

CHARACTERISTICS OF SILICONE RUBBER BLENDS

CARACTERISTICILE UNOR AMESTECURI DE CAUCIUC SILICONIC

Maria Daniela STELESCU^{*}

National Research and Development Institute for Textile and Leather – Leather and Footwear Research Institute, 93 Ion Minulescu St., Bucharest, Romania, dmstelescu@yahoo.com

CHARACTERISTICS OF SILICONE RUBBER BLENDS

ABSTRACT. In this paper, characteristics of silicone rubber blends cross-linked with various cross-linking systems based on benzoyl peroxide and benzoyl peroxide in the presence of the triallylcyanurate (TAC) coagent were analyzed. For analyzed samples, physical-mechanical properties, rheologic characteristics, gel fraction and cross-link density were determined.

KEYWORDS: silicone rubber, cross-linking, peroxide, triallylcyanurate.

CARACTERISTICILE UNOR AMESTECURI DE CAUCIUC SILICONIC

REZUMAT. În această lucrare s-au analizat caracteristicile unor amestecuri de cauciuc siliconic reticulate cu diferite sisteme de reticulare pe bază de peroxid de benzoil, respectiv peroxid de benzoil în prezența coagentifului trialilcianurat (TAC). Pentru probele analizate s-au determinat proprietățile fizico-mecanice, caracteristicile reologice, fracția de gel și densitatea de reticulare.

CUVINTE CHEIE: cauciuc siliconic, reticulare, peroxid, trialilcianurat.

CARACTÉRISTIQUES DES MÉLANGES DE CAOUTCHOUC DE SILICONE

RÉSUMÉ. Dans cet article on a analysé les caractéristiques des mélanges de caoutchouc de silicone réticulés avec des systèmes de réticulation différents à base de peroxyde de benzoyle et de peroxyde de benzoyle en présence du co-agent triallyl cyanurate (TAC). Pour les échantillons analysés on a déterminé les propriétés physico-mécaniques, les caractéristiques rhéologiques, la fraction de gel et la densité de réticulation.

MOTS CLÉS: caoutchouc de silicone, réticulation, peroxyde, triallyl cyanurate.

INTRODUCTION

Silicone elastomers are a type of polymers with remarkable characteristics, due to the wide range of temperatures in which they can be used, from -100°C to +315°C, to which are added high resistance to petroleum products with high aniline point, to solvents and weather, as well as easiness of obtaining them for various industrial purposes [1-7].

The most important stage in the rubber processing technology is vulcanization / cross-linking. During vulcanization / cross-linking, rubber molecules with chain configuration are linked by chemical bridges / bonds, and the rubber mass turns from its plastic mass into an elastic one. Silicone rubber does not cross-link by means of sulfur. The main cross-linking methods used to obtain finished silicone rubber products are: (i) the use of silico-organic compounds in the presence of metallic catalysts, (ii) with peroxides or (iii) the exposure to high energy irradiation [8].

In this paper characteristics of silicone rubber blends cross-linked with various cross-linking systems based on benzoyl peroxide and benzoyl peroxide in the

INTRODUCERE

Elastomerii siliconici reprezintă un tip de polimeri cu caracteristici deosebite, datorită domeniului larg de temperaturi în care pot fi utilizati, de la -100°C până la +315°C, la care se adaugă rezistență ridicată la produse petroliere cu punct de anilină ridicat, la solventi și intemperii, ca și ușurința de formare a acestora pentru diferite scopuri industriale [1-7].

Cea mai importantă etapă din tehnologia de prelucrare a cauciucului este vulcanizarea / reticularea. În timpul vulcanizării / reticulării, moleculele cu configurație de lanț ale cauciucului se leagă între ele prin punți / legături chimice, iar masa de cauciuc trece din forma sa plastică în cea elastică. Cauciuc siliconic nu reticulează cu ajutorul sulfului. Principalele metode de reticulare utilizate pentru obținerea produselor finite de cauciuc siliconic sunt: (i) utilizarea compușilor silico-organici în prezența unor catalizatori metalici, (ii) cu peroxizi sau (iii) expunerea la radiații de înaltă energie [8].

În această lucrare s-au analizat caracteristicile unor amestecuri de cauciuc siliconic reticulate utilizând diferite sisteme de reticulare pe bază de peroxid de

* Correspondence to: Maria Daniela STELESCU, National Research and Development Institute for Textile and Leather – Leather and Footwear Research Institute, 93 Ion Minulescu St., Bucharest, Romania, dmstelescu@yahoo.com

presence of the triallylcyanurate (TAC) coagent were analyzed. The role of peroxides is to generate free radicals that then recombine leading to cross-linking reactions among the polymer chains. The initiation reaction (peroxide decomposition) can be done thermally or by irradiation.

The areas of use of silicone rubber are numerous, namely: in the electrotechnical industry, as electroinsulating material with various purposes, in mechanical engineering as gaskets, bellows, elastic elements. The aviation industry uses pieces of silicone rubber resistant to a wide range of temperatures. In medicine, silicone rubber articles are preferred because they do not contain substances such as antioxidants, vulcanization accelerators and other ingredients that are not accepted. They are also widely used in the textile industry as impregnating material.

EXPERIMENTAL

Materials

The following materials were used in the study:

- ❖ R 701/70 OH Elastosil silicone elastomers (polidimethylsiloxane with vinyl groups, (dynamic) viscosity over 9.000.000 mPa.s, density 1.32 g/cm³);
- ❖ 14-40B-GB Perkadox benzoyl peroxide (density 1.600 g/cm³, active oxygen content 3.8%, peroxide content 40%);
- ❖ TAC DL 70 triallylcyanurate vulcanization coagent (density 1.34 g/cm³, contains 70% triallylcyanurate and 30% active synthetic silica);
- ❖ Toluene ($\phi_{toluene} = 0.866 \text{ g/cm}^3$).

Preparation of the Samples

Blends have been obtained by mixing on a laboratory roll equipped with a cooling system. The elastomer is plasticized on the roll (1'), the peroxide and TAC are added and embedded, depending on the recipe (1'), then the mixture is homogenized and taken off the roll as a sheet (1-2'). Work temperature is 50-55°C and friction 1:1.1. Plates necessary to carry out physical-mechanical determinations have been obtained by means of a hydraulic press at 160°C and 150 MPa. Vulcanization time is determined by means of the

benzoil, respectiv pe bază de peroxid în prezența coagentului de vulcanizare trialilcianurat (TAC). Rolul peroxizilor este de a genera radicali liberi care apoi se recombină, conducând la reacții de reticulare între lanțurile polimerului. Reacția de inițiere (descompunerea peroxidului) se poate realiza termic sau prin iradiere.

Domeniile de utilizare ale cauciucurilor siliconice sunt vaste, și anume: în industria electrotehnică, ca material electroizolant cu diferite destinații, în industria constructoare de mașini ca garnituri, burdufuri, elemente elastice. Industria aeronaumatică utilizează piese din cauciuc siliconic rezistente la o gamă largă de temperaturi. În medicină, articolele din cauciuc siliconic sunt preferate deoarece nu conțin substanțe ca antioxidanti, acceleratori de vulcanizare și alte ingrediente care nu sunt admise. Au o largă întrebuițare și în industria textilă, ca material de impregnare.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

Materiale

În studiu s-au utilizat următoarele materiale:

- ❖ Elastomeri siliconici Elastosil R 701/70 OH (polidimetilsiloxan cu grupări vinil, vâscozitate (dinamică) peste 9.000.000 mPa * s, densitate 1,32 g/cm³);
- ❖ Peroxidul de benzoil Perkadox 14-40B-GB (densitate 1,600 g/cm³, conținutul de oxigen activ 3,8%, conținutul de peroxid 40%);
- ❖ Coagent de vulcanizare trialilcianurat TAC DL 70 (densitate 1,34 g/cm³, conține trialilcianurat 70% și silice sintetică activă 30%);
- ❖ Toluen ($\phi_{toluen} = 0,866 \text{ g/cm}^3$).

Pregătirea probelor

Amestecurile s-au realizat prin tehnica amestecării pe un valț de laborator prevăzut cu sistem de răcire. Elastomerul este plastifiat pe valț (1'), se introduce și se înglobează peroxidul, și respectiv TAC, în funcție de rețetă (1'), apoi amestecul este omogenizat și scos de pe valț sub formă de foaie (1-2'). Temperatura de lucru este de 50-55°C iar fricția de 1:1,1. Plăcile necesare pentru realizarea determinărilor fizico-mecanice s-au obținut cu ajutorul unei prese hidraulice la 160°C și 150 MPa. Timpul de vulcanizare este

Monsanto rheometer.

Table 1 presents recipes of silicone rubber blends.

determinat cu ajutorul reometrului Monsanto.

În Tabelul 1 sunt prezentate rețetele amestecurilor de cauciuc siliconic realizate.

Table 1: Blend recipes
Tabelul 1: Rețetele amestecurilor

No.	Ingredients / Blend symbol <i>Ingrediente / Simbol amestec</i>	SiP1	SiP2	SiP3	SiP4
1	Elastosil R 701/70 OH siliconic rubber , g <i>Cauciuc siliconic Elastosil R 701/70 OH, g</i>	100	100	100	100
2	TAC DL 70 vulcanization coagent , g <i>Coagent de vulcanizare TAC DL 70, g</i>	-	-	-	3
3	Perkadox 14-40B -GB benzoyl peroxide, g <i>Peroxid de benzoil Perkadox 14-40B -GB, g</i>	8	4	2	2

Methods

Mechanical Properties

The tensile testing of samples was carried out with the testing speed 460 mm/min at room temperature with a Schoppler strength tester machine. The tensile strength was measured on dumb-bell shaped specimen according to ISO 37/2005. Tear strength was performed according to SR EN 12771/2003 using angular test pieces (type II). Hardness of samples in terms of Shore A was measured according to ISO 7619-1/2004 using 6 mm thick samples. Elasticity was evaluated with a Schob test machine using 6 mm thick samples, according to ISO 46662/1986. The densities of elastomer samples were measured according to ISO 2781/2008. All measurements were taken several times and the resulting values were averaged.

Rheologic Properties

Curing characteristics were determined by using Monsanto rheometer (an oscillating disc rheometer) at 160°C for 12 minutes, according to SR ISO 3417/1997.

Metode

Proprietăți mecanice

Încercarea la tracțiune a probelor a fost efectuată cu viteza de testare de 460 mm/min la temperatura camerei cu un aparat Schoppler de testare a rezistenței. Rezistența la rupere a fost măsurată pe un specimen în formă de halteră conform ISO 37/2005. Rezistența la sfâșiere a fost efectuată conform SR EN 12771/2003 utilizând epruvete unghiulare (tip II). Duritatea Shore A a probelor a fost măsurată conform ISO 7619-1/2004 utilizând plăci cu grosimea de 6 mm. Elasticitatea a fost evaluată cu un aparat de testare Schob utilizând epruvete cu grosimea de 6 mm, conform ISO 46662/1986. Densitățile probelor de elastomeri au fost măsurate conform ISO 2781/2008. Toate măsurările au fost efectuate de mai multe ori și s-a făcut media valorilor rezultate.

Proprietăți reologice

Caracteristicile de vulcanizare au fost determinate folosind reometrul Monsanto (reometru cu disc rotativ) la 160°C timp de 12 minute, conform SR ISO 3417/1997.

Gel Fraction

The sol-gel analysis was performed on cross-linked silicone rubber to determine the fraction of insoluble PDMS samples (gel). The samples were swollen in toluene and extracted after 24 h in order to remove any scissioned fragments and unreacted materials. The networks were then dried in air for 6 days, and reweighed. The gel fraction was calculated as:

$$\text{Gel fraction} = (m_s/m_i) \times 100 \quad (1)$$

where m_s and m_i are the weight of the dried sample after extraction and the weight of the sample before extraction, respectively. At least five measurements were taken on each sample and the average and standard deviation values were calculated.

Cross-link Density

The number of moles of cross-linked basic units per weight unit of the cross-linked polymer is called cross-link density. The cross-link density of the PDMS samples was determined on the basis of equilibrium solvent-swelling measurements (in toluene at 23–25°C) by application of the well-known modified Flory-Rehner equation for tetrafunctional networks. The samples (2 mm thick) were initially weighed (m_i) and immersed in toluene for 24 h. The swollen samples were removed and cautiously dried to remove excess solvent before being weighed (m_g); and during this operation, the samples were covered to avoid toluene evaporation during weighing. Traces of solvent and other small molecules were then eliminated by drying in air for 6 days. Finally, the samples were weighed for the last time (m_s), and volume fractions of polymer in the samples at equilibrium swelling v_{2m} were determined from swelling ratio G , and calculated as follows:

$$v_{2m} = \frac{1}{1 + G}, \quad (2)$$

unde

where

$$G = \frac{m_g - m_s}{m_s} \times \frac{\rho_c}{\rho_s}, \quad (3)$$

Fracțiunea de gel

Analiza sol-gel a fost efectuată pe cauciuc siliconic reticulat pentru a determina fracțiunea probelor PDMS insolubile (gel). Probele au fost gonflate în toluen și scoase după 24 h pentru a îndepărta fragmentele scindate și materialele nereacționate. Rețelele au fost apoi uscate la aer timp de 6 zile și recântărite. Fracțiunea de gel a fost calculată după cum urmează:

$$\text{Fracțiunea de gel} = (m_s/m_i) \times 100 \quad (1)$$

unde m_s și m_i reprezintă greutatea probei uscate după extracție, respectiv greutatea probei înainte de extracție. S-au efectuat cel puțin cinci măsurători pentru fiecare probă și s-au calculat valorile variației medii și standard.

Densitatea de reticulare

Numărul de moli al unităților de bază reticulate per unitatea de greutate a polimerului reticulat este numit densitate de reticulare. Densitatea de reticulare a probelor PDMS a fost determinată pe baza măsurătorilor gradului de gonflare în solvent (în toluen la 23–25°C), prin aplicarea bine-cunoscutei ecuații modificate Flory-Rehner pentru rețelele tetrafuncționale. Probele (2 mm grosime) au fost inițial cântărite (m_i) și imersate în toluen timp de 24 h. Probele gonilate au fost scoase și șterse cu grijă pentru a îndepărta solventul în exces înainte de a fi cântărite (m_g); în timpul acestei operațiuni, probele au fost acoperite pentru a evita evaporarea toluenului în timpul cântăririi. Urmările de solvent și moleculele mici au fost apoi eliminate prin uscare la aer timp de 6 zile. În cele din urmă, probele au fost cântărite pentru ultima oară (m_s), și fracțiunile de volum ale polimerului din probe gonilate v_{2m} , au fost determinate plecând de la gradul de gonflare G , și calculate după cum urmează:

$$v_{2m} = \frac{1}{1 + G}, \quad (2)$$

unde

$$G = \frac{m_g - m_s}{m_s} \times \frac{\rho_c}{\rho_s}, \quad (3)$$

ϕ_e and ϕ_s are the densities of elastomer samples and solvent, respectively.

The samples cross-link densities, v , were determined from measurements in a solvent, using the Flory–Rehner relationship, given by

$$v = -\frac{\ln(1 - v_{2m}) + v_{2m} + \chi_{12}v_{2m}^2}{V_1 \left(v_{2m}^{1/3} - \frac{2}{\Phi} v_{2m} \right)}, \quad (4)$$

where $V_1 = 106.5 \text{ cm}^3/\text{mol}$ is the molar volume of solvent (toluene), v_{2m} is the volume fraction of polymer in the sample at equilibrium swelling, $\Phi = 4$ is the cross-link functionality and $\chi_{12} = 0.47$ is the interaction parameter between polymer and solvent–toluene [9].

RESULTS AND DISCUSSIONS

Cross-linking occurs principally through a free radical mechanism, and it improves the tensile properties and Shore A hardness [10-11].

The physical-mechanical and rheological properties of samples are summarized in Tables 2 and 3, and Table 4 presents moistening characteristics and cross-link density.

From the analysis of blend characteristics, it is noticed that a quantity of 4 phr benzoyl peroxide (parts per 100 rubber parts) led to obtaining the best tensile strength and elongation at break values and the lowest optimal cross-linking time (T_{90}). Tear strength and hardness increase as the peroxide quantity in the blend decreases; the best obtained results are for the blend containing 2 phr Perkadox.

ϕ_e și ϕ_s sunt densitățile probelor de elastomer, respectiv de solvent.

Densitățile de reticulare ale probelor, v , au fost determinate din măsurătorile în solvent, utilizând ecuația Flory–Rehner, dată de

unde $V_1 = 106,5 \text{ cm}^3/\text{mol}$ este volumul molar al solventului (toluen), v_{2m} este volumul fracției polimerului din proba gonflată, $\Phi = 4$ este funcționalitatea reticulării și $\chi_{12} = 0,47$ este parametrul interacțiunii dintre polimer și solvent–toluenul [9].

RESULTS AND DISCUSSIONS

Reticularea are loc în principal prin mecanism radicalic, și îmbunătățește proprietățile de tracțiune și duritatea Shore A [10-11].

Proprietățile fizico-mecanice și reologice ale probelor sunt prezentate pe scurt în Tabelele 2 și 3, iar în Tabelul 4 sunt prezentate caracteristicile de gonflare și densitatea de reticulare.

Din analiza caracteristicilor amestecurilor se observă că o cantitate de 4 phr peroxid de benzoil (părți la 100 părți de cauciuc) a condus la obținerea celor mai bune valori ale rezistenței la rupere și alungirii la rupere și la cel mai mic timp optim de reticulare (T_{90}). Rezistența la sfâșiere și duritatea cresc pe măsură ce se micșorează cantitatea de peroxid introdusă în amestec, cele mai bune rezultate fiind obținute pentru amestecul care conține 2 phr Perkadox.

Table 2: Physical-mechanical characteristics of blends
 Tabelul 2: Caracteristicile fizico-mecanice ale amestecurilor

No.	Physical-mechanical characteristics / Blend symbol <i>Caracteristici fizico-mecanice / Simbol amestec</i>				
		SiP1	SiP2	SiP3	SiP4
1	Hardness, °ShA <i>Duritate, °ShA</i>	14	18	20	22
2	Elasticity, % <i>Elasticitate, %</i>	64	64	63	77
3	Tensile strength, N/mm ² <i>Rezistență la rupere, N/mm²</i>	2.2	5.9	5	4
4	Elongation at break, % <i>Alungirea la rupere, %</i>	100	273	180	93
5	Residual elongation, % <i>Alungire remanentă, %</i>	8	6	3	4
6	Tear strength, N/mm <i>Rezistență la sfâșiere, N/mm</i>	27	29.5	32	22.5

Table 3: Rheologic characteristics of blends
 Tabelul 3: Caracteristicile reologice ale amestecurilor

No.	Rheologic characteristics/ Blend symbol <i>Caracteristici reologice / Simbol amestec</i>				
		SiP1	SiP2	SiP3	SiP4
1	M min (dNm)	14.2	10.6	17.3	25
2	M max (dNm)	45.8	44.7	46.8	65
3	Δ M (dNm)	31.6	34.1	29.5	40
4	M90 (dNm)	42.64	41.29	43.85	61
5	T90 (minutes)	6'45"	4'30"	7'30"	7'

Table 4: Moistening characteristics and cross-link density of samples
 Tabelul 4: Caracteristicile de umectare și densitatea de reticulare a probelor

Blend symbol <i>Simbol amestec</i>	m _i (g)	m _g (g)	m _s (g)	ϕ _e (g/cm ³)	G	v _{2m}	v (10 ⁻⁴ mol/cm ³)
SiP1	0.5084	0.9349	0.4859	1.4132	1.5080	0.3987	6.177
SiP2	0.4977	0.9244	0.4800	1.4043	1.5013	0.3998	6.217
SiP3	0.5264	0.9754	0.5108	1.3833	1.4529	0.4077	6.619
SiP4	0.5384	0.8660	0.5202	1.3976	1.0727	0.4825	11.551

Adding 3 phr TAC in the blend with 2 phr Perkadox led to obtaining a sample with the highest values of the minimum and maximum torque, a decrease of toluene

Introducerea a 3 phr TAC în amestecul cu 2 phr Perkadox a condus la obținerea unei probe care prezintă cele mai mari valori ale momentului minim și

soluble polymer fraction and a significant increase of delta torque (maximum-minimum torque) and cross-link density.

In samples SiP1, SiP2 and SiP3 respectively, it is noticed that, as the peroxide quantity decreases, there is a decrease of swelling ratio G (toluene soluble polymer quantity) and a slight increase of volume fractions of polymer in the samples at equilibrium swelling (v_{2m}) and of cross-link density (v). It is known that a large peroxide quantity produces a higher number of radicals which recombine, leading to both elastomer cross-linking and its degradation, obtaining shorter polymer chains soluble in toluene. The values of the above-mentioned samples indicate that upon increasing the peroxide quantity in the blend over a certain value, the degradation reactions of the polymer chains increase.

CONCLUSIONS

As the peroxide quantity decreases, there is a decrease of swelling ratio G (toluene soluble polymer quantity) and a slight increase of volume fractions of polymer in the samples at equilibrium swelling (v_{2m}) and of cross-link density (v), thus indicating an increase degradation reactions, obtaining shorter polymer chains soluble in toluene. The best values of tensile strength and elongation at break and the lowest optimal cross-linking time (T_{90}) were obtained for blends containing 4 phr peroxide. By using the TAC coagent, higher values of the minimum and maximum torque, a decrease of toluene soluble polymer fraction and a significant increase of delta torque (maximum-minimum torque) and cross-link density were obtained.

Silicone rubbers can be used in the electrotechnical industry, mechanical engineering, aviation industry, medicine, textile industry etc.

maxim de torsiune, o scădere a fracției de polimer solubil în toluen și o creștere semnificativă a variației cuplului de torsiune (a momentului maxim-minim de torsiune) și a densității de reticulare.

La probele SiP1, SiP2, respectiv SiP3, se observă că, pe măsură ce scade cantitatea de peroxid introdusă are loc o scădere a gradului de gonflare G (a cantității de polimer solubil în toluen) și o ușoară creștere a fracțiunilor în volum ale polimerului din probe gonflate (v_{2m}) și a densității de reticulare (v). Se cunoaște faptul că o cantitate mare de peroxid conduce la obținerea unui număr mai mare de radicali care se recombină conducând atât la reticularea elastomerului, cât și la degradarea acestuia cu obținerea unor lanțuri polimerice mai scurte solubile în toluen. Valorile probelor menționate mai sus indică faptul că la mărirea cantității de peroxid din amestec peste o anumită valoare, crește ponderea reacțiilor de degradare a lanțurilor polimerice.

CONCLUZII

Pe măsură ce scade cantitatea de peroxid introdusă are loc o scădere a gradului de gonflare G (a cantității de polimer solubil în toluen) și o ușoară creștere a fracțiunilor în volum ale polimerului din probe gonflate (v_{2m}) și a densității de reticulare (v), indicând astfel o creștere a ponderii reacțiilor de degradare cu obținerea unor lanțuri polimerice mai scurte solubile în toluen. Cele mai bune valori ale rezistenței la rupere și alungirii la rupere și cel mai mic timp optim de reticulare (T_{90}) s-au obținut pentru amestecurile care conțin 4 phr peroxid. Prin utilizarea coagentului TAC s-au obținut valori mai mari ale momentului minim și maxim de torsiune, o scădere a fracției de polimer solubil în toluen și o creștere semnificativă a variației cuplului de torsiune (a momentului maxim-minim de torsiune) și a densității de reticulare.

Cauciucurile siliconice se pot utiliza în industria electrotehnică, industria constructoare de mașini, industria aeronaumatică, medicină, industria textilă etc.

REFERENCES

1. Malcolm, K., Woolfson, D., Russell, J., Tallon, P., McAuley, L., Craig, D., *J. Control. Release*, **2003**, 90 (2), 217–225.
2. Toddywala, R., Chien, Y.W., *J. Control. Release*, **1990**, 14, 29–41.
3. Chien, Y.W., Lambert, H., Grant, D.E., *J. Pharm. Sci.*, **1974**, 63 (3), 365–369.
4. Kajihara, M., Sugie, T., Sano, A., Fujioka, K., Urabe, Y., Tanihara, M., Imanishi, Y., *Chem. Pharm. Bull.*, **2003**, 51 (1), 11–14.
5. Roseman, T.J., *J. Pharm. Sci.*, **1972**, 61 (1), 46–50.
6. Lee, C.H., Bagdon, R.E., Bhatt, P.P., Chien, Y.W., *J. Control. Release*, **1997**, 44, 43–53.
7. Mashak, A., Taghizadeh, S.M., *Radiat. Phys. Chem.*, **2006**, 75, 229–235
8. Hill, D.J.T., Preston, C.M.L., Salisbury, D.J., Whittaker, A.K., *Radiat. Phys. Chem.*, **2001**, 62, 11–17.
9. Barton, F.M., Handbook of Polymer–Liquid Interaction Parameters and Solubility Parameters, **1990**, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
10. Basfer, A.A., *Radiat. Phys. Chem.*, **1997**, 50 (6), 607–610.
11. Vokal, A., Kourim, P., Sussmilchova, J., Heidingsfeldova, M., Kopecky, B., *Radiat. Phys. Chem.*, **1986**, 28 (5/6), 497–499.