

Povrchová modifikácia bentonitu (3-aminopropyl)triethoxysilánom a jeho vplyv na reologické vlastnosti v polymérnej matici

Surface Modification of Bentonite using (3-aminopropyl) triethoxysilane and its Influence on the Rheological Properties in the Polymer Matrix

Ing. Zuzana Mičicová, PhD.; Ing. Slavomíra Božeková, PhD.; prof. RNDr. Mariana Pajtášová, PhD.;
prof. Ing. Darina Ondrušová, PhD.

Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Fakulta priemyselných technológií v Púchove, I. Krasku
491/30, 020 01 Púchov, Slovenská republika

Článok sa zaoberá prípravou povrchovo modifikovaného bentonitu (3-aminopropyl)triethoxysilánom a jeho následnou aplikáciou do polymérnej matrice. Prírodný bentonit sa najskôr vysušil na konštantnú hmotnosť a následne sa modifikoval pomocou (3-aminopropyl)triethoxysilánu v dvoch rôznych roztokoch. Obidva roztoky mali rovnaké zloženie (etanol, voda a silán), len v jednom roztoku sa upravovalo pH. Pripravili sa dva modifikované bentonity, u ktorých boli charakterizované spektrálne vlastnosti. Pripravené modifikované bentonity boli následne aplikované do polymérnej matrice, kde sa hodnotili reologické vlastnosti a vulkanizačné charakteristiky (minimálny krútiaci moment, maximálny krútiaci moment, bezpečnosť zmesí, optimálna doba vulkanizácie) a taktiež vplyv silanizácie plniva v polymérnej matici. Pripravilo sa 5 gumárenských zmesí, z toho jedna gumárenská zmes bola bez obsahu plniva, druhá gumárenská zmes obsahovala štandardne používané plnivo, konkrétne sadze N339. V troch ďalších zmesiach boli sadze čiastočne nahradené plnivom na báze prírodného bentonitu a povrchovo modifikovaných bentonitov.

Kľúčové slová: bentonit; modifikácia; vulkanizačné charakteristiky; plnivá; silanizácia

Recently, surface modification of clay minerals became increasingly important for improving the practical applications of clays and clay minerals. This paper deals with preparation of a surface modification of bentonite using (3-aminopropyl) triethoxysilane. Natural bentonite was modified with (3-aminopropyl) triethoxysilane in two different solutions. These two solutions had the same composition (ethanol, water and (3-aminopropyl) tetraethoxysilane) but in one solution, there was a treatment of pH. These modified bentonites were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy. The IR spectrum of bentonite modified with (3-aminopropyl) triethoxysilane showed the absorption bands at $3\,278 - 3\,284\text{ cm}^{-1}$ due to stretching vibrations of NH_2 group, and bands at $2\,928 - 2\,930\text{ cm}^{-1}$ due to asymmetric stretching vibrations of CH_2 group, as well as bands at $1\,137\text{ cm}^{-1}$ due to stretching vibrations of C-O group, indicating the presence of the organic component (silane). The study was based on a modification of bentonite, which was used as partial replacement of the high reinforcing filler – carbon black of the N339 type. The polymeric compounds with the modified bentonites were used as a partial carbon black replacement and they were investigated from the viewpoint of rheological properties and vulcanization characteristics (minimum torque M_L , maximum torque M_H , optimum time of vulcanization $t_{(90)}$, processing safety for compound t_s). The compounds containing fillers based on modified bentonite show the decrease of minimum and maximum torque. The decrease of these values indicates lower stiffness, as well as lower viscosity of the prepared compounds at the beginning and the end of vulcanization. Moreover, in the prepared polymer compounds containing fillers based on modified bentonites, the quality of the silanization reaction was investigated. The determination of the quality of the silanization reaction shows that there is the lowest value of the elastic modulus – G' (1 %) and thus there is the highest efficiency of the silanization reaction in relation to the compound containing the filler based on the modified bentonite (SA-pH) and it leads to the conclusion that the filler is well dispersed in the polymer matrix.

Key words: bentonite; modification; vulcanization characteristics; fillers; thiazoles; silanization

Povrchová modifikácia má vplyv na zlepšenie disperzných vlastností a zvýšenie povrchovej aktivity plniva. Väčšina častíc plniva je anorganických a ich povrch má zlú kompatibilitu s polymérmi. To môže viesť k problémom so spracovaním, ktoré môžu nastať napr. vplyvom

vysokiej viskozity, zlej dispergácie, zhoršených mechanických vlastností a pod. Modifikované plnivo zlepšuje schopnosť kompatibility s kaučukom a znižuje viskozitu zmesi. Tento fakt môže viesť k úsporám energie alebo k zvýšeniu výrobnnej kapacity [1].

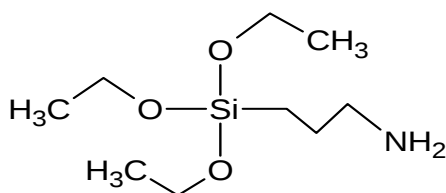
Pre dosiahnutie pozitívneho efektu povrchovej úpravy je potrebný výber vhodného modifikátora (väzobné činidlá, povrchovo aktívne látky atď.) použitého na úpravu, a to vzhľadom na dané plnivo a matricu. Medzi veľmi často používané povrchové modifikátory patria organosilány [2, 3].

Ílové biele plnivé, na rozdiel od sadzí, majú nižšiu kompatibilitu s kaučukovou matricou. Z tohto dôvodu sa používajú silán-väzbové činidlá pre lepšiu interakciu ílového plniva s reťazcami kaučuku [4, 5].

Experiment

Príprava modifikovaného bentonitu

Na prípravu modifikovaného bentonitu bol ako základ použitý bentonit P140 z ložiska Lieskovec pri Zvolenskej Slatine. Chemické zloženie bentonitu v hmotnostných percentách: SiO₂ 59 %, Al₂O₃ 20 %, Fe₂O₃ 2 %, FeO 0,3 %, TiO₂ 0,2 %, CaO 2,2 %, MgO 4 %, K₂O 0,7 %, Na₂O 0,4 %; pH 7; obsah montmorillonitu 80 %. Vzorka bentonitu P140 bola vysušená v sušiarňi pri teplote 80 °C na konštantnú hmotnosť. K modifikácii povrchu bentonitu P140 bol vybraný nasledujúci typ silánu: (3-aminopropyl)triethoxysilán (APTES).



Obr. 1 Štruktúra (3-aminopropyl)triethoxysilánu
Fig. 1 Structure of (3-aminopropyl) triethoxysilane

Modifikácia bola uskutočnená v dvoch rôznych roztokoch. Prvý roztok pozostával z etanolu, vody (v pomere 70:30) a silánu (100 hmotnostných dielov plniva k 3 hmotnostným dielom modifikačného činidla). Druhý roztok mal rovnaké zloženie, ale jeho pH bolo upravené roztokom kyseliny octovej. Pripravené roztoky boli najskôr miešané pomocou magnetického miešadla NAHITA NO 690/1. Následne bola do oboch roztokov pridaná vzorka bentonitu P140 a obidve zmesi boli za stáleho miešania pri otáčkach 450 min⁻¹ zahrievané pri teplote 60 °C po dobu 2 hodín. Vzniknuté suspenzie sa prefiltrovali za zníženého tlaku a pripravené vzorky sa vysušili v sušiarňi pri teplote 80 °C, následne sa podrútili v mažiari a presitovali cez sito s veľkosťou oka 25 µm.

Infračervená spektroskopia

Infračervené spektrá sa merali na prístroji FTIR TENSOR 27, v KBr tabletách, v strednej infračervenej oblasti 4 000 – 400 cm⁻¹.

Príprava gumárenských zmesí

Gumárenské zmesi boli pripravované dvojstupňovým miešaním laboratórnym mixérom BRABENDER PLASTOGRAF s objemom komory 80 cm³. Prvý stupeň prebiehal pri teplote 140 °C a frekvencii otáčok 50 min⁻¹, kedy sa pridávali prísady (kaučuky, aktivátory, plnivá, antioxidanty, antiozonanty a zmäkčovadla), po dobu 12 min. Druhý stupeň prebiehal pri teplote 110 °C a frekvencii otáčok 50 min⁻¹ pridaním vulkanizačného systému (síra, urýchľovače) po dobu 6 min. Po prvom a druhom stupni sa výsledné zmesi homogenizovali na laboratórnom dvojvalci. Pripravilo sa päť gumárenských zmesí. Označenie pripravených gumárenských zmesí je uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Označenie a pomer použitých plnív v študovaných gumárenských zmesiach

Tab. 1 Specification and ratio of fillers in investigated rubber compounds

Označenie zmesi	Použitá plnivo	Podiel plnív
R	-	-
S	sadze	1
SP	sadze + bentonit	3:1
SA	sadze + vzorka A	3:1
SA-pH	sadze + vzorka A-pH	3:1

Reologické vlastnosti a vulkanizačné charakteristiky

Reologické vlastnosti a vulkanizačné charakteristiky pripravených gumárenských zmesí sa merali na prístroji PRPA 2000 pri teplote 160 °C po dobu 30 min.

Kvalita silanizačnej reakcie

Kvalita silanizačnej reakcie bola meraná na prístroji PRPA 2000 pri konštantnej teplote, frekvencii a pri deformácii v rozsahu (1 – 450) %.

Výsledky a diskusia

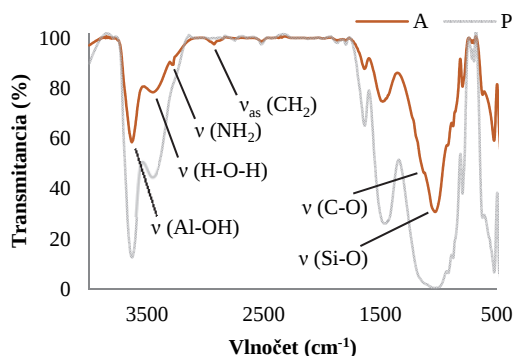
IČ spektroskopia modifikovaného bentonitu

Na charakterizáciu a identifikáciu zmien nachádzajúcich pri modifikácii bentonitu modifikačným činidlom (3-aminopropyl)triethoxysilánom sa použila infračervená spektroskopia. IČ spektroskopia bola meraná v strednej IČ oblasti v rozsahu vlnôčov 4 000 – 400 cm⁻¹. V tab. 2 sú zhrnuté vybrané vibrácie príslušných modifikovaných ílových materiálov (A a A-pH) a nemodifikovaného ílového materiálu P. Infračervené spektrá modifikovaných bentonitov a nemodifikovaného bentonitu sú uvedené na obr. 2 a 3.

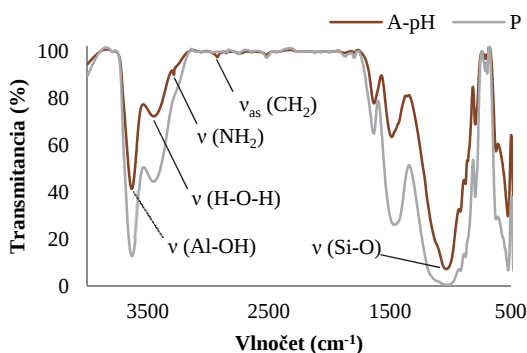
Tab. 2 Vybrané valenčné vibrácie (cm^{-1}) modifikovaného bentonitu
Tab. 2 Selected stretching vibrations (cm^{-1}) of the modified bentonite

Typ vibrácie	P	A	A-pH
ν (Al-OH)	3 627	3 629	3 631
ν (H-O-H)	3 454	3 455	3 452
ν (NH_2)	-	3 278	3 284
ν_{as} (CH_2)	-	2 928	2 930
ν (C-O)	-	1 137	-
ν (Si-O)	1 056	1 054	1 048

Pri identifikácii modifikovaných ílových materiálov (A, A-pH) sa preukázali absorpčné pásy v rozsahu vlnočtov 3 629 – 3 631 cm^{-1} prislúchajúce valenčným vibráciám Al-OH skupín, absorpčné pásy v rozsahu vlnočtov 3 452 – 3 455 cm^{-1} prislúchajúce valenčným vibráciám H-O-H skupín adsorbovanej H_2O a absorpčné pásy v rozsahu vlnočtov 1 054 – 1 048 cm^{-1} prislúchajúce valenčným vibráciám Si-O skupín. Tvar a intenzita pásov sa menila v porovnaní s nemodifikovaným ílovým materiálom P, tieto zmeny sú pravdepodobne spôsobené vplyvom štruktúrnych zmien vznikajúcich v dôsledku modifikácie ílových materiálov.



Obr. 2 IČ spektrá vzorky A a P
Fig. 2 IR spectra of the samples A and P



Obr. 3 IČ spektrá vzorky A-pH a P
Fig. 3 IR spectra of the samples A-pH and P

Na IČ spektrách pri modifikovaných ílových materiálov (A a A-pH) možno sledovať absorpčné pásy pri vlnočte 3 226 – 3 278 cm^{-1} prislúchajúce valenčným vibráciám

NH_2 skupín [6, 7]. Hisao a kol. vo svojej práci [8] uvádzajú, že absorpčný pás pri vlnočte 3 300 cm^{-1} prislúcha valenčným vibráciám NH_2 skupín. Prítomnosť absorpčného pásu v rozsahu vlnočtov 2 928 – 2 930 cm^{-1} prislúcha valenčným asymetrickým vibráciám CH_2 skupín, čo potvrdzuje Phothitontimongkol a kol. vo svojej štúdií [9]. Kidsaneepoiboon a kol. charakterizovali valenčné vibrácie C-O skupiny nachádzajúce sa pri vlnočte 1 150 cm^{-1} , čo korešponduje s nameraným IČ spektrom modifikovaného ílového materiálu A, kde bol sledovaný absorpčný pás pri vlnočte 1 137 cm^{-1} prislúchajúci valenčným vibráciám C-O skupiny [10]. U modifikovaného ílového materiálu A-pH bol tento absorpčný pás ťažko identifikovateľný, nakoľko sa prekrýva s valenčnými vibráciami skupín typické pre smektity [11, 12].

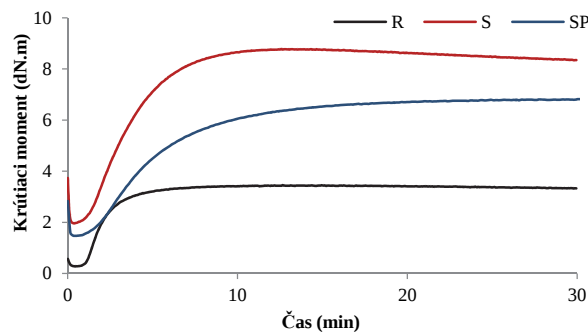
Reologické vlastnosti a vulkanizačné charakteristiky gumárenských zmesí

Na prístroji PRPA 200 pri teplote 160 $^{\circ}\text{C}$ a frekvencii 1,67 Hz, pri nízkej deformácii boli merané vybrané parametre vulkanizačných charakteristík. V tab. 3 sú uvedené výsledky vybraných parametrov vulkanizačných charakteristík (maximálny krútiaci moment M_H , minimálny krútiaci moment M_L , bezpečnosť zmesi t_s , optimálna doba vulkanizácie $t_{c(90)}$) pripravených gumárenských zmesí. Priebeh vulkanizačných kriviek pre pripravené gumárenské zmesi je graficky znázornený na obr. 4 a 5. Takmer všetky vulkanizačné krivky vykazovali *plató*, kedy sa krútiaci moment po dosiahnutí optima nemení.

Tab. 3 Reologické a vulkanizačné charakteristiky gumárenských zmesí

Tab. 3 Rheological and vulcanization characteristics of rubber compounds

Označenie zmesi	M_L	M_H	t_s	$t_{c(90)}$
	(dN·m)		(min)	
S	1,69	8,78	2,30	6,95
R	0,28	3,45	2,29	4,42
SP	1,47	6,88	3,55	12,43
SA	1,40	6,57	3,80	11,70
SA-pH	1,39	5,56	5,57	14,55

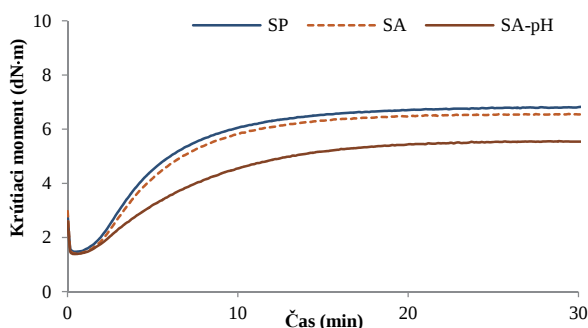


Obr. 4 Vulkanizačné záznamy zmesí R, S a SP
Fig. 4 Vulcanization records of R, S and SP compounds

Z vulkanizačného záznamu zmesí R, S a SP (obr. 4), vyplýva, že najvyššiu hodnotu minimálneho krútiaceho momentu M_L a maximálneho momentu M_H mala zmes S, čo svedčí o vyššej tuhosti vzorky na začiatku a na konci vulkanizácie. Opačný trend bol sledovaný u zmesi R, kde hodnota M_L bola najnižšia, čo svedčí o tom, že zmes neobsahovala plnivo.

Spracovateľská bezpečnosť t_s u gumárenských zmesí R a S je porovnateľná. Vyššiu hodnotu t_s vykazovala gumárenská zmes SP, z čoho možno predpokladať, že vplyv plniva má pozitívny vplyv na spracovateľské vlastnosti zmesí.

Z výsledkov optimálnej doby vulkanizácie $t_{c(90)}$ vyplýva, že zmes SP s obsahom nemodifikovaného materiálu P dosiahla najvyššiu hodnotu $t_{c(90)}$ v porovnaní so zmesou S a R.



Obr. 5 Vulkanizačné záznamy zmesí SP, SA a SA + pH
Fig. 5 Vulcanization records of SP, SA and SA + pH compounds

Výsledné hodnoty minimálneho a maximálneho krútiaceho momentu (obr. 5) vykazovali nižšie hodnoty u zmesi SA a SA-pH, čo môže súvisieť s nižšou tuhosťou a viskozitou na začiatku a na konci vulkanizácie.

Hodnoty spracovateľskej bezpečnosti t_s u gumárenských zmesí SA a SA-pH sú vyššie v porovnaní s hodnotou t_s zmesi SP, z čoho možno predpokladať, že obsah plnív v gumárenských zmesiach má pozitívny vplyv na spracovateľskú bezpečnosť a to môže vplývať na spracovateľské vlastnosti zmesí.

Z výsledkov optimálnej doby vulkanizácie $t_{c(90)}$ vyplýva, že zmes SA vykazovala zníženie $t_{c(90)}$ v porovnaní s gumárenskou zmesou SP, čo môže mať priaznivý vplyv na zníženie celkovej doby vulkanizácie. Opačný trend sledujeme v zmesi SA-pH, kde hodnota $t_{c(90)}$ bola vyššia v porovnaní s gumárenskou zmesou SP.

Kvalita silanizačnej reakcie

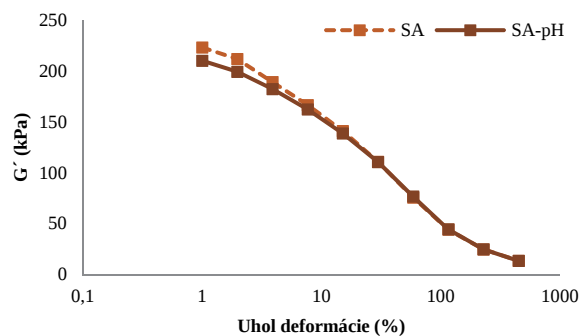
Na prístroji PRPA 2000 pri konštantnej teplote, frekvencii a pri deformácii v rozsahu (1 – 450) % bola meraná kvalita silanizačných reakcií. Pri tejto skúške sa zaznamenávala veľkosť elastického modulu a veľkosť krútiaceho modulu (súdržnosť polymérnej siete). Čím nižšia je interakcia plnivo-plnivo, tým je lepšia disperzia použitého plniva. Z toho vyplýva vyššia účinnosť silanizačnej reakcie. Hodnota krútiaceho momentu S' pri vysokých uhloch deformácie poukazuje na to, či vplyv

vom zvýšenej teploty pri silanizačných reakcií nedochádzalo k nežiaducemu navulkanizovaniu zmesi. Hodnota krútiaceho modulu by mala byť čo najnižšia. V opačnom prípade by dochádzalo k nárastu degradácie silánu [13]. Výsledky meraní kvality silanizačnej reakcie sú uvedené v tab. 4 a grafický znázornené na obr. 6.

Z nameraných výsledkov najnižšiu hodnotu elastického modulu G' (1 %), a tým aj najvyššiu účinnosť silanizačnej reakcie vykazovala zmes SA-pH, z čoho vyplýva, že plnivo je dobre rozptýlené v polymérnej matici. Hodnoty krútiaceho momentu S' (450 %) boli porovnateľné u oboch zmesí.

Tab. 4 Hodnoty G' a S' pre stanovenie kvality silanizačnej reakcie
Tab. 4 Values of G' and S' for determination of the silanization reaction quality

Zmes	G' (1 %)	S' (450 %)
SA	223,33	11,12
SA-pH	210,26	11,02



Obr. 6 Závislosť G' od deformácii u zmesí SA a SA-pH
Fig. 6 The dependence of G' on deformation for SA and SA-pH compounds

Záver

Práca sa zaoberá prípravou povrchovo modifikovaného bentonitu (3-aminopropyl)triethoxysilánom a jeho následnou aplikáciou do polymérnej matrice. Z experimentálnych výsledkov vyplýva, že na IČ spektrách sa pri identifikácii modifikovaných ílových materiálov silánom (3-aminopropyl)triethoxysilán preukázali absorpčné pásy prislúchajúcich NH_2 skupín v rozsahu vlnových 3 226 – 3 278 cm^{-1} .

Zistené reologické a vulkanizačné charakteristiky ukazujú, že výsledné hodnoty minimálneho a maximálneho krútiaceho momentu vykazovali nižšie hodnoty u zmesi s obsahom plnív na báze modifikovaných bentonitov, čo môže súvisieť s nižšou viskozitou na začiatku a na konci vulkanizácie.

Zo stanovenia kvality silanizačnej reakcie vyplýva, že najnižšiu hodnotu elastického modulu G' (1 %), a tým aj najvyššiu účinnosť silanizačnej reakcie vykazovala zmes SA-pH, čo znamená, že plnivo je dobre rozptýlené v polymérnej matici.

Pod'akovanie

Autori ďakujú Slovenskej grantovej agentúre za finančnú podporu projektov KEGA 006TnUAD-4/2014, VEGA 1/0385/14 a projektu „Centrum pre testovanie kvality a diagnostiku materiálov“, ITMS kód 26210120046 Operačného programu Výskum a vývoj financovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- [1] DJOMGOUE, P., NJOPWOUO, D. FT-IR Spectroscopy Applied for Surface Clays Characterization. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 3 (2013) 4, 275–282.
- [2] MOTAWIE, A.M. et al. Physico-chemical characteristics of nano-organo bentonite prepared using different organo-modifiers. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23 (2014) 3, 331–338.
- [3] KIM, D.S. et al. Study on the Effect of Silanization and Improvement in the Tensile Behavior of Graphene-Chitosan-Composite. *Polymers*, 7 (2015) 3, 527–551.
- [4] KHAJE, S., JAMSHIDI M. The Effect of Aging and Silanization on the Mechanical Properties of Fumed Silica-based Dental Composite. *Journal of Dental Biomaterials*, 2 (2015) 4, 124–132.
- [5] KHOSHNIYAT, A. et al. Effect of surface modification of bentonite nanoclay with polymers on its stability in an electrolyte solution. *Polymer Science Series B*, 54 (2012) 1, 61–72.
- [6] BERTUOLI, P.T. et al. Preparation and characterization of montmorillonite modified with 3-aminopropyltriethoxysilane. *Applied Clay Science*, 87 (2014), 46–51.
- [7] ROMANZINI, D. et al. Sodium montmorillonite modified with methacryloxy and vinylsilanes: Influence of silylation on the morphology of clay/unsaturated polyester nanocomposites. *Applied Clay Science*, 114 (2015), 550–557.
- [8] HIASO, V.K.S. et al. Aminopropyltriethoxysilane (APTES)-functionalized nanoporous polymeric gratings: fabrication and application in biosensing. *Journal of Chemistry*, 17 (2007) 46, 4896–4901.
- [9] PHOTHITONTIMONGKOL, T. et al. Preparation and characterization of novel organo-clay minerals for Hg(II) ions adsorption from aqueous solution. *Applied Clay Science*, 43 (2009) 3–4, 343–349.
- [10] KIDSANEEPOIBOON, P. et al. Organic-inorganic hybrid polysilsesquioxane nanospheres as UVA/UVB absorber and fragrance carrier. *Journal of Materials Chemistry*, 21 (2011) 22, 7922–7930.
- [11] SHEN, W. et al. Preparation and characterization of 3-aminopropyltriethoxysilane grafted montmorillonite and acid-activated montmorillonite. *Chinese Science Bulletin*, 54 (2009) 2, 265–271.
- [12] SU, L. et al. Silylation of montmorillonite surfaces: Dependence on solvent nature. *Journal of Colloid and Interface Science*, 391 (2013), 16–20.
- [13] WILCZYNSKI, O.: Vlivy odporu pneumatiky vs. Životní prostředí. *Plasty a kaučuk*, 46 (2009) 3–4, 68–73.

Radarová měření zvyšují hospodárnost

Stahl und Eisen

12.08.2016

Jedinečné vyhodnocovací algoritmy, zvýšená spolehlivost naměřených hodnot – Salzgitter Flachstahl sází z dobrých důvodů na výhody radarové technologie. S novou generací volně vyzařujících radarových měřicích přístrojů od firmy Endress+Hauser k monitorování stavu naplnění dosahuje podnik při výrobě oceli vysoké míry jistoty a hospodárnosti. Salzgitter Flachstahl GmbH (SZFG) je největší ocel vyrábějící dceřinou společností v koncernu Salzgitter. 5700 zaměstnanců vyrobilo v roce 2014 zhruba 4,7 mil. tun surové oceli a dosáhlo obrátu 2,6 mld. €.

Sigmar Gabriel: Zachránce privilegií

VDI Nachrichten

19.08.2016

Ze tří největších problémů ocelářského průmyslu – importů z Číny, obchodu s certifikáty a poplatky na obnovitelné zdroje energií – se nyní staly jen dva. Poplatek na financování podpory využívání obnovitelných zdrojů nebudou podniky muset platit. Průmysl by za to měl poděkovat spolkovému ministru hospodářství Sigmaru Gabrielovi, kterému se podařilo v Bruselu vybojovat zrušení poplatků za vlastní výrobu proudu. Ministr prohlásil: „Jsem rád, že jsme toho po dvou letech tvrdých jednání mohli dosáhnout“. Němečtí oceláři mají dvojité důvody k radosti, jednak ušetří spoustu peněz a dále je to znamením, že toto tradiční odvětví se může v krizových letech spolehnout na mocné příznivce.

Vysoká pec bude modernizovaná v rekordním čase

www.saarbrueckenzeitung.de

24.08.2016

Investice za 150 mil. € jen 90 dnů na dokončení, 100 podílejících se firem, 700 dělníků na stavbě- rekonstrukce vysoké pece č. 4 v Dillinger Hütte je technologický výkon, který vyžaduje opravdu nadměrnou sílu. Do 30. 9. musí být vše hotové. Tato vysoká pec je podle převládajícího mínění to nejmodernější, co se dnes dá najít na trhu a měla by zajistit výrobu alespoň pro příštích 10 až 15 let. Rekordních hodnot dosahují i použité stavební materiály: 500 tun ocelových konstrukcí jen pro pomocné konstrukce při montáži, 120 km kabelů, jakož i konstrukční díly, dosahující hmotnosti 110 tun.