

Vývoj novej technológie zhodnocovania odpadovej PUR peny do nových výrobkov

Lubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ, Marcela POKUSOVÁ, Jozef BÁBICS, Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO

Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Ústav výrobného inžinierstva a kvality produkcie, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava

e-mail: lubomir.sooš@stuba.sk, marcela.pokusova@stuba.sk,

stanislav.ziaran@stuba.sk, milos.matus@stuba.sk, ondrej.chlebo@stuba.sk, jozef.babics@stuba.sk

Súhrn

Pri zhodnocovaní odpadu zo starých vozidiel vznikajú rôzne typy odpadov. Väčšinu odpadu je možné zhodnotiť s väčším či menším úspechom. Medzi tie problematické odpady patrí molitan. Má veľký objem, nízku hmotnosť a v súčasnosti neexistuje vysoko účinná technológia na zhodnocovanie tohto odpadu a výrobu nových produktov. Cieľom prezentovaného príspevku je analýza stavu spracovania, výskumu, vývoja, dizajnu a testovania skúšobných vzoriek ako podkladu pre výrobu stroja na výrobu nových 3D produktov vyrobených z penového odpadu. Príspevok v úvodnej časti obsahuje analýzu množstva plastového odpadu vznikajúceho v automobilovom priemysle. Popisuje súčasný stav nakladania s uvedeným odpadom, možnosti jeho využitia pri výrobe nových produktov. Jadrom príspevku je výber vhodnej technológie, výroba a overenie experimentálneho merania a hodnotenia vyrobených skúšobných vzoriek pri rôznych teplotách, tlakoch a dĺžke výdrže.

Kľúčová slova: *pena, spracovanie, recyklácia*

Úvod

Mäkké polyuretánové (PUR) peny zaberajú asi 33 % z celkovej produkcie polyuretánov. Používajú sa v automobilovom priemysle na výrobu sedadiel, ďalej na výrobu matracov, nábytku, na laminovanie textilu, na obalové účely (ochrana proti nárazu), na výrobu izolačných a tesniacich pásov. Využitie nachádzajú aj v stavebníctve. Tým, že sa používajú bežne v priemysle aj ako spotrebný materiál, vzniká otázka ukladania a recyklácia odpadu. Možnosť vzniku odpadu je aj pri samotnej výrobe, kde môže dosiahnuť až 10 % z celkovej produkcie pien. PUR sa môžu používať ako peny, elastoméry, laky, lepidlá, elastické vlákna či ako umelá koža. V automobilovom priemysle je dopyt tvarových produktoch výrobkoch z mäkkých PUR pien. Ich hustota je v rozmedzí hodnôt od $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tvrde peny sa pripravujú v uzavretých alebo otvorených formách. Slúžia väčšinou ako izolačný materiál v stavebníctve a strojárstve (potrubia, chladničky, automobily), ale aj v lietadlách ako radarové kryty. Využíva sa pritom nielen ich dobrá izolačná schopnosť, ale aj tvrdosť tvrdých PUR pien. Ich tvrdosť sa pohybuje v rozmedzí od $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

V automobiloch sa využívajú polyuretánové peny ako výplň sedadiel, opierok, čalúnenia strechy, čalúnenia dverí, podložky pod kobercami, ako protihluková a proti vibračná izolácia priestoru motora a ďalšie.

Realizovaný projekt je zameraný na efektívny návrh spracovania PUR odpadov zo starých vozidiel. Nakoľko výstupom má byť optimalizovaný návrh technológie materiálového (príp. energetického) zhodnotenia odpadu - PUR pien, je nevyhnutné kvantifikovať množstvá tohto problematického odpadu zo starých vozidiel v SR. V roku 2022 bolo na Slovensku spracovaných 46 354 starých vozidiel. Vychádzajúc z priemernej hmotnosti vozidla 1400 kg a percentuálneho hmotnostného podielu PUR pien

v automobile 1,75 % je možné konštatovať, že len v roku 2022 vzniklo zo starých vozidiel 1135 ton tohto problematického odpadu.

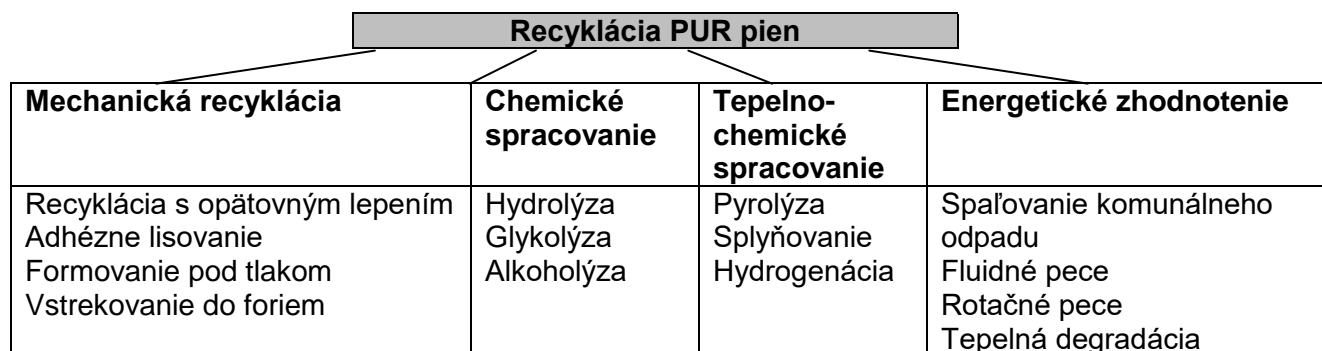
Z hľadiska návrhu a optimalizácie technológie vhodnej na spracovanie a recykláciu takéhoto odpadu zo starých vozidiel je však potrebné sledovať dva ciele:

- recykláciu čistej PUR peny zo sedadiel
- recyklácia PUR peny z ostatných častí vozidla, ktorá má povrchovú vrstvu neoddeliteľnú, t.j. PUR pena vstrekovaná priamo do tvarovaných častí, čalúnenie s nalepenou povrchovou vrstvou - textil, koža, umelá koža (opierky, čalúnenie dverí, strechy atď.)

Analýza technologických možností zhodnocovania PUR pien

Recyklácia čistej PUR peny zo sedadiel je v praxi rozšírená a technologicky pomerne dobre zvládnuteľná. Výrazným problémom je recyklácia PUR peny z ostatných častí vozidla, ktorá má povrchovú vrstvu neoddeliteľnú. Tento problém nie je v súčasnosti riešený. Zároveň pre podmienky a ročné množstvá odpadovej PUR peny zo starých vozidiel na Slovensku je potrebné navrhnuť a optimalizovať technológiu, ktorá by umožňovala materiálovú recykláciu oboch uvedených typov odpadov.

Výskum, štúdie a testovania viedli k celej rade oblastí a metód recyklácie a využitia polyuretánu, ktoré môžu byť ekonomicky a ekologicky realizovateľné³. Štyri hlavné kategórie⁴ sú: mechanická recyklácia, pokročilá chemická a termo-chemická recyklácia, energetické zhodnocovanie a recyklácia samotného produktu (obrázok. 1). Každý spôsob poskytuje jedinečné výhody, ktoré sú obzvlášť vhodné pre konkrétne aplikácie alebo požiadavky^{5, 6}. Mechanická recyklácia (t.j. recyklácia materiálu) zahŕňa fyzikálnu úpravu, pri chemickej a termo-chemickej recyklácii (t.j. recyklácia suroviny) je odpad transformovaný na vstupné produkty, chemikálie pre chemický priemysel. Energetické zhodnotenie tohto odpadu zahŕňa úplnú alebo čiastočnú oxidáciu materiálu⁷, výrobu tepla a elektrickej energie, a/alebo plyných palív, olejov a uhlia okrem vedľajších produktov akým je popol, ktorý musí byť zneškodnený⁹. Vzhľadom k typicky dlhej životnosti výrobkov obsahujúcich polyuretán, štvrtá možnosť - recyklácia produktu alebo tzv. uzavretá slučka recyklácie, je obmedzená^{8,10}, pretože trhy sa rýchlo menia a pojem "downcycling" alebo "otvorená slučka" recyklácie sa silno vzťahuje na produkty na báze chemikálií ako sú polyuretány. Preto mechanická, chemická a tepelno-chemická recyklácia a energetické využitie, sú jediné tri spôsoby, ako účinne recyklovať polyuretán¹¹.



Obrázok 1: Prehľad možností recyklácie PUR pien

Bez ohľadu na použitú technológiu recyklácie, dva faktory zohrávajú kľúčovú úlohu pri určovaní technickej a ekonomickej uskutočniteľnosti recyklácie polyuretánových materiálov:

- a) zvyšovanie hustoty objemných polyuretánových pien, čo umožňuje ekonomicky efektívnu dopravu od zberného miesta do prevádzky recyklácie,
- b) redukcia veľkosti polyuretánových výrobkov (matracov, autosedačiek, izolačných dosiek a pod), ktorá je vhodná pre ďalšie spracovanie vo zvolenom recyklačnom procese.

Mechanická recyklácia

Dôležitým a prvým krokom je spracovanie odpadových materiálov na menšie častice, ktoré sa následne budú ľahšie spracovávať. Môžu to byť vločky, pelety či prach, v závislosti od druhu PUR, ktorý je recyklovaný. U polyuretánových pien sa používa recyklácia tzv. prebrusovaním. Pri nej vznikajúci prach je možné znovu použiť pri výrobe nových PUR pien ako plnivo. V iných prípadoch sa odpadový materiál drví,¹². Požadovaná veľkosť frakcie pre následné spracovanie polyuretánu sa pohybuje od častíc menších ako 200 µm pre opätovné použitie ako plniva do polyuretánu, až po väčšie kusy pre chemické spracovanie alebo energetické zhodnotenie. Poznáme štyri základné spôsoby mechanickej recyklácie: recyklácia s opätovným lepením, adhézne lisovanie, formovanie pod tlakom a vstrekovanie do foriem.

Recyklácia lepením s pridaním spojiva patrí medzi najpoužívanejšie procesy recyklácie. Používa sa už 30 rokov. Spočíva v spôsobe spracovania penových vločiek získaných z recyklovaných penových odpadov napr. prebrusovaním. Vločky sa fúkajú zo zásobníkov do bubnových miešačiek. Tu sa vločky miešajú s lepidlom. Takto vzniknutá zmes sa dá farbiť a potom sa zlisuje dopravníkovým lisom. Konečná stabilizácia výrobku sa vykonáva pomocou pary.

Technológia zahŕňa aj vysokú pružnosť a širokú variabilitu v mechanických vlastnostiach hotových výrobkov¹².

Adhézne lisovanie spočíva vo vrstvení polyuretánovej drviny a lepidla a následného vytvrdzovania vplyvom teploty a tlaku,¹⁰. Touto metódou sú vyrábané tvarované diely pre automobilový priemysel, ako sú rohože či kryty rezervných pneumatík. Adhézne lisovanie je aplikovateľné pre mnoho typov plastových odpadov a ich zmesí. Nadrvená PUR pena o veľkosti častíc približne 1 cm môže byť opätovne spojená v kompaktný celok pridaním diizokyanátu MDI a následným lisovaním v tvarovej forme za pôsobenia teploty v rozsahu 100 – 200 °C a tlaku 3 – 20 MPa. Materiálové zhodnotenie enormného množstva PUR peny zo starých vozidiel môže uspokojiť veľkú časť (v USA takmer 50 %) trhu s kobercovými podkladmi,⁵. Tento spôsob recyklácie je veľmi zaujímavý tiež pre PUR penu zo stavebného odpadu,⁴.

Tento spôsob formovania pod tlakom, ktorý ako recyklovanú surovinu využíva predovšetkým reakčne vstrekované polyuretány do foriem, je schopný produkovať vysoko kvalitné recyklované produkty. Lisované diely obsahujú 100 % recyklovaného materiálu. Spracovaný odpad je prebrúsený na jemné častice a podrobený vysokým tlakom a teplotám za účelom vytvorenia pevného materiálu, ktorý je ideálny pre mnoho aplikácií v automobilovom priemysle. Formovanie pod tlakom¹⁴ zahŕňa tvarovanie polyuretánových častíc pri dostatočne vysokých teplotách a tlakoch (180 °C, 35 MPa) pre vytvorenie šmykových síl potrebných k nataveniu a spojeniu jednotlivých častíc dohromady, bez potreby ďalších spojív. Technológia sa zameriava na výrobu čalúnenia zo spracovania polyuretánu a polyuretánov získaných zo starých vozidiel. Je vhodná na výrobu pevných a zložitých trojrozmerných dielov, ako sú tvarové obaly čerpadiel a motorov. Týmto spôsobom vyrobené produkty sú vhodné predovšetkým pre automobilový priemysel, pretože dosahujú vysokú tuhosť,⁵.

Technológia vstrekovania do foriem umožňuje čiastočnú recykláciu polyuretánu. Jednou metódou (Bayerove vysokoteplotné lisovanie) sa granulovaný polyuretán o zrnitosti 250 až 1000 µm spracováva pri teplote okolo 180 °C a tlaku väčšom ako 35 MPa, čím je možné vyrobiť teplom tvarované produkty, ako sú napríklad rôzne automobilové diely¹⁵. Spočíva v natavovaní granulátu z odpadových plastov vrátane jemnej frakcie PU v komore extrúdera pôsobením externého ohrevu a následnom vstreknutí tekutého plastu do formy. Vstrekovanie môže prebiehať prostredníctvom jedného extrúdera. Duálne vstrekovanie prostredníctvom dvoch (príp. viacerých) extrúderov umožňuje recykláciu a opätovné použitie odpadových termoplastov a termosetov. Výhody tejto technológie spočívajú v zvýšených mechanických vlastnostiach produktu, vo vyššej kvalite povrchu a v možnosti ľubovoľnej farby produktu.

Návrh vhodnej technológie pre stanovené ciele projektu

Na základe rozsiahlej analýze technológií zhodnotenia odpadovej PUR peny bude pre vyššie spomenuté ciele projektu ďalej podrobne rozpracovaná technológia formovania PUR recyklátu pod tlakom ako jediná vhodná a efektívna technológia spĺňajúca kladené požiadavky a vyhovujúca daným

obmedzeniam. Táto technológia umožňuje recyklovať čisté PUR peny ako aj PUR peny s neoddeliteľnou povrchovou vrstvou. Umožňuje vo svojej podstate produkciu plošných izolačných produktov ako aj tvarových prvkov bez pridávania spojiva príp. ďalších chemických aditív. Navrhovaná technológia materiálového zhodnotenia PUR peny zo starých vozidiel nepredstavuje riziko pre životné prostredie, nakoľko nedochádza k žiadnym chemickým reakciám, ani znečisťovaniu prostredia tuhými prachovými látkami, kvapalinami či plynmi. Recyklovaná polyuretánová pena nachádza vďaka svojim vynikajúcim tepelnoizolačným a akustickým vlastnostiam uplatnenie aj v stavebníctve ako izolačný prvok stien, či podláh. Táto izolácia je vhodná aj na odhlučnenie výrobných hál. Produkovať sa môže buď vo forme platní, pásov alebo blokov rezaných na požadovanú hrúbku. Vďaka svojej vyššej pevnosti a hustote, ktorú je možné pri recyklácii nastaviť sa úspešne využíva sa aj ako vrstva podláh športových hál.

Využitie výrobkov z druhotných surovín

V automobilovom priemysle má recyklovaná polyuretánová pena veľké uplatnenie pri odhlučnení karosérie a pri zabránení prenosu vibrácií. Okrem výborných zvukovo-izolačných a tlmiacich vlastností sa využívajú aj tepelnoizolačné vlastnosti takýchto výrobkov. Oproti novej PUR pene majú vyššiu hustotu a tvrdosť. V automobiloch nachádzajú uplatnenie v podobe platní či pásov ako izolácia na tlmenie vibrácií a ich prenos do kabíny (napr. izolácia motorového priestoru, izolácia dverí atď.).



Obrázok 2: Izolácia na tlmenie vibrácií v automobiloch

Navrhnutou technológiou formovania PUR recyklátu pod tlakom je možné pre automobilový priemysel vyrábať aj ďalšie pevné a tvarovo zložité diely lisované do formy (obrázok 3). Diely lisované z recyklátu dosahujú zaručené mechanické vlastnosti, ktoré v skutočnosti môžu byť lepšie ako z nového polyuretánového materiálu.

Produkty z recyklovanej PUR peny môžu byť tiež inštalované v bielej technike, vo dverách a oknách, v strojoch, v rôznych zariadeniach a v štruktúrach ako akustický prvok s funkciou pohlcovať hluk. Vďaka svojim vynikajúcim tepelno-izolačným vlastnostiam, môže prispieť k zníženiu energetickej náročnosti budov. Takéto výrobky môžu byť opäť recyklované a znovu sa zmeniť na rovnaký alebo úplne nový výrobok.

Experimentálny vývoj a optimalizácia navrhutej technológie

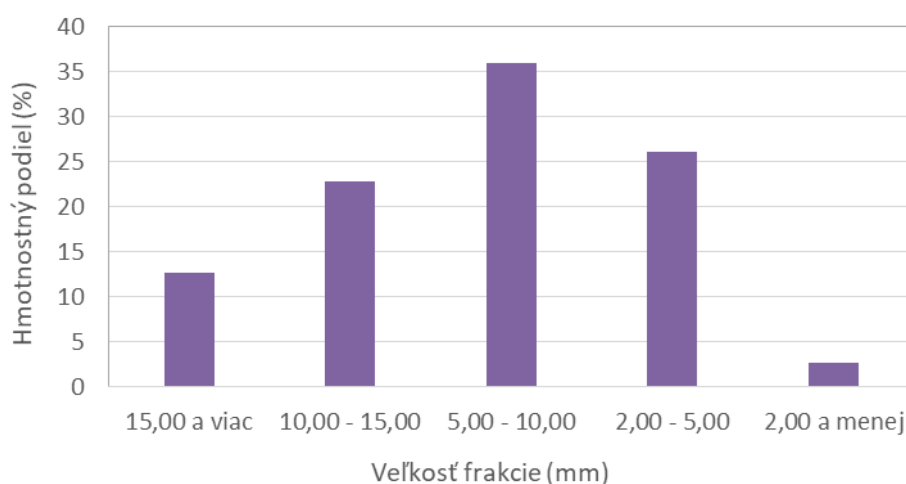
V rámci experimentálneho vývoja technológie pre aplikáciu materiálovej recyklácie odpadových PUR pien predovšetkým zo starých vozidiel je cieľom zadefinovať vhodné (optimálne) technologické podmienky pre produkciu tvarovo zložitých a presných prvkov.



Obrázok 3: Akustická výplň vo vnútorných častiach vozidiel a výplň pre automobilové sedadlá

Pri navrhutej metóde lisovania – formovania – PUR recyklátu za tepla bez pridania lepidla je dôležité podvrvený materiál zohriať na teplotu 180 až 220 °C, kedy táto flexibilná PUR pena zmäkne, natavia sa hrany jednotlivých vložiek a môže tak pôsobením tlaku nastať vzájomné prepojenie častíc. Rozhodujúcimi skúmanými technologickými parametrami v rámci experimentov bol vplyv lisovacej teploty, lisovacieho tlaku a doba výdrže. Ostatné parametre boli pri experimentoch nemenné: drvená frakcia (obrázok 2) s frakčným zložením uvedeným v tabuľke 1, tvar formy, resp. tvarového prvku.

Pre uvedené experimenty bol použitý technologický odpad z výroby PUR peny, ktorý bol drvený vo forme vložiek. Na zistenie frakčného zloženia materiálu bola vykonaná frakčná analýza na zariadení Retsch Vibratory Sieve Shaker AS 200 digit a materiál bol delený na 5 veľkostí frakcie. Frakčné zloženie materiálu je uvedené na obrázku 4.



Obrázok 4: Frakčné zloženie PUR peny

Pre experimenty bola vyrobená tvarová forma (obrázok 5), ktorá umožňuje súčasne produkciu 4 vzoriek. Každá vzorka má tvar kvádra s rozmermi: šírka 50 mm, dĺžka 100 mm, hrúbka je závislá od jednotlivých premenlivých skúmaných parametrov experimentu. Na ohrev je použitá muflova pec. Prázdna forma a závažia sú vložené do pece a ohriate na požadovanú teplotu. Následne je forma plnená drvenou PUR penou (obrázok 6), do každej časti formy sa vloží 25 g materiálu. Po naplnení formy sa materiál každej vzorky zaťaží presne stanoveným tlakom vyvolaným hmotnosťou závaží

(obrázok 7). Plnenie prebieha veľmi rýchlo a za podmienok, aby dochádzalo k veľmi malému ochladeniu formy a závaží. Naplnená a zaťažená forma sa opäť vloží do pece na presne stanovený čas ohrevu. Po vyprázdnení formy (obrázok 8) sa celý postup opakuje pri presne definovaných podmienkach experimentu.



Obrázok 5: Forma a závažia pre výrobu experimentálnych vzoriek



Obrázok 6: Plnenie formy materiálom



Obrázok 7: Zaťaženie vzoriek rôznym lisovacím tlakom



Obrázok 8: Vyberanie hotových vzoriek z formy

Cieľom experimentov je definovať optimálne rozsahy technologických parametrov suchého formovania pod tlakom a súčasne stanoviť okrajové hodnoty intervalov parametrov pri ich jednotlivých kombináciách. Interval lisovacích teplôt má uvažované kritické hranice vychádzajúce z teplôt stavovej premeny PUR. Uvažovanými variabilnými parametrami procesu teda sú:

- Lisovací tlak (2,0 kPa, 4,0 kPa, 6,0 kPa, 8,0 kPa),
- Teplota ohrevu (200 °C, 225 °C, 250 °C),
- Dĺžka ohrevu (10 min., 15 min., 20 min., 25 min., 30 min.).

Skúmané parametre sú vyhodnocované vzhľadom na kvalitatívne parametre vzoriek: hustota vzoriek, tvarová presnosť, stálosť a pevnosť v tlaku. Experimenty zahŕňajú 60 rôznych kombinácií technologických parametrov. Vzhľadom na korektné štatistické vyhodnotenie experimentu bolo vyrobených 10 vzoriek lisovaných tvarových prvkov pri každej kombinácii technologických parametrov (spolu 600 vzoriek).

Výsledky experimentov suchým formovaním PUR peny pod tlakom

Hustota recyklovaných produktov z PUR peny technológiou formovania pod tlakom je závislá od lisovacieho tlaku, teploty ohrevu a dĺžky ohrevu. Uvedené intervaly premenných technologických parametrov boli zvolené na základe analýzy vlastností formovaného materiálu a analýzy výsledkov publikovaných vedeckých prác. Z výsledkov experimentov vyplýva, že pri definovaných intervaloch premenných technologických parametrov má najväčší vplyv na nárast hustoty vzoriek veľkosť zaťažujúceho tlaku. Z absolútnych hodnôt vyplývajúcich z experimentov pri rovnakých intervaloch premenných (tabuľka 1) vyplýva, že práve teplota ohrevu má najmenší vplyv na zmenu hustoty vzoriek. Pri všetkých kombináciách premenných technologických parametrov boli vyrobené skúšobné vzorky dosahujúce rôznu kvalitu. Reprezentatívne vzorky z každého nastavenia experimentu sú uvedené na obrázku 9.



Obrázok 9: Skúšobné vzorky pri experimente suchého formovania pod tlakom

Tabuľka 1: Priemerné hodnoty hustoty vzoriek vyhotovených pri rôznych kombináciách technologických parametrov

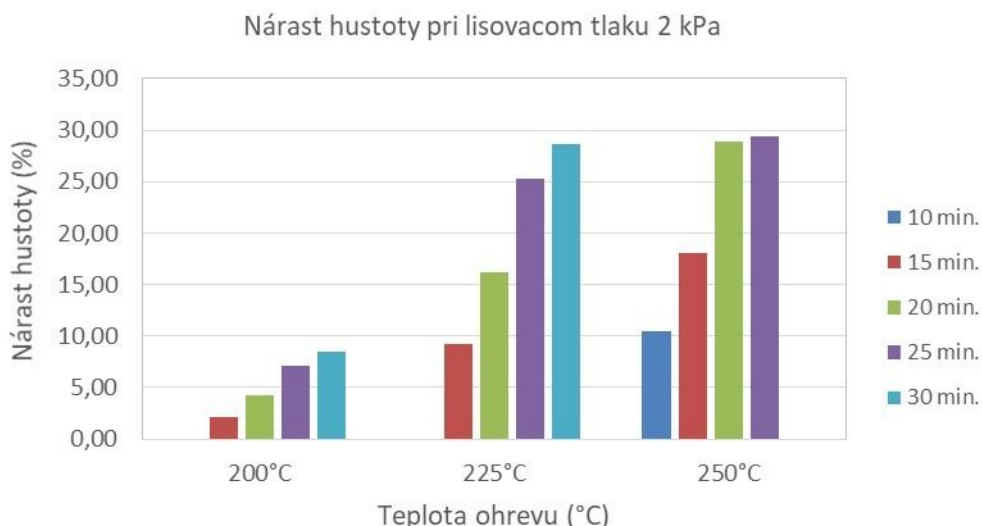
Teplota ohrevu 200 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	Nesúdržné, tvarovo nestále	102,10	104,30	107,11	108,49
4,00		131,00	138,93	142,85	147,82
6,00		148,43	157,85	160,65	163,09
8,00		158,31	166,40	171,24	173,98
Teplota ohrevu 225 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	Nesúdržné, tvarovo nestále	109,17	116,20	125,33	128,67
4,00		133,55	140,14	147,05	148,15
6,00		148,60	159,78	163,25	166,88
8,00		161,84	172,60	173,18	174,87

Teplota ohrevu 250 °C					
Doba ohrevu (min)	10	15	20	25	30
Lisovací tlak (kPa)	Hustota (kg.m ⁻³)				
2,00	110,4865	118,00	128,90	129,38	Degradácia materiálu, spekanie
4,00	136,2667	141,33	143,77	146,86	
6,00	151,4286	158,46	160,67	163,68	
8,00	165,60	168,00	174,36	175,83	

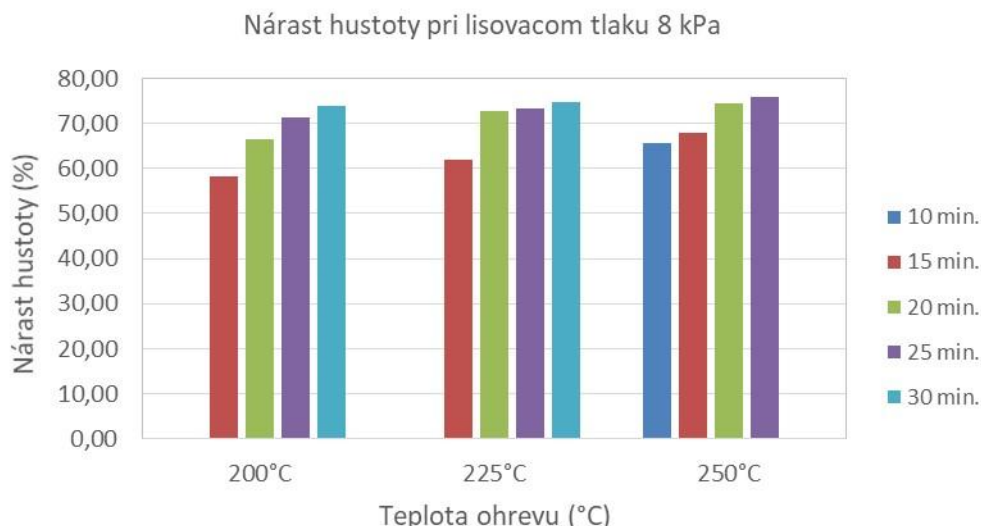
Z výsledkov uvedených v tabuľke 1 vyplýva, že zmena hustoty v závislosti od dĺžky ohrevu je pri jednotlivých teplotách takmer lineárna. Experimenty preukázali, že v skúmanom rozsahu teplôt má na súdržnosť a tvarovú stálosť vzorky zásadný vplyv doba ohrevu. Nakoľko formovaný materiál je tepelný izolant, požadovaná doba ohrevu umožňuje jeho objemové prehriatie a natavenie kontaktných miest medzi jednotlivými vložkami. Nevyhnutná doba ohrevu je závislá od teploty ohrevu. So zvyšujúcou sa teplotou sa minimálna potrebná doba na vytvorenie súdržnej a stabilnej vzorky skraca.

Z realizovaných experimentov tiež vyplynuli časové limity dĺžky ohrevu materiálu. Pri teplotách 200 °C a 225 °C nie je možné vyrobiť súdržnú a tvarovo stálu vzorku pri dobe výdrže kratšej ako 15 minút. Nedochádza k dostatočnému prehriatiu materiálu a jeho nataveniu. Vzorky neboli dostatočne súdržné a vykazovali výraznú tvarovú nestabilitu po vybratí z formy. Naopak, formovanie pri teplote 250 °C má svoj horný časový limit výdrže pri 25 minútach. Pri dlhšom ohreve došlo k degradácii formovaného materiálu a spekaniu. Vzorky vyrobené v uvedených limitoch vykazovali dobrú tvarovú presnosť a stálosť, líšili sa svojou hustotou.

Zaujímavým výsledkom výskumu je vplyv jednotlivých technologických parametrov na percentuálny nárast hustoty. Obrázok 10 uvádza výsledky formovania PUR peny pri najmenšom skúmanom lisovacom tlaku 2 kPa. Z výsledkov je zrejмый výrazný vplyv doby ohrevu ako aj teploty ohrevu. Naopak, z výsledkov formovania pri lisovacom tlaku 8 kPa uvedených na obrázku 11 už zmena teploty ohrevu vykazuje minimálny vplyv na zmenu hustoty vzoriek. Pri tejto hodnote lisovacieho tlaku má výraznejší vplyv na zmenu hustoty len doba ohrevu. Z týchto výsledkov je zřejмый, že pri praktických aplikáciách bude potrebné vykonať podrobnú energetickú analýzu, nakoľko teplota ako aj doba ohrevu výrazne ovplyvňujú ekonomiku a konkurencieschopnosť celej technológie.

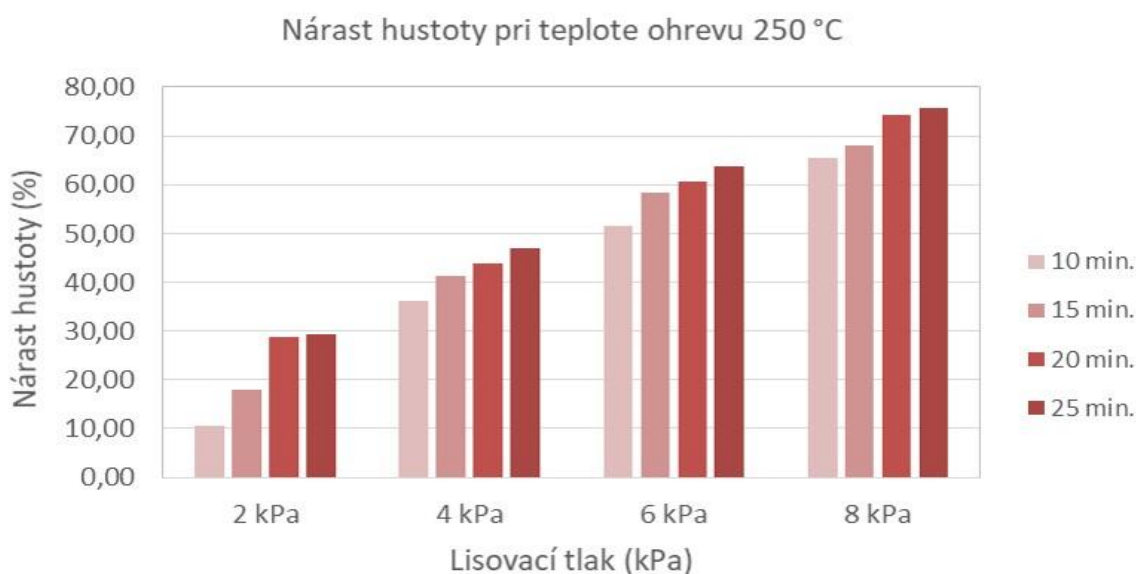


Obrázok 10: Vplyv zmeny hustoty od teploty a doby ohrevu pri lisovacom tlaku 2 kPa



Obrázok 11: Vplyv zmeny hustoty od teploty a doby ohrevu pri lisovacom tlaku 8 kPa

Výsledná hustota vzoriek predstavuje zásadný fyzikálny parameter, ktorý technologické parametre nelineárnym spôsobom ovplyvňujú. Štúdiu výsledkov nárastu hustoty od zmeny jednotlivých parametrov je potrebné venovať značnú pozornosť. Komplexnejší obraz o náraste hustoty vplyvom nárastu lisovacieho tlaku ako aj nárastu doby ohrevu pri teplote 250°C uvádza obrázok 12.

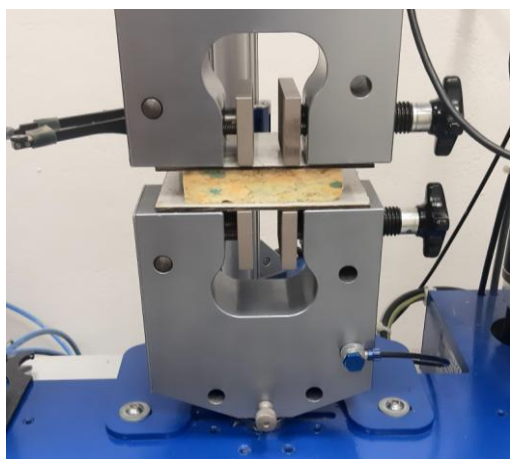


Obrázok 12: Vplyv zmeny hustoty od lisovacieho tlaku a doby ohrevu pri teplote ohrevu 250 °C

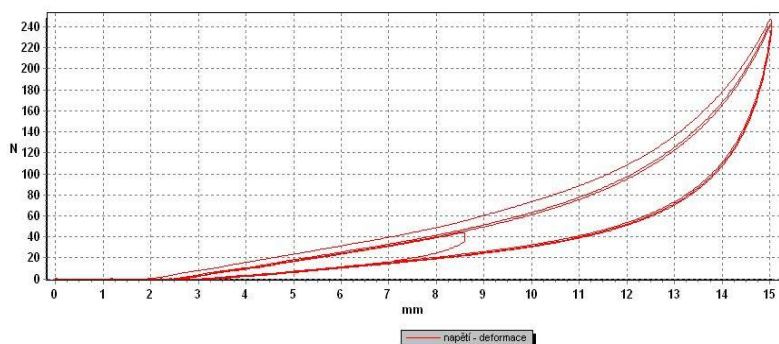
Ďalší vývoj výskumu

Treba pripomenúť, že išlo len o prvé overovacie skúšky experimentálnych vzoriek. Tieto skúšky budeme veľmi dôsledne analyzovať, verifikovať a podľa potreby opakovať. V súčasnosti prebiehajú skúšky vzoriek pevnosti v tlaku, ťahu, ohybu a stanovenie požadovanej hustoty pre tvarové výlisky. K sledovaným parametrom (teplota, tlak, výdrž) pravdepodobne pridanú ďalšie parametre ako je napríklad para. Konečné výsledky týchto skúšok budú využité pri definovaní požiadaviek a pri konštrukčnom návrhu experimentálneho zariadenia na výrobu tvarových skúšobných vzoriek.

V súčasnosti prebieha súbor rozsiahlych meraní odolnosti pri stlačení vzoriek PUR peny podľa normy ISO 3386-1. Metóda spočíva v umiestnení vzorky medzi dva ploché povrchy – statickú a pohyblivú dosku (obrázok 13). Vplyvom pohyblivej dosky dochádza k stláčaniu vzorky na príslušnú hodnotu jej hrúbky. V priebehu skúšky dochádza k meraniu zaťaženia vzorky v 4 cykloch. Prvé tri pri stlačení 70 % pôvodnej hrúbky vzorky, pri štvrtom cykle o 40 % hrúbky. V tomto bode je zaznamenaná hodnota lisovacej sily a z príslušných vzťahov je možné definovať hodnotu napätia v tlaku. Grafický priebeh skúšky vzorky formovanej PUR peny pri teplote 225 °C, lisovacou tlaku 2 kPa a dobe ohrevu 20 minút je uvedený na obrázku 14.



Obrázok 13: Meracie zariadenie na meranie odolnosti pri stlačení vzorky



Obrázok 14: Grafický výsledok cyklickej skúšky odolnosti pri stlačení vzorky

Záver

Záverom možno konštatovať, že navrhnutá a verifikovaná technológia materiálovej recyklácie odpadových PUR pien formovaním pod tlakom je za uplatnenia vhodných technologických podmienok vhodná na produkciu tvarových presných prvkov so širokým uplatnením nielen v automobilovom priemysle. Vynikajúce akustické, tlmiace a tepelnoizolačné vlastnosti tohto materiálu implementovaného do formy tvarových prvkov ho predurčujú na široké spektrum uplatnenia v praxi. Uvedený spôsob zhodnocovania odpadových polyuretánových penových materiálov nielen zo starých vozidiel má veľmi pozitívny ekonomický a environmentálny efekt

Pod'akovanie

Publikované výsledky vznikli s podporou projektu KEGA 030STU-4/2022 s názvom RORESA - Aplikácia rozšírenej reality vo vzdelávacom procese obrábacích strojov a výrobných systémov, podporeného ministrom školstva, vedy, výskumu a športu SR. Republikou a Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR na základe Zmluvy - Univerzitná a priemyselná výskumná a vzdelávacia platforma recyklačnej spoločnosti (UNIVNET).

Literatúra

1. U. Meekum, R. Kenharaj; Comarative studi of polystyrene foam degradation in the open-air and artificial weathering exposure; School of Polymer Engineering, School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology; Thailand
2. Liptáková, T., Alexy, P., Gondár, E., Khunová, V.: Polymérne konštrukčné materiály. 1. vyd. Žilina : EDIS, 2012. 190 s. ISBN 978-80-554-0505-6.
3. G.T. Howard, Biodegradation of polyurethane: a review, Int. Biodeterior. Biodegrad. 49 (2002) 245 – 252.
4. E. Weigand, Properties and applications of recycled polyurethanes, in: J. Branderup, M. Bittner, G. Menges, W. Micheali (Eds.), Recycling and Recovery of Plastics, Hanser Publishers, Munich, Germany, 1996, section 7.10.
5. J. Scheirs, Polymer Recycling, John Wiley & Sons, Chichester, 1998, chapter 10.
6. K.C. Frisch, Advances in Plastic Recycling vol. 1, ISBN 1-56676-737-1-Technomic Publishing, 1999.
7. J. Troitsch, International Plastics Flammability Handbook, Hanser Publishers, Munich, 1990.
8. J. DeGaspari, Mechanical Engineering Magazine (ASME) June 1999.
9. Alliance for the Polyurethanes Industry. <<http://www.polyurethane.org/recycling>>.
10. New Forecasts for Polypropylene, Polystyrene and Polyurethane, Gobi International, May 20, 2002.
11. Huntsman Polyurethanes. <<http://polyurethanes.huntsman.com>>.
12. K. M. Zia, H. N. Bhatti, U. A. Bhatti; Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review; Reactive & Functional Polymers 67 (2007) 675 – 692.
13. Stone, H., Villwock, R., Martel, B. "Recent technical advances in recycling of scrap polyurethane foam as finely ground powder in flexible foam" Mobius Technologies, presented at Polyurethanes Conference 2000, 7 p.
14. A.J. Hulme, T.C. Goodhead, J. Mater. Proc. Technol. 139 (2003) 322 – 326.
15. S. Held, D.A. Hicks, M. Hart, Proceedings of R'99 Recovery Recycling Re-integration, Geneva (Switzerland) February IV. (1999) 92–97. www.wasteforum.cz.

Development of a new technology for the recovery of waste slurry into new products

Ľubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ, Marcela POKUSOVÁ, Jozef BÁBICS, Stanislav ŽIARAN, Ondrej CHLEBO

Institute of Production Engineering and Quality, Faculty of Mechanical Engineering Slovak University of Technology in Bratislava, Slovakia

Summary

During the recovery of waste from old vehicles, various waste streams are created. Most waste can be recovered with more or less success. Among those problematic wastes is plasticine. It has a large volume, low weight, and currently there is no high-efficiency technology for the recovery of this waste and the production of new products. The aim of the presented contribution is the analysis of the state of processing, research, development, design and testing of test samples as a basis for the production of a stand for the production of new 3D products made from foam waste. In the introductory part, the contribution contains an analysis of the amount of plastic waste generated in the automotive industry. It describes the current state of management of the mentioned waste, the possibilities of its use in the production of new products. The core of the contribution is the selection of suitable technology, production and verification experimental measurement and evaluation of the produced test samples at different temperatures, pressures and length of endurance.

Keywords: foam, processing, recycling