

Osnovni tipovi i uporabna svojstva pjenećeg polistirena *Okirol*

ISSN 0351-1871

UDK 678.01:678.746.2

Stručni rad / Professional paper

Primljeno / Received: 9. 4. 2008.

Prihvaćeno / Accepted: 7. 7. 2008.

Sažetak

Tvrtka DIOKI d.d. proizvodi pjeneći polistiren pod trgovačkim nazivom Okirol. Proizvode se dva osnovna tipa, normalni tip Okirol E i samogasivi Okirol EF. U osnovi navedeni tipovi Okirola E/EF smjesa su (kristalnog) polistirena i pjenila, u kojem je pjenilo ravnomjerno dispergirano u preostalom praznom prostoru između polimernih lanaca. Prema granulometrijskom sastavu postoje četiri osnovne frakcije veličine zrnja Okirola E/EF. Ovisno o osnovnom tipu, frakciji, temperaturi i tlaku te vremenu zadržavanja u predekspanderu, tijekom prerade postižu se različite nasipne gustoće. Na temelju podjele prema svojstvima gorivosti i nasipnim gustoćama definiraju se uporabna svojstva za pojedine tipove Okirola E/EF. Proizvodi od Okirola E/EF zbog male volumne mase imaju dobra mehanička, toplinska i izolacijska svojstva. Dobra uporabna svojstva zadržava pri različitim temperaturama. Proizvodi su postojani na vodu te većinu kemikalija, a nepostojani na organska otapala. Proizvodi su ekološki prihvatljivi i nisu opasni za zdravlje ljudi.

KLJUČNE RIJEČI:

pjeneći polistiren
prerada
uporaba otpjenaka

KEY WORDS:

expandable polystyrene
processing
application of foamed polystyrene products

Basic grades and properties of *Okirol* expandable polystyrene

Summary

Okirol is a trade name for expandable polystyrene produced by DIOKI d.d. Two basic grades of this PS-E are produced: (1) Okirol E, a general purpose grade; and (2) Okirol EF, a flame-retardant grade. Basically, these PS-E grades are blends of crystal polystyrene and blowing agents, in which blowing agents are uniquely dispersed in the remaining empty spaces between polymer chains. According to bead size distribution, Okirol E/EF grades are available in four basic bead sizes. In processing, various bulk densities can be achieved depending on the basic grade, bead size, temperature and pressure, and the length of time the beads remain in the pre-expander. Usability properties of particular Okirol E/EF grades and thus possible applications are determined based on their flammability properties and bulk densities. Owing to their low bulk density, products made from Okirol E/EF exhibit good mechanical, thermal and insulation

properties that are all retained at different temperatures. Okirol E/EF products are resistant to water and to most chemicals, and non-resistant to organic solvents. Products are environmentally acceptable and do not pose a hazard to human health.

Uvod / Introduction

Opisat će se dva osnovna tipa pjenećeg polistirena pod trgovačkim nazivom *Okirol* koji proizvodi *DIOKI d.d.*, normalni tip *Okirol E* i samogasivi *Okirol EF*. U radu će detaljnije biti opisan *Okirol E/EF*, koji se najviše rabi u građevinarstvu kao izolacijski materijal te za izradu ambalaže. Navest će se mehanička, toplinska i izolacijska svojstva tih materijala koji su ekološki prihvatljivi i nisu opasni za zdravlje ljudi.

Osnovni tipovi pjenećeg polistirena *Okirol* / Basic grades of *Okirol* expandable polystyrene

Prema granulometrijskom sastavu *Okirol E/EF* proizvodi se u četiri osnovne frakcije veličine zrnja, koje se označavaju brojevima od 3 (najveće zrnje) do 6 (najsitnije zrnje). Osnovna svojstva zrnja navedena su u tablici 1.

Smanjenje gorivosti osnovni je preduvjet širokoj primjeni pjenastog polistirena, posebno u građevinarstvu, što se zahtijeva sve preciznijim zakonskim propisima. Kako bi se to postiglo, gorivost pjenastog polistirena smanjuje se ugradnjom usporivača gorenja. *Okirol EF*, samogasivi tip, sadržava dodatak na bazi cikličkog spoja broma (heksabromociklododekan), iz kojega se na povišenim temperaturama razvija bromovodik. Bromovodik reagira s vrlo reaktivnim hidroksilnim i vodikovim radikalima u plinskoj fazi i na taj način inhibira reakciju propagacije gorenja.

TABLICA 1 - Osnovni tipovi i svojstva pjenećeg polistirena *Okirol E/EF*

TABLE 1 - Basic grades and properties of *Okirol* expandable polystyrene

Svojstvo / Property	OKIROL			
	E3/E3F	E4/E4F	E5/E5F	E6/E6F
Veličina zrnja, Bead size, mm	1,5 - 2,2	1,0 - 1,5	0,7 - 1,0	0,5 - 0,7
Sredstvo za pjenjenje, maseni udio / Foaming agent, mass content, %	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0
Minimalna gustoća upjenjenog zrna Minimal density of expanded beads, kg/m ³	13	14	16	20
Raspon gustoće otpjenka, / Density range of foamed polystyrene products, kg/m ³	14 - 18	15 - 20	17 - 25	20 - 30

U tvrtki se kao pjenilo rabi smjesa n-pentana i izo-pentana. Pentan (n-pentan, vrelišta 36 °C) veoma lako prodire u polimer i nalazi se u šupljinama u polistirenskoj strukturi. ApSORBIRA se pri staklištu polistirena. Slobodni volumen u polistirenu pri staklištu iznosi 13 – 17 %, što odgovara udjelu pentana od 6,5 – 8,5 %. Optimalna količina pentana u visokomolekulnom polistirenu iznosi 6,3 – 7,5 mas %. Višak pentana prodire između polistirenskih lanaca i pri tome može doći do razaranja ćelijaste strukture te do pada pjenaste strukture (smežuravanja) i raslojavanja. Manjak pentana u polistirenu onemogućuje kvalitetnu ekspanziju, dolazi do pojave tzv. tvrdih jezgara, a povisuje se prividna gustoća pjenastog polistirena.¹

Izo-pentan (vrelište 28 °C) dulje ostaje u polistirenu od n-pentana, što je posljedica njegove razgranate strukture, iako ima niže vrelište. Omjer izo-pentana i n-pentana u *Okirolu E/EF* je otprilike 20:80. N-pentan osigurava potreban gradijent brzine ekspanzije te kraće cikluse kondicioniranja i kraće cikluse praoblikovanja, dok izo-pentan produljuje uporabno vrijeme zrnja PS-E-a i osigurava populaciju sitnijih ćelija polistirenskoj pjeni.²

Način i temperatura skladištenja vrlo su važni u skladištenju *Okirola E/EF*. *Okirol E/EF* pakira se u osmerokutne kartonske kontejnere s umetkom višeslojne vreće. Višeslojna vreća sastoji se od dva sloja polietilena, koji poboljšava zavarljivost, i poliamida, koji je barijera za pentan i veže vlagu te se zato nalazi u unutarnjem sloju.

Okirol E/EF mora biti skladišten u zatvorenome, podno ventiliranom prostoru pri temperaturi ne višoj od 20 °C. Također ne smije biti izložen izravnom ili posrednom utjecaju sunčeva svjetla, koje može utjecati na njegova preradbena svojstva. Svojstva prerade pogoršavaju se s duljinom vremena skladištenja. Preporučljivo vrijeme prerade skladištenoga izvorno zapakiranog *Okirola E/EF* je do 60 dana.

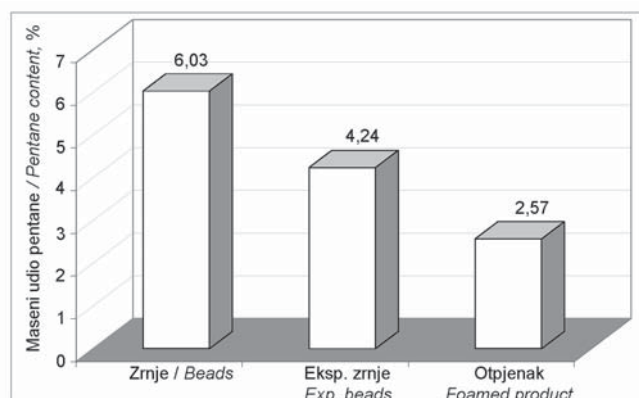
Prerada pjenećeg polistirena / Processing of expandable polystyrene

Prerada pjenećeg polistirena zbiva se u tri faze: upjenjivanje, kondicioniranje i praoblikovanje. Prva faza prerade, upjenjivanje, provodi se u kontinuiranim ili diskontinuiranim predekspanderima, gdje se zrnje zagrijava zasićenom vodenom parom iznad staklišta (80 – 100 °C), pri čemu dolazi do omekšavanja polimera i ekspanzije pjenila – pentana i njegove difuzije iz zrnja, čime se volumen zrnja poveća približno 40 puta. U procesu upjenjivanja postupno se snižava nasipna gustoća zrnja. Gustoća materijala opada od 620 kg/m³ do vrijednosti između 10 i 35 kg/m³. Gustoća upjenjenog zrnja ovisi o vremenu zadržavanja zrnja u predekspanderu, temperaturi pjenjenja, tlaku pare, sadržaju pentana te molekuloj strukturi polimera.^{3,4}

Naime, nakon upjenjivanja, čim se upjenjeno zrnje počne hladiti, unutar ćelija kondenzira se pentan i stvara podtlak, vakuum. U toj je fazi upjenjeno zrnje podložno deformacijama. U zrnju također zaostaje i pjenilo te dio vodene pare. Kako bi se omogućilo izjednačavanje tlaka unutar ćelija zrnja s atmosferskim tlakom, potrebno je upjenjeno zrnje uskladištiti neko vrijeme, najčešće 12 – 24 sata. Upjenjeno zrnje skladišti se u platenim silosima. Vrijeme kondicioniranja ovisi o temperaturi skladišnog prostora, atmosferskoj vlazi, gustoći upjenjenog zrnja te gustoći gotovog proizvoda. Vrijeme kondicioniranja skraćuje se s povišenjem gustoće upjenjenog zrnja. Kondicioniranjem zrnje postiže potrebnu mehaničku čvrstoću i dimenzijsku stabilnost.^{4,5}

Sadržaj pentana nakon kondicioniranja na razini je 2/3 njegove početne vrijednosti, što je prikazano na slici 1. Sadržaj pentana određen je prema internoj metodi *Fizičko-kemijskog laboratorija Dioki*.

Treća faza prerade je stvaranje početnog oblika, otpjenka. Razlikuju se postupci gravitacijskog pjenjenja blokova te postupci pretlačnoga i podtlasnoga parnog pjenjenja ambalažnih proizvoda.^{5,6}



SLIKA 1 - Promjena sadržaja pentana tijekom prerade

FIGURE 1 - Pentane content during expanded polystyrene manufacturing

Okirol E/EF odlično se prerađuje postupcima parnog pjenjenja ili injekcijskog pjenjenja. Odlikuje se kratkim ciklusima pjenjenja uz nisku potrošnju energije, a dobri su izgled i struktura upjenjenog zrnja. Ovaj pjeneći polistiren odlikuje se dobrim antistatičkim svojstvima, odlično je ponašanje zrnja pri kondicioniranju, kratki su ciklusi pri praoblikovanju uz dobru srašćenost, odlična je dimenzijska stabilnost otpjenka te nisko upijanje vlage i niska toplinska provodnost.

Uporabna svojstva pjenastih tvorevina / Application of foamed polystyrene products

Proizvodi od pjenastog polistirena su kruti, ćelijaste su strukture koja se sastoji od mnogo zatvorenih, međusobno čvrsto staljenih, prema van zatvorenih ćelija ispunjenih zrakom. Struktura upjenjenog zrnja odgovara nepravilnom poliedru s 12 stranica, veličine ćelija od 50 do 250 μm, debljine stijenki ćelija od 1,5 do 5 μm. Udio zraka kreće se do 98 vol. %, a ostatak je polistiren.⁷

Na temelju podjele prema svojstvima gorivosti i nasipnim gustoćama definiraju se uporabna svojstva proizvoda načinjenih od pojedinih tipova *Okirola E/EF* (tablica 2).

TABLICA 2 - Područje primjene *Okirola E/EF*

TABLE 2 - Application of *Okirol E/EF*

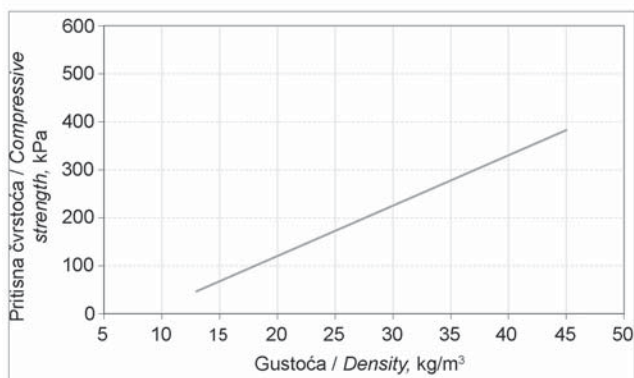
Tip / Type	Uporaba / Application
<i>OKIROL E3/E3F</i>	Blokovi niske gustoće, 14 – 18 kg/m ³ za: - ploče za toplinsku izolaciju - elastificirane ploče za zvučnu izolaciju
<i>OKIROL E4/E4F</i>	Blokovi niske i srednje gustoće, 15 – 20 kg/m ³ za: - ploče za toplinsku izolaciju - fasadne ploče
<i>OKIROL E5/E5F</i>	Blokovi više gustoće, 17 – 25 kg/m ³ za: - ploče za toplinsku izolaciju - parno pjenjenje otpjenaka za: - perimetrijske ploče - toplinsku izolaciju - industrijsku ambalažu
<i>OKIROL E6/E6F</i>	Blokovi visoke gustoće, 20 – 30 kg/m ³ za: - ploče za toplinsku izolaciju - parno pjenjenje otpjenaka za: - perimetrijske ploče - toplinsku izolaciju - industrijsku ambalažu

Svojstva pjenastih polistirenskih proizvoda ovise ponajprije o preadi. Naime, mijenjanjem i adekvatnim namještanjem parametara procesa prerade mogu se prilagoditi gotovo sva svojstva, tj. mogu se dobiti polistirenske pjene raznih gustoća te struktura. Time su određena svojstva gotovih proizvoda potrebnih fizičkih karakteristika. Fizičke karakteristike (pritisna čvrstoća, rastezno i savojno naprezanje) pjenastog polistirena vrlo su važne za primjene u građevinarstvu, jer se često koristi u kombinaciji s drugim materijalima (čelični lim, drvo, aluminij) ne samo kao izolacijski materijal nego i kao nosivi konstrukcijski sendvič-materijal.

Drugo svojstvo, koje uz gustoću ima najveći utjecaj na fizička svojstva pjenastog polistirena, njegova je makrostruktura. Loša srašćenost otpjenka, pojava većih šupljina i poroznost veoma loše utječu na niz svojstava kao što su rastezna i savojna čvrstoća, prolaz vodene pare i apsorpcija vode.⁸

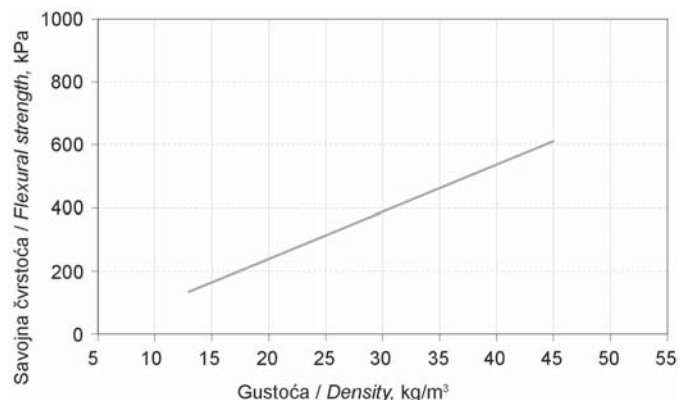
U građevinarstvu proizvodi od *Okirola E/EF* upotrebljavaju se u obliku ploča i panela, za toplinsku izolaciju te elastificirane ploče za zvučnu izolaciju (kod izvedbe plivajućih podova), za izradu samonosivih i pregradnih zidova, izolaciju temelja, podova i stropova te za izradu interijerskih dekorativnih ploča.

Proizvodi izrađeni od *Okirola E/EF* imaju dobra mehanička svojstva. Sposobnost pjenastog materijala da apsorbira mehaničku energiju jedno je od njegovih važnijih svojstava (slike 2 i 3), a temelji se na vlastitim ispitivanjima proizvoda izrađenih od *Okirola E/EF* pri temperaturi od 25 °C i relativnoj vlazi od 50 %. Pritisna i savojna čvrstoća određene su na kidalici *Instron* sukladno zahtjevu normi *HRN EN 826* i *HRN EN 12089*. Rezultati prikazuju prosjek dobivenih vrijednosti.



SLIKA 2 - Ovisnost pritiskne čvrstoće pri 10 % stišljivosti o gustoći PS-E-a

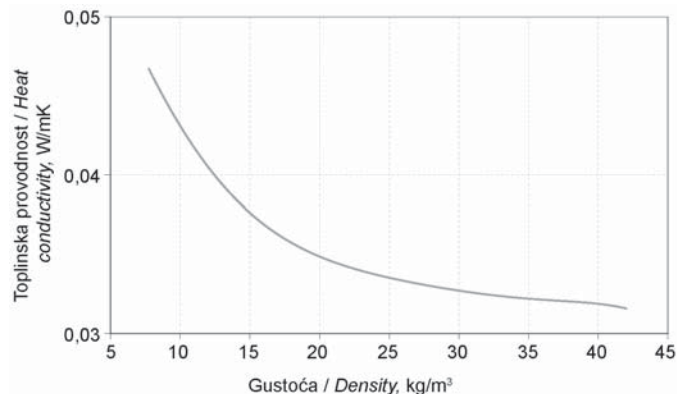
FIGURE 2 - Compressive strength dependence on PS-E density at 10% deformation



SLIKA 3 - Ovisnost savojne čvrstoće o gustoći PS-E-a

FIGURE 3 - Flexural strength vs density of PS-E

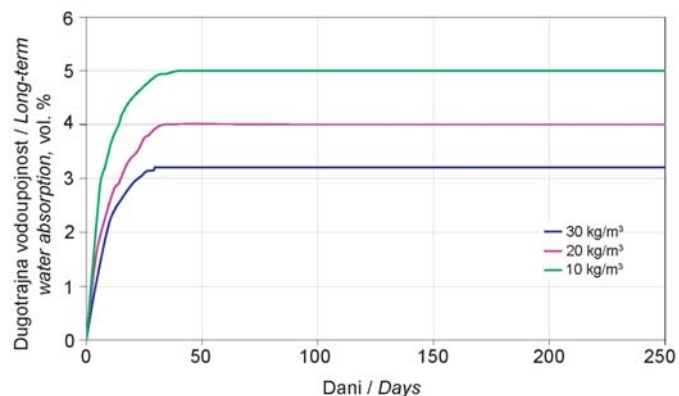
Proizvodi od *Okirola E/EF* izraziti su toplinski izolatori niske toplinske provodnosti. Njegova izolacijska svojstva posljedica su velikog broja potpuno zatvorenih ćelija koje čine njegovu karakterističnu strukturu. Zbog iznimnih toplinsko-izolacijskih svojstava proširena je uporaba tih proizvoda u stambenom i industrijskom zgradarstvu te rashladnoj tehnici. Ovisnost toplinske provodnosti o gustoći prikazuje slika 4. Toplinska provodnost određena je sukladno zahtjevu norme *HRN EN 12667*.



SLIKA 4 - Ovisnost toplinske provodnosti o gustoći PS-E-a

FIGURE 4 - Dependence of heat conductivity on PS-E density

Sljedeća važna karakteristika je dugotrajna vodoupojnost pri uranjanju. Iako je polistiren hidrofoban, pore između pojedinačnih čestica dopuštaju prijenos vode unutar porozne strukture kao posljedicu kapilarnih sila. Kako su molekule vode asocirane vodikovim vezama prevelike da bi ušle u zatvorenu ćeliju, voda je zapravo adsorbirana na površinu i apsorpcija vode je zanemariva. Upijanje vode znatno ovisi o postupcima prerade.⁷ Na slici 5 prikazana je ovisnost dugotrajne vodoupojnosti PS-E-a, u rasponu gustoće 15, 20 i 30 kg/m³, o vremenu uranjanja. Dugotrajna vodoupojnost određena je sukladno zahtjevu norme *HRN EN 12087* u *Fizičko-kemijskom laboratoriju Dioki*.



SLIKA 5 - Ovisnost dugotrajne vodoupojnosti PS-E-a različitih gustoća o vremenu uranjanja

FIGURE 5 - Dependence of long-term water absorption of PS-E different densities on immersion time

Proizvodi od *Okirola E/EF* mogu se spajati sa svim materijalima koji se rabe u građevinarstvu, uključujući cement, žbuku, ljepila na bazi bitumena, prirodnoga ili sintetskih kaučuka. No nepostojani su na većinu organskih otapala kao što su aromatski ugljikovodici, amini, amidi, ketoni i esteri. Također, proizvodi od *Okirola E/EF* odlično podnose cikličke promjene temperatura uz zadržavanje mehaničkih i fizičkih svojstava, tj. zbog svoje amorfne strukture ne mijenjaju temeljnu strukturu pri negativnim temperaturama (do -150 °C). Postojani su pri temperaturi do +90 °C. Pri temperaturi višoj od 90 °C dolazi do taljenja pjenastog polistirena, a pri temperaturama od 230 do 260 °C dolazi do kemijske degradacije, čiji su produkti

plinovi. U slučaju prisutnosti dovoljne količine kisika, i pri temperaturama od 450 do 500 °C dolazi do zapaljenja. Proizvodi od *Okirola EF* su samogasivi i zadovoljavaju stroge kriterije smanjenja gorivosti koji se zahtijevaju za građevne materijale.

Uz građevinarstvo, ambalaža je drugo najvažnije područje primjene pjenećeg polistirena. Uporaba pjenastog polistirena kao ambalažnog materijala daje mu prednost pred ostalim materijalima zbog niza faktora:⁸

1. neograničene mogućnosti i lakoća izrade i najkompliciranijih oblika parnim pjenjenjem
2. veoma mala težina ambalaže, što povoljno utječe na sniženje transportnih troškova
3. ambalaža je jednostavna za rukovanje i skladištenje
4. ne upija ni vodu ni vlagu te štiti sadržaj
5. zbog odličnih termoizolacijskih svojstava čuva sadržaj koji je osjetljiv na niske ili povišene temperature
6. čuva sadržaj od oštećenja i loma zbog dobrih mehaničkih pritisnih i savojnih svojstava
7. površina ambalaže omogućuje tiskanje na površini.⁸

Proizvodi od *Okirola E/EF* upotrebljavaju se za izradu zaštitne i ukrasne ambalaže, iako mu je u prvom redu namjena pakiranje proizvoda osjetljivih na udar, kao što su razni optički instrumenti, fotoaparati, mjerni i medicinski instrumenti, elektronička oprema, radio i TV prijammnici, staklena i porculanska roba. Nadalje se upotrebljava za izradu kutija, čaša i ostale ambalaže za pakiranje toplih i hladnih jela, gdje zbog toplinskih i izolacijskih svojstava djeluje poput termos-boce. U svim slučajevima ambalažiranja gdje se predviđa dodir s hranom, tj. za izravno pakiranje mesa i mesnih proizvoda te ribe, ne upotrebljava se samogasivi *Okirol EF*, već *Okirol E*, jer on udovoljava zakonima zdravstvene ispravnosti u skladu s EU direktivom 2002/72/EC (dopuna 2004/19/EC).⁹

Proizvodi od *Okirola E/EF* odlikuju se plutavošću na vodi te se stoga upotrebljavaju za izradu raznih plovaka za ribarstvo, pojaseva za spašavanje, pomoćnog pribora za plivanje, plovećih sportskih rekvizita i igračaka.

Zbog dekorativnog izgleda ovi se materijali upotrebljavaju za izradu raznih reklamnih proizvoda i natpisa, za izradu posuda za uzgoj cvijeća i ukrasnog bilja.

Zaštita okoliša i zdravlje čovjeka / Environmental protection and human health

Pjenasti polistiren je siguran i potpuno inertan materijal. Kao toplinsko-izolacijski materijal bitno smanjuje toplinske gubitke te time pridonosi smanjenju globalnog zagrijavanja i snižava emisiju ugljikova dioksida. Pjenasti polistiren može se reciklirati, ne pospješuje rast mikroorganizama, ne truli, ne stvara plijesan.¹⁰

Zaključak / Conclusion

Proizvodi dobiveni preradom *Okirola E/EF* odlikuju se malom masom, dobrom mehaničkom čvrstoćom, odličnim svojstvima toplinske i zvučne izolacije, malom apsorpcijom vode i malom propusnošću vodene pare. Zbog navedenih karakteristika najviše se rabi u građevinarstvu, rashladnoj tehnici te na području ambalažiranja proizvoda osjetljivih na udar.

LITERATURA / REFERENCES

1. Matijašić, V., Vuksan, P.: *Proizvodnja pjenećeg polistirena*, Polimeri 9(1988)12, 319-322.
2. Bocev, G., Ergić, A., Jurković, G.: *Ovisnost svojstva pjenećeg i pjenastog polistirena o strukturi, proizvodnji i preradi*, Polimeri 9(1988)12, 323-328.
3. Huntsman: *Introduction to Expandable Polystyrene*, Technical Bulletin 1-1.0, 3-8, 2006.
4. Eaves, D.: *Handbook of Polymer Foams*, Rapra Technology, Shrewsbury, 2004., 37-46.
5. Šitum, I.: *Parno pjenjenje krutih polistirenskih blokova*, Savjetovanje Polimerni materijali i dodatci, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 15. i 16. 11. 2007.
6. Čatić, I.: *Sistematizacija pjena – postupci injekcijskog prešanja pjenastih tvorevina*, Savjetovanje Polimerni materijali i dodatci, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 15. i 16. 11. 2007.
7. symp15.nist.gov/pdf/p54.pdf
8. Bosnar, M.: *Pjenasti polistiren - Svojstva i primjena*, Stirenski plastomeri, Zagreb, 1991., 38-42.
9. Official Journal of the European Communities, *Commission directive 2002/72/EC*.
10. www.ineos-nova.com

DOPISIVANJE / CONTACT

Josipa Udiković, dipl. ing.
 DIOKI d.d.
 Žitnjak bb
 HR-10000 Zagreb, Hrvatska / Croatia
 Tel.: +385-1-24-83-000, faks: 385-1-24-73-64
 E-adresa: josipa.udikovic@dioki.hr

PVC od šećerne trske i soli

Privedila: Gordana BARIĆ

Brazilsko-argentinska tvrtka *Solvay Indupa*, sa sjedištem u Sao Paulu, proširit će kapacitet proizvodnje PVC-a u svojem pogonu u brazilskome gradu Santo Andre. Riječ je o investiciji vrijednoj 135 milijuna USD u postrojenje za proizvodnju etanola od šećerne trske koji bi se poslije koristio za proizvodnju PVC-a. Bit će to prvo

industrijsko postrojenje u Americama u kojem će se PVC proizvoditi iz obnovljivih izvora, od šećerne trske i soli, prirodne koje ima u gotovo neograničenim količinama.

Rubber Fibres Plastics, 2/2008.