

# INŽENÝRSKÉ TERMOPLASTY PRO STROJÍRENSKÉ APLIKACE

Prof. Ing. Josef Steidl, CSc., FEng.

Inženýrská akademie ČR, sekce Materiálové inženýrství a technologie

Od začátku padesátých let minulého století se ve strojním inženýrství začaly postupně uplatňovat plasty. Znalosti strojních inženýrů o těchto materiálech však byly minimální, zkušenosti s jejich použitím ve strojírenství se teprve začínaly rodit. Dnes si bez nich strojírenství ani nedokážeme představit.

Plasty | [www.mmspektrum.com/160329](http://www.mmspektrum.com/160329)

V roce 1965 vyšla v tehdejší nakladatelství SNTL monografie s názvem Konstrukční plastické hmoty (J. Hugo a kol.). V této ojedinelé publikaci bylo nashromážděno značné množství dat a poznatků, které tehdy pomohly strojním inženýrům i absolventům jiných inženýrských oborů využívat plasty v praxi při navrhování nových výrobků. Publikace se dotýkala všech tenkrát komerčně vyráběných druhů termoplastů i reaktoplastů. Termoplasty tehdy nebyly ještě členěny do skupin vyznačujících se společnými charakteristikami.

## Kategorizace termoplastů

S rychlě přibývajícím množstvím druhů termoplastů v průběhu minulých desetiletí se začaly projevat snahy o jejich členění, které by umožnilo technické veřejnosti orientovat se v termoplastech na základě jednoduchého schématu. V posledních letech se v zahraniční odborné i firemní literatuře členění termoplastů často zpodobňuje graficky ve formě pyramidy (*polymer performance pyramid*). Publikovány jsou jich desítky o různém uspořádání a s různým přístupem k členění. Základními kritérii jsou úroveň fyzikálně-mechanických vlastností, zejména za vyšších teplot, dále objem výroby a cena. Podle tohoto hodnocení jsou termoplasty členěny do tří základních skupin: termoplasty pro všeobecné použití (*commodity thermoplastics*), inženýrské, nazývané též konstrukční termoplasty (*engineering thermoplastics*) a speciální termoplasty se špičkovými vlastnostmi (*high performance thermoplastics*). Tento přístup připomíná způsob členění konstrukčních ocelí na oceli obvyklé jakosti, ušlechtilé oceli a oceli se zvláštními vlastnostmi (J. Pluhař a J. Koritta: *Strojírenské materiály*, SNTL 1966).

Do uvedeného způsobu členění termoplastů navíc vstupuje další důležité kritérium, což je schopnost krystalizace. Na ní jsou závislé chemické, fyzikální i mechanické vlastnosti polymeru. U krystalizujících polymerů pak jejich vlastnosti ovlivňuje podíl krystalické fáze, který je závislý na molekulární struktuře polymeru a technologických podmínkách zpracování.



Kuličkové ložisko, materiál POM.  
(Zdroj: [www.bearingscanada.com](http://www.bearingscanada.com))

## Příklady zařazení termoplastů do skupin

Skupinu termoplastů pro všeobecné použití tvoří polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC) a polystyren (PS). K inženýrským polymerům se řadí polyamidy (PA), kterých se vyrábí více než deset druhů (PA6, PA66, PA11, PA12 atd.), dále polykarbonát (PC), polyoxymetylen (POM) a lineární polyestery polyethyltereftalát (PET) a polybutyltereftalát (PBT). Příklady aplikací ukazují přiložené obrázky. Skupinu speciálních (vysokoteplotních) termoplastů reprezentují polysulfon (PSU), polyetylen sulfid (PPS), polyeterimid (PEI), polyetereterketon (PEEK) a kapalně krystalické poly-



Poklice kola automobilu, materiál PC.  
(Zdroj: [www.nudec-plastic.com](http://www.nudec-plastic.com))

mery (LCP). Hranici mezi uvedenými skupinami nelze považovat za zcela jednoznačnou, mezi inženýrské termoplasty jsou často zařazovány i jiné druhy polymerů. Průměrná cena polymerů pro všeobecné použití je 1,7 USD/kg, u inženýrských termoplastů 3,4 USD/kg a u speciálních 17,5 USD/kg. Do orientačního výpočtu byly zahrnuty polymery určené pro technologii vstřikování a v přírodní barvě (kromě polymeru PEEK, který se svojí cenou vymyká ostatním). Aktuální ceny jednotlivých polymerů byly převzaty ze zdroje [www.plasticsnews.com](http://www.plasticsnews.com) z února 2016.

## Počátky inženýrských termoplastů

Ze skupiny inženýrských termoplastů do komerční výroby postupně přicházely PA 66 (1938 Nylon, DuPont), PC (1958 Makrolon, Bayer), POM (1960 Delrin, DuPont) a PET pro vstřikování (1978 Rynite, DuPont). Polyamid 66 se již stal předmětem zájmu první plastické výstavy NPE (*National Plastics Exposition*) v New Yorku v roce 1946 a konference ANTEC (*Annual Technical Conference*) v Chicagu o rok později. Během 2. světové války byl tedy z inženýrských polymerů komerčně vyráběn pouze PA 66, pro nějž se nacházela první technická uplatnění. V poválečném období se začal tvořit zcela nový trh, který přitahoval velkou pozornost nejenom technické veřejnosti. Již tehdy bylo předpovězeno, že výroba plastů se v následujících letech stane jedním z nejdůležitějších průmyslových odvětví. Na výstavě NPE ve Filadelfii v roce 1952 byly vystavovány první strojírenské součásti vyrobené vstřikováním polyamidu 66 (ozubená kola, vačky, pouzdra ložisek, ventily). Jak je zmíněno v publikaci k 50. výročí NPE (2006), tehdy také vznikl pojem inženýrské plasty (*engineering plastics*) jako název pro takové druhy plastů, které svými vlastnostmi budou schopny konkurovat kovům.

## Charakterizace inženýrských termoplastů

Za inženýrské termoplasty lze obecně považovat termoplastické polymerní materiály používané na výrobu součástí a dílů v různých inženýrských oborech. Ve strojním inženýrství jsou na plasty kladeny zvláště náročné požadavky, spočívající obvykle v důmyslné kombinaci mechanických, fyzikálních a chemických vlastností. Vlastnosti inženýrských polymerů jsou na vyšší úrovni než u polymerů pro všeobecné použití, cenový odstup však není příliš velký. Inženýrské termoplasty tak představují jakousi „střední třídu“ s příznivou relací mezi vlastnostmi a cenou. U nových technických řešení je velmi často vyžadována taková kombinace vlastností, které nelze principiálně pomocí kovů dosáhnout. Hustota hraje téměř ve všech aplikačních oblastech jednu z hlavních rolí. Účelem použití plastů na strojírenské součásti a díly byla zpočátku snaha nahrazovat kovy pouze kvůli zmenšování hmotnosti výrobků. Postupem času však uživatelé pochopili, že plasty jsou pro konstrukční praxi materiálem s novými funkční-



mi vlastnostmi, které umožňují větší svobodu v konstruování a efektivnější výrobní postupy. Příkladem mohou být výrobky složitých tvarů, kdy obrábění kovů je technicky komplikované a ekonomicky náročné. V obecné snaze po miniaturizaci sílí požadavky na výrobu tenkostěnných a miniaturních součástek, jejichž výrobu za pomoci kovových materiálů nelze realizovat.

### Trendy

Jak je zřejmé z databází Campus, IDES nebo MatWeb, v současné době je uživatelům k dispozici mnohatisícové portfolio inženýrských typů polymerů, přičemž velkou převahu mají polyamidy. Svědčí o to téměř neomezených možnostech přípravy materiálových variant „šitých na míru“ pro požadované vlastnosti, technologie zpracování i aplikace. Slouží k tomu celá řada prostředků, jako jsou změny v molekulární



**Víko rozdělovače automobilového motoru, materiál PBT.**  
(Zdroj: [www.automobilovedily24.cz](http://www.automobilovedily24.cz))

strukturu, kopolymerace, příprava polymerních směsí, aditiva, plniva, vlákna, nukleační činidla. I přesto nejsou uživatelé s možností výběru vhodného typu plastu pro danou aplikaci zcela spokojeni. Vyplyvá to z průzkumové studie Plastics Industry Trends firmy DuPont (Plastics News, 19. března 2015), která uvádí, že více než 50 % oslovených průmyslových respondentů považuje současné materiálové portfolio plastů za ne zcela vyhovující a že pro uspokojení potřeb průmyslu do budoucna bude zapotřebí dále ho rozšiřovat. Studie uvádí následující oblasti, na které uživatelé nejvíce soustřeďují pozornost: mechanické vlastnosti, recyklační technologie, zpracovatelnost (zvyšování produktivity výroby), vícemateriálové technologie (integrace materiálů včetně kombinací plast-kov), 3D tisk a nanotechnologie.

### Polymerní nanokompozity

U strojírenských aplikací je v popředí zájmu hledání optimálních kombinací mechanických a fyzikálních vlastností. Jako jedna z cest se jeví právě nanotechnologie. Není náhoda, že u zrodu polymerních nanokompozitů stál polyamid 6. V automobilovém průmyslu byla snaha vyvinout polymerní materiály odolávající náročným provozním podmínkám v motorovém prostoru. Počátky výzkumu se datují do poloviny 80. let v japonském výzkumném centru automobilky Toyota. Ve spolupráci s chemickým koncernem UBE Industries byla v roce 1991 zahájena výroba polyamidu 6 modifikovaného nanočástice-

mi montmorillonitu (druh jílu). Historicky první aplikací se stal kryt rozvodového řemenu automobilu Toyota Camry. Zjištění, že několikaprocentní obsah nanočástic v polymeru způsobuje při zachování téměř stejné hustoty zlepšení jeho mechanických vlastností, rozměrové stability, odolnosti proti hoření, odolnosti proti poškrábání, teplotní odolnosti a bariérových vlastností, vyvolalo celosvětovou vlnu výzkumu polymerních nanokompozitů.

### Kompozity s dlouhými vlákny

Mechanické vlastnosti termoplastů k výrazně větším hodnotám posunuje technologie označovaná jako LFT nebo LFRT (*Long Fiber Reinforced Thermoplastics*). Oproti krátkovláknovému kompozitům, u nichž je délka vláken v granulátu okolo jednoho mm, u LFRT technologie to je 12–15 mm (stejná délka jako délka granulace).



**Součást ventilačního zařízení, materiál PA 12.**  
(Zdroj: [www.machinedesign.com/3d-printing](http://www.machinedesign.com/3d-printing))

Přínosem této technologie je současné zvětšení modulu pružnosti, pevnosti i houževnatosti termoplastu, čehož krátkými vlákny nelze dosáhnout. Ještě dokonalejší technologií je D-LFRT (Direkt-LFRT) sestávající z kompaundačního zařízení pro přípravu granulí nebo směsí v jedné výrobní lince přímo navazující na technologie vstřikování a lisování (délka vláken až 25 mm). Uvedené technologie konkurují klasickému procesu GMT (*Glass Mat Thermoplastics*) se skleněnou výtuzí ve formě rohože. GMT technologie byla vyvinuta v 60. letech v americké firmě Pittsburgh Plate Glass Company a stála na samotném počátku vývoje termoplastových kompozitů. Těm již v současné době materiáloví odborníci v mnoha konstrukčních řešeních, včetně leteckých, dávají přednost před kompozity reaktoplastovými. Pro technologii lisování jsou vyráběny termoplastové prepregy s vláknovou výtuzí ve formě rovingů, rohoží nebo tkanin. K využití je řada vláken, syntetických i přírodních a je možno je i vzájemně kombinovat.



Ačkoliv od doby prvních strojírenských aplikací plastů uplynulo již několik desítek let, ani v současné době nejsou ještě strojírenští inženýři v potřebné míře odborně vybaveni pro práci s plasty a polymerními kompozity, ať už jde o konstruování, zpracovatelské technologie či aplikační problematiku ve strojírenství. Jedním z důvodů je i obsah a rozsah výuky tohoto oboru na školách, která prozatím není adekvátní rozsahu výuky kovů. ■

## PŘÍPRAVA PRACOVNÍKŮ PRO VÝROBU TECHNOLOGIÍ VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Rozvoj technologie vstřikování plastů ve druhé polovině minulého století přinesl s sebou i stále zvyšující se nároky na kvalitu pracovníků výrobních závodů, jejichž hlavní náplní se stává výroba plastových dílů a finálních výrobků touto technologií. Výuka na vysokých školách je většinou zaměřena na obecné problémy zpracování jednotlivých polymerů, zatímco obsluhy vstřikovacích strojů, seřizovače, technologi, směnové mistry a zkušební techniky školily vlastní firmy. Postupně se technologie vstřikování rozšířila i do malých výroben, které neměly vlastní kapacitu pro další výuku a školení svých zaměstnanců.

Z výše uvedených důvodů začaly tehdejší Domy techniky organizovat krátkodobé kurzy (2 až 6 dnů). Po roce 1989 vznikly z těchto organizací soukromé společnosti.

### Kontrola znalostí pracovníků

Ve firmě Plast Form Service byly vytvořeny osnovy pro školení obsluh, směnových mistrů, seřizovačů a technologů. Pro prokázání účinnosti školení pak byly vypracovány krátké testy zahrnující otázky o plastových materiálech, technologii vstřikování, vstřikovacích strojích a perifériích, vstřikovacích formách a kvalitě výstřiků.



**Výroba obložení pátých dveří Opelu Astra**

Složení otázek pro pracovníky konkrétních vstřikoven by se mělo vázat na výrobní program dané firmy.

Znalosti nových pracovníků vstřikovny se doporučuje po jejich jednoměsíčním působení ve firmě ověřit řadou jednoduchých otázek z oblasti technologie vstřikování (tzv. plstikářské minimum). Zaměřením zkušebních otázek má navazovat na výrobní program konkrétní vstřikovny.

EMIL NEUHÄUSL, REDAKČNĚ ZKRÁCENO

*Plné znění článku a příklad takového testu, který používá firma Plast Form Service I. M., najdete na [www.mmspektrum.com/160301](http://www.mmspektrum.com/160301).*