Název projektu: **Automatizace výrobních procesů ve strojírenství a řemeslech**
Registrační číslo: **CZ.1.07/1.1.30/01.0038**
Příjemce: SPŠ strojnická a SOŠ profesora Švejcara Plzeň
Monitorovací indikátor: **06.43.10 Počet nově vytvořených/inovovaných produktů**
Akce: **Přednáška, KA 5** Číslo přednášky: **24**

Téma: **MODERNÍ METODY VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ**
Lektor: **Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.**
Třída/y: **3MS**
Datum konání: **13. 3. 2014**
Místo konání: **malá aula**
Čas: **2. a 3. hodina**; od 8:50 do 10:35

Metody vstřikování plastů

Kromě klasické technologie vstřikování plastů, existuje mnoho dalších způsobů vstřikování, které se řadí mezi speciální způsoby. Liší se např. v parametrech procesu, v konstrukci nástroje, v kombinaci materiálů, apod.

GIT – vstřikování plastů s podporou plynu

První ze speciálních technologií je technologie vstřikování s plynem (GIT), u které se jedná o ekvivalent vstřikování termoplastů, vyvinutý v osmdesátých letech s možností vyrábět díly s uzavřenými dutinami, které jsou vytvořeny přivedeným plynem, kdy se do určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří výlisek o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké množství roztavené plastické hmoty. Jako plynu je použito vysoce čistého dusíku (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30 MPa.

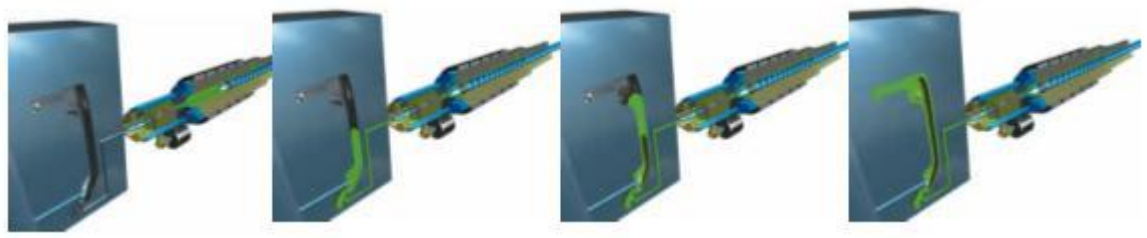
Výhodou GIT (gas injection technology) je snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, zkrácení délky cyklu (zkrácení doby chlazení vlivem zmenšení tloušťky stěny při zachování chladící plochy nástroje), snížení hmotnosti výrobku, nízká deformace ploch výrobků, vysoký stupeň tuhosti u dílů s žebry a zachování požadovaných mechanických vlastností a minimalizace deformací výstřiku, vzniku staženin a snížení spotřeby plastů včetně zlepšení poměru hmotnost – tuhost při zachování vysoké kvality povrchu. Dochází k redukci hmotnosti až o

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

50 % a ke zkrácení doby cyklu také až o 50 %. Je možné počítat s poklesem výrobních nákladů o 30 až 50 %. Technologie GIT se dá použít pro většinu plastů, např. pro PE, PP, PS, ABS, PA, SAN, PPO, PC, PBT, PC/PBT, TPU, TPE, ale i pro plněné termoplasty. Nevýhodou technologie GIT je vyšší cena nástroje a stroje, problematické chlazení v místech kanálů, řízení procesu.

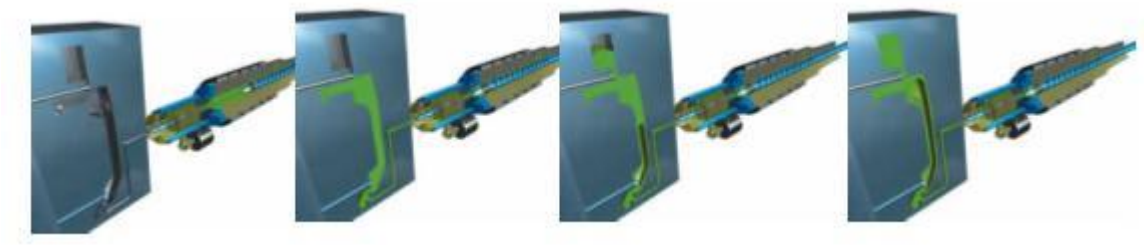
Vlastní proces vstřikování je obdobný jako u klasické technologie vstřikování, tedy zavření formy, vstřik, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výrobku. Tlak plynu zde však přebírá funkci dotlaku, je však nutné pomocí konstrukce tvaru (geometrická opatření) kontrolovat směr pohybu plynu. Žebra a rozdílné tloušťky stěn potom slouží k vedení plynu.

Z hlediska technologie jsou možné dvě techniky tvorby dutiny. První je tzv. krátký vstřik, dofukovací způsob, kdy je dutina formy naplněna jen částečně (objem taveniny je 50 až 90 %) a následně je tlakem plynu zcela vytvarována dutina formy (viz. obr. 1). Největším problémem je zde objem dávky taveniny plastu. Druhý způsob je tzv. dlouhý vstřik, vyfukovací způsob, při kterém se plyn vstřikuje do dutiny formy až po té, co plast úplně vyplní tvarovou dutinu a tavenina je vytlačována buď zpět před čelo šneku a nebo do pomocné dutiny. U krátkého vstřiku klesá tloušťka stěny se vzdáleností dráhy plynu, u dlouhého vstřiku je rovnoměrnější po délce kanálu (obr.2).



Obr.1 Postup vstřikování u GIT technologie – krátký vstřik

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

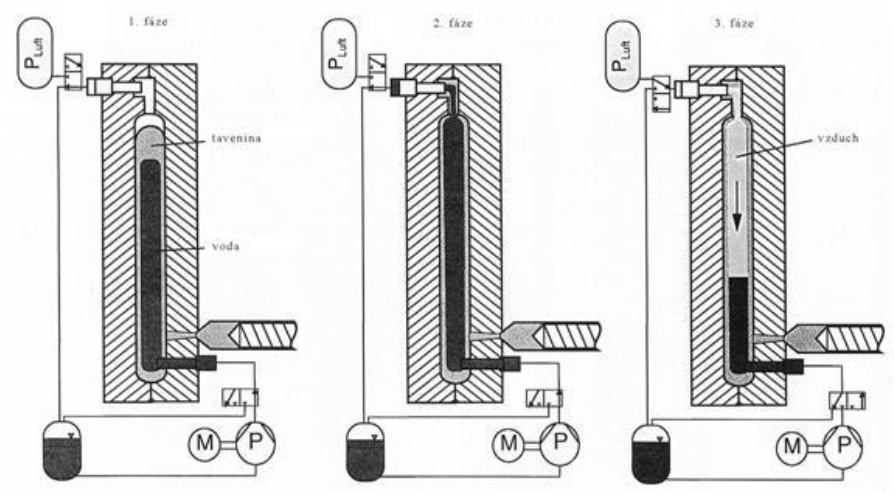


Obr 2. Postup vstřikování u GIT technologie – dlouhý vstřik

WIT – vstřikování plastů s podporou vody

Kromě technologie vstřikování plastů s podporou plynu (dusíku) se v dnešní době začíná prosazovat technologie vstřikování, kdy k výrobě dutých těles se nepoužívá plyn, ale voda. Mluvíme o technologii vstřikování s podporou vody – WIT (water injection technology) (obr. 3). Voda je vstřikována jednou nebo více pumpami do tekuté taveniny za účelem vytvoření dutiny. Vstřikování vody se provede tak, aby se voda neodpařovala. Tedy teplota přivedené vody musí být volena podle zpracovávaného plastu. Čelo vody pak působí na plastické jádro jako vtlačovaný píst. Účinek je navíc podpořen tím, že v oblasti (na čele) přechodu vody a taveniny ztuhne tenká plastová membrána. Nakonec může být voda vytlačena z dílce tlakovým vzduchem, nebo odsáta zpět a nebo se vylévá mimo formu a přes zásobník se vrací zpátky do oběhu. Vstříknutí vody se musí provést dostatečně rychle, aby se zabránilo hydrolytickému rozkladu plastu. Technologické principy vstřikování vody jsou obdobné jako u vstřikování plynu.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Obr. 3 Princip WIT technologie – krátký vstřik

V důsledku většího chladicího účinku vody oproti plynu se zkrátí doba chlazení i doba celého cyklu zhruba na 10 až 20 % doby u klasické technologie vstřikování. Výhody technologie WIT jsou srovnatelné s výhodami technologie GIT a technologii WIT lze použít i na výrobu dílců, které metodou GIT nelze realizovat. Zároveň mají vnitřní stěny výrobků velmi hladký povrch. Na druhé straně je technologie WIT použitelná jen u určitých tvarů plastových dílů.

Vstřikování sendvičů

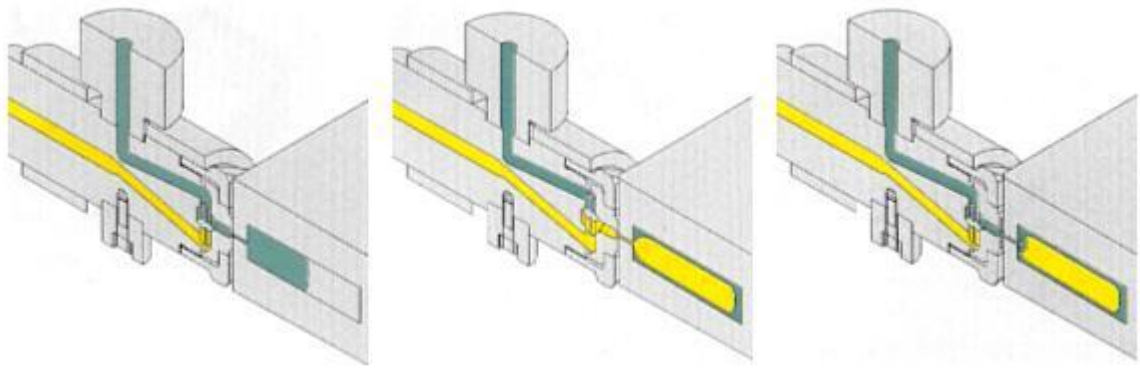
Vývojem a zavedením sendvičového vstřikování bylo možno zpracovávat recyklované materiály jako jádra vstřikovaných dílů. Sendvičové vstřikování dostalo název podle struktury vyráběných dílů - vnější stěny jsou z jednoho (prvního) materiálu a představují „slupku“, zatímco vnitřek dílu se skládá z druhého materiálu a představuje jádro. Tato struktura se vytváří v důsledku procesů proudění, při kterých se využívá laminárního proudění taveniny v dutině formy (technologie pomalého laminárního toku). Povrchová vrstva materiálu po prvním vstřiku se po ochlazení dotykem se stěnou formy již neposunuje a tím je vlastně uzavřen materiál jádra do materiálu povrchu. Plasty jsou však ještě dostatečně plastické na to, aby došlo ke spojení.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Povrchový materiál může být rozdílný od materiálu jádra, ale musí být vzájemně mísitelný. Při sendvičovém vstřikování se používají stroje se dvěma vstřikovacími jednotkami. Přitom technolog musí mít rozsáhlé znalosti o vstřikovacím procesu, aby nastavil vstřikovací proces tak, že se dosáhne stálého a postupného plnění formy. Proces z hlediska jednotlivých kroků je shodný se standardním vstřikováním. Výsledný tvar komponentu (jádra a povrchu) závisí hlavně na tokových vlastnostech materiálu, na geometrii výrobku a na umístění vtokového systému.

Sendvičové díly jsou zásadně srovnatelné se standardními výstřiky. Většina dnes realizovaných dílů původně byla standardními díly. Změna sendvičové techniky na standardní je zpětně bezproblémová, ale zpravidla z technických nebo ekonomických důvodů není účelná. Sendvičové produkty mohou být tenko i tlustostěnné. Tlustá stěna však ještě neznamená větší podíl jádrové složky, např. regenerátu. Technologií vstřikování sendvičů se vyrábějí hlavně výrobky, u kterých je možné použít recyklátu nebo vyztužit výrobek. Velký počet dnes realizovaných aplikací je založen na kombinaci technických vlastností rozdílných plastů, např. jádro obsahuje skleněná vlákna a povrch je z kvalitního nevyztuženého plastu.

Postup, který je rozdělen do dvou nebo tří kroků (obr. 4), je následující: do vstřikovací formy je nejdříve vstříknuta hmota (přesně definované množství), která tvoří kvalitní povrchovou vrstvu výstřiku a vzápětí je do plastického jádra vstříknuta hmota, tvořící jádro výrobku (dvoustupňový proces) resp. nakonec hmota, která uzavře povrch plastového dílu (třístupňový proces).



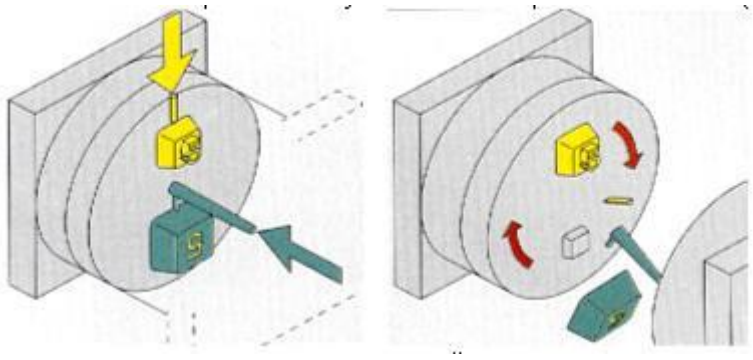
Obr. 4 Princip sendvičového vstřikování – třístupňový proces

Vše je řízeno speciální tryskou stroje, která spojuje dvě vstřikovací komory a dávkuje taveninu plastu do dutiny formy pomocí nucených (hydraulicky) nebo tlakově řízených mechanismů, které ovládají jehlu trysky v závislosti na tlakových poměrech. Při výrobě sendvičového dílu je vždy důležité nalézt správný okamžik, kdy se přepíná složka, tvořící slupku, na složku, tvořící jádro.

Vícekomponentní nebo vícebarevné vstřikování

Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování umožňují na jednom výlisku kombinovat buď dva nebo více materiálů nebo dvě nebo více barev od jednoho druhu plastu. Tato technologie se rozvíjela postupně nejdříve od vstřikování více barev až po dnešní vstřikování dvou nebo více druhů polymerů, a to i nemísitelných. V případě nedostatečné adheze se musí provést úprava geometrie dílu tak, aby došlo „k zastříknutí“ spojovaných částí (závisí to na geometrii dílů). U těchto technologií nepřejímá funkci dotlaku plyn, voda nebo vnitřní materiál, ale dotlak je shodný s klasickou technologií vstřikování. Technologie vícekomponentního vstřikování se liší od klasického vstřikování pouze tím, že ke vstřikovací formě jsou připojeny dvě (dvoukomponentní vstřikování) nebo tři (tříkomponentní vstřikování) resp. čtyři (čtyřkomponentní vstřikování) vstřikovací jednotky.

Nejrozšířenější a zároveň nejjednodušší variantou je dvoukomponentní vstřikování (obr. 2). V první fázi je nastříknut první materiál (nebo barva), ve druhé fázi, po přemístění výrobku do druhé pozice, se vstřikuje druhý materiál a dochází ke spojení dílu.



Obr. 5 Princip dvoukomponentního vstřikování

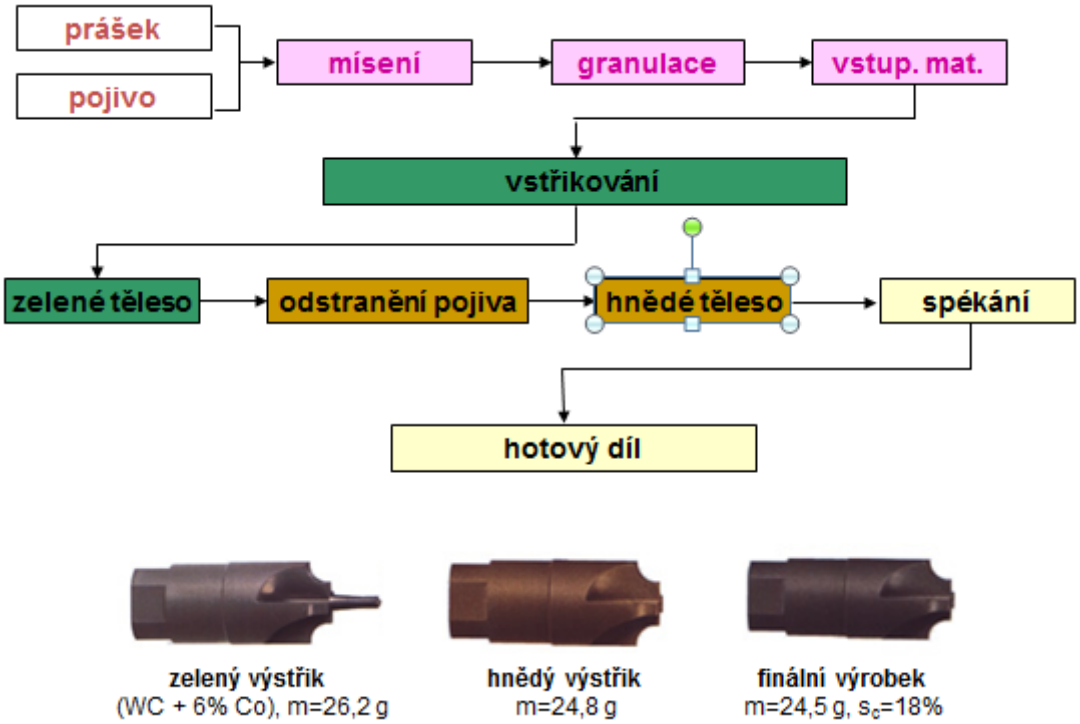
Vstřikování plastů s prášky

Vstřikování plastů s prášky - PIM (powder injection moulding) na bázi kovů, skla nebo keramiky, apod. se používá k výrobě vysoce přesných dílů s výbornou kvalitou povrchu, kdy polymer se používá pouze jako nosné pojivo - „lepidlo“ v prvních fázích vstřikovacího procesu. Touto technologií se vyrábějí díly pro automobilový a textilní průmysl, elektrotechniku, zdravotnictví, apod.

Základním materiálem (plnivem) pro technologii vstřikování plastů s prášky jsou tvrdé kovy, oceli, karbidy křemíku, oxidy hliníku, porcelán, ale i měď, atd. Tyto prášky se musí smíchat s plastem – pojivem, což je první fází výroby daného dílu, která končí spékáním.

Jednotlivé fáze procesu jsou následující (obr. 6): míchání prášku a pojiva, granulace, vstřikování (výsledkem je tzv. zelený výrobek), odstranění plastu (výsledkem je tzv. hnědý produkt), spékání a korekce povrchu. V první fázi procesu se tedy musí smíchat a zhomogenizovat potřebný prášek s plastem a následně se této směsi musí předat tvar v míchací a granulační jednotce. Objem plastu je v rozsahu 35 až 50 %. Tato směs je následně zplastikována v tavící komoře vstřikovacího stroje a vstříknuta pod vysokým tlakem a při vysoké teplotě do tvarové dutiny vstřikovací formy. Po ochlazení je výrobek, zelený produkt, vyjmut a přenesen do pece k vypálení polymeru. Vypálení polymeru se provádí v pecích při teplotě zhruba 450 oC a výsledkem je výrobek, hnědý produkt, s minimálním objemem plastu. Následuje spékání kovového nebo keramického prášku v pecích při teplotách (do 2000 oC), odpovídajících použitému druhu prášku. Výsledné díly jsou homogenní a vykazují izotropní smrštění, které je výrazně vyšší, než u klasické technologie vstřikování.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Obr. 6 Proces technologie vstřikování s prášky

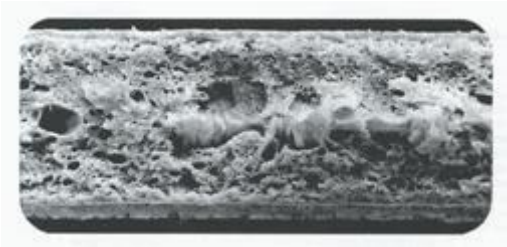
Vstřikování strukturních pěn

Výrobky ze strukturních pěn mají kompaktní povrchovou vrstvu a napěněné jádro. Plasty pro výrobu strukturních pěn jsou nadouvány přídavkem 0,7 až 3 % chemického nadouvadla nebo fyzikálně přídavkem uhlovodíků a výrobky jsou ve fázi plnění dutiny formy asi o 10 % vypěněny. Plasty, používané pro strukturní pěny, jsou ABS, PA, PEI, LDPE, HDPE, PPE, PPO, PC, PP, PS, PBT. Objemem přidaného nadouvadla lze získat buď lehký nebo těžký výstřik. Kromě toho se vylepšila tato technologie tak, že dle nového způsobu se při použití vhodné konstrukce formy vstřikuje tvrdá pěna do měkké pěny, čímž se dosáhne různého složení na místech, kde je to potřeba.

Strukturní pěny lze zpracovávat na běžných vstřikovacích strojích s dostatečnou vstřikovací rychlostí buď nízkotlakým nebo vysokotlakým způsobem. Tlak plynu u nízkotlakého způsobu je v rozmezí 2,1 až 3,4 MPa. Proces plnění je analogií krátkého vstřiku (objem taveniny je v

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

rozmezí 80 až 90 %) a plný objem výrobku vzniká v důsledku expanze plynu. Oproti vstřikování termoplastů jsou v tomto případě chladící doby mnohem delší v důsledku špatného přenosu tepla. Kromě nízkotlakého procesu s krátkým vstřikem existuje i vysokotlaký proces s plným vstřikem. Tlak plynu je vyšší, než 3,4 MPa. Nevýhodou jsou vzhledové vady na povrchu a poměrně dlouhý čas pro vytěkání zbytku nadouvadla (24 až 48 hodin) před započetím doplňkových operací.

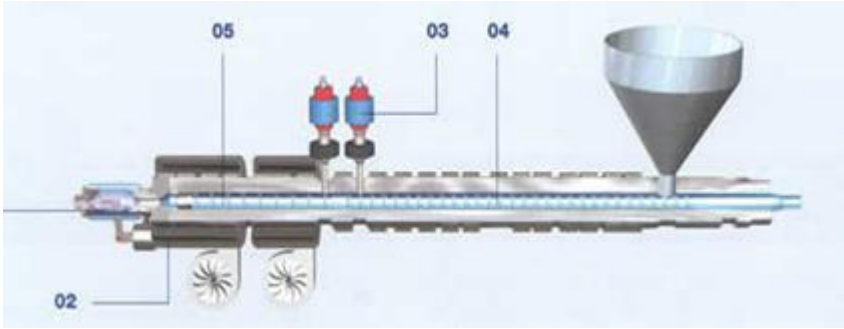


Obr. 7 Řez stěnou napěněného dílu

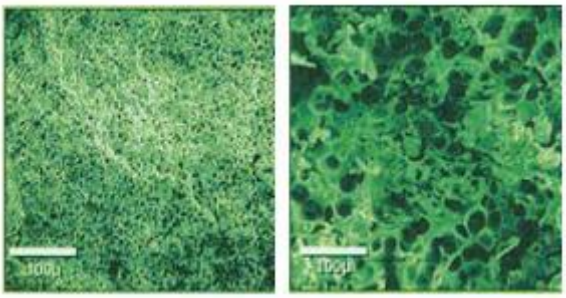
Mezi velmi známé způsoby výroby strukturních pěn patří použití fyzikálního nadouvadla, pentanu, v polystyrénu (PS) – strukturní polystyrén. Hustota konečného výrobku je kolem 10 $kg.m^{-3}$. Rozeznáváme dva způsoby výroby konečných polotovarů nebo dílů: V prvním případě jsou kuličky PS ohřívány horkou párou na teplotu 100 °C, při které dochází k jejich předpěnění. Následuje plnění dutiny uzavřené formy, kde se předpěněné kuličky dopění pod účinkem teploty kolem 120 °C. Druhý způsob je založen na plném vypěnění v dutině nástroje.

Dalším speciálním procesem výroby strukturních pěn je použití dusíku – technologie „Mucell“, kterou je možné aplikovat pouze se speciálním vybavením. Výhodou tohoto systému je rovnoměrnost rozložení a velikost jednotlivých dutin ve struktuře strukturních pěn oproti klasické technologii výroby strukturních materiálů.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Obr. 8 Detail speciální plastikační jednotky pro technologii Mucell



Obr. 9 Porovnání struktury při použití dusíku (vlevo) a klasického nadouvadla (vpravo)