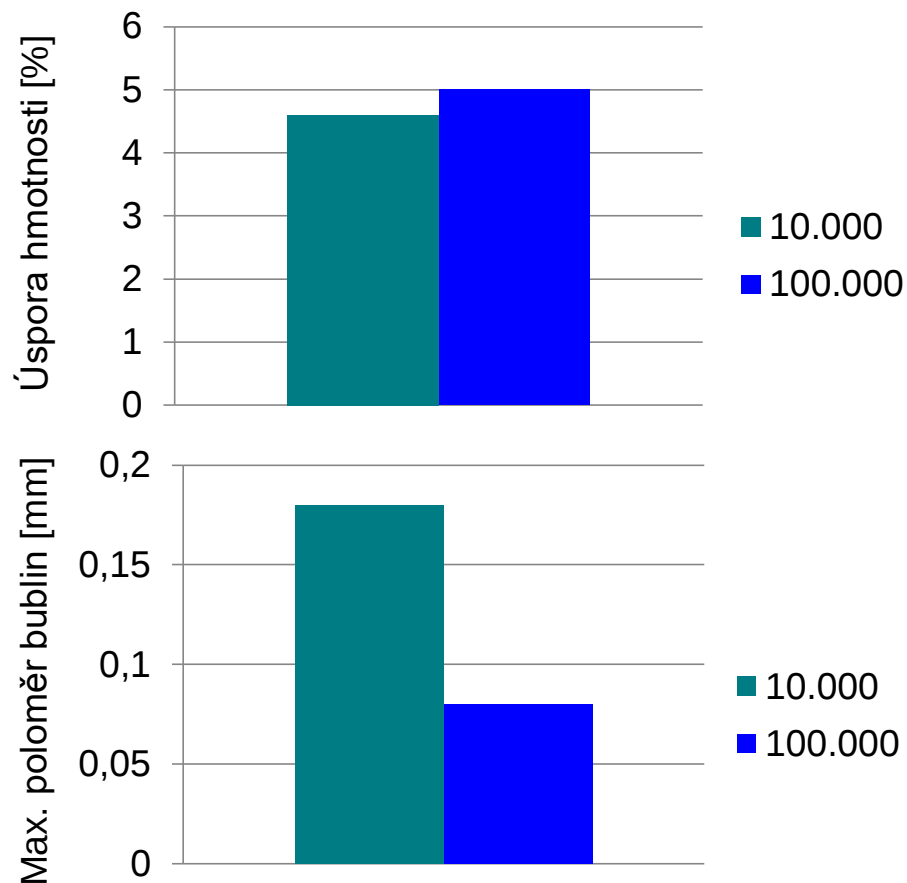
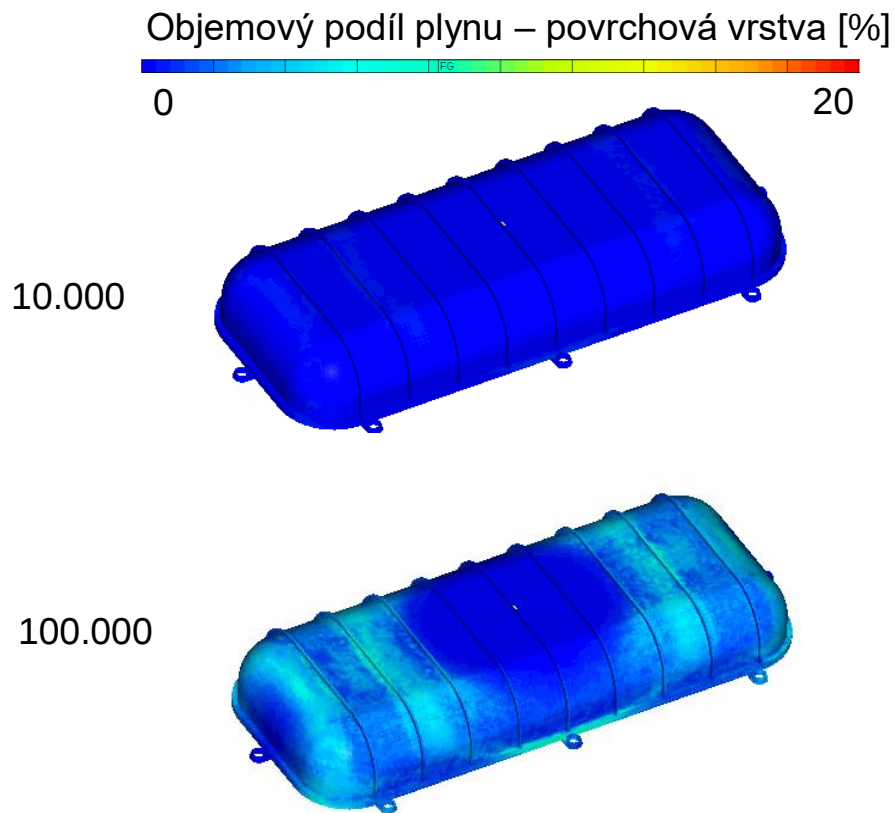
➡ Velikost dotlaku má vliv na docílenou úsporu hmotnosti

Příklad: Vliv hmotnostního podílu plynu na výsledky výpočtu



Při vysokém hmotnostním podílu plynu lze očekávat horší kvalitu povrchu.

Příklad: Vliv počtu nukleačních jader na výsledky výpočtu



Nukleační činidla vykazují silný vliv na způsob vypěnění.