



CĒĻŅU SEKU DIAGRAMMU ANALĪZE PUTU POLISTIROLA IZSTRĀDĀJUMU RAŽOŠANAS PROCESAM ANALYSES OF THE CAUSE AND EFFECT DIAGRAMMS OF EXPANDED POLYSTYRENE MANUFACTURING PROCESS

O. Medne, I. Dreijers, L. Bērziņa

Rīgas Tehniskā universitāte

Āzenes 14/24, Rīga, LV 1048, Latvija

Tālr. +371 67089211, e-pasts: omedne@gmail.com

Abstract. *The manufacturing of expanded polystyrene is a multi-stage process. In each stage the number of technologic parameters is very high, they are intercorrelated and influence the quality of the end product. The improper combination of parameter quantitative values causes defects – deterioration of mechanical and heat insulation properties, product deformation and cracking.*

The planning of experiments for parameter discrimination and afterwards optimization is not practicable due to the high number of variables. That is why we used the cause and effect diagrams for the identification of the most essential parameters. After analyzing the regulation of the technological process a cause and effect diagram (the so-called "fish-bone") was created for each stage.

Further on, after having analyzed the literature data and using the experience gained in the real manufacturing process, the set of eventually most essential parameters was defined. Also the number of these parameters is quite high, however it already gives a possibility to perform purposeful experiments and make an analysis of the experimental results.

Keywords: *cause and effect diagram, manufacturing, expanded polystyrene.*

Ievads

Putu polistirola (PPS) izstrādājumus plaši lieto dažādās jomās. Visbiežāk tos lieto kā iepakojanas, siltumizolācijas materiālu un materiālu dažādās būvniecības jomās [1]. Putu polistirolam kā materiālam ir labas konstruktīvās īpašības, piemēram, pietiekama stiprība, zema ūdens absorbcija, dažāds blīvums, ūdens un siltumpretestības izturība [2].

Putu polistirola izstrādājumu izejvielas ir veidotas kā lodītes (granulas) no pentānu saturoša termoplastiskā polistirola. Pentāns darbojas kā putošanas aģents. Putu polistirola granulas karsējot, parasti ar tvaiku, polistirols mīkstinās, bet pentāns tajā pat laikā veido tvaikus ar lielu tilpumu, kā rezultātā notiek polistirola „putošanās” un veidojas slēgto šūnu putuplasta struktūra [3].

Putu polistirola ražošanā ir vairāki posmi, kuri sākas ar priekšputošanu. Priekšputoto putu polistirolu iegūst, apstrādājot putu polistirola granulas ar tvaiku vienu reizi, ja jāiegūst materiāls ar lielāku blīvumu, un divas reizes, ja nepieciešams mazāk blīvs (vieglāks) materiāls. Atkarībā no materiāla blīvuma un uzputotā materiāla apstrādes ilguma var iegūt priekšputotu materiālu ar tilpummasu no 0,016 g/cm³ līdz 0,56 g/cm³ [4]. Kad priekšputošanas procesa beigās tvaika padeve tiek pārtraukta, granulām atdziestot, tvaiks un gaistošais putošanas aģents (pentāns) kondensējas putu šūnveida struktūrā. Uzreiz pēc priekšputošanas granulas nav elastīgas – ja tās deformējas, sfērisku formu vairs nevar atgūt. Granulu tilpuma palielināšanās un blīvuma samazināšanās ir atkarīga no temperatūras un uzturēšanās laika priekšputotājā.

Priekšputoto granulu blīvums ir pakāpe, līdz kurai tās var izplesties [5]. Ja blīvums tiek samazināts pārāk daudz, šūnu sienīgas sabrukums līdzsvara trūkuma dēļ starp atmosfēras spiedienu ārpus šūnas un daļēju vakuumu šūnas iekšpusē. Tas izraisa palielinātu blīvumu. To sauc par sabrukšanas zonu, kurā priekšputotā putu polistirola blīvums kļūst nekontrolējams.

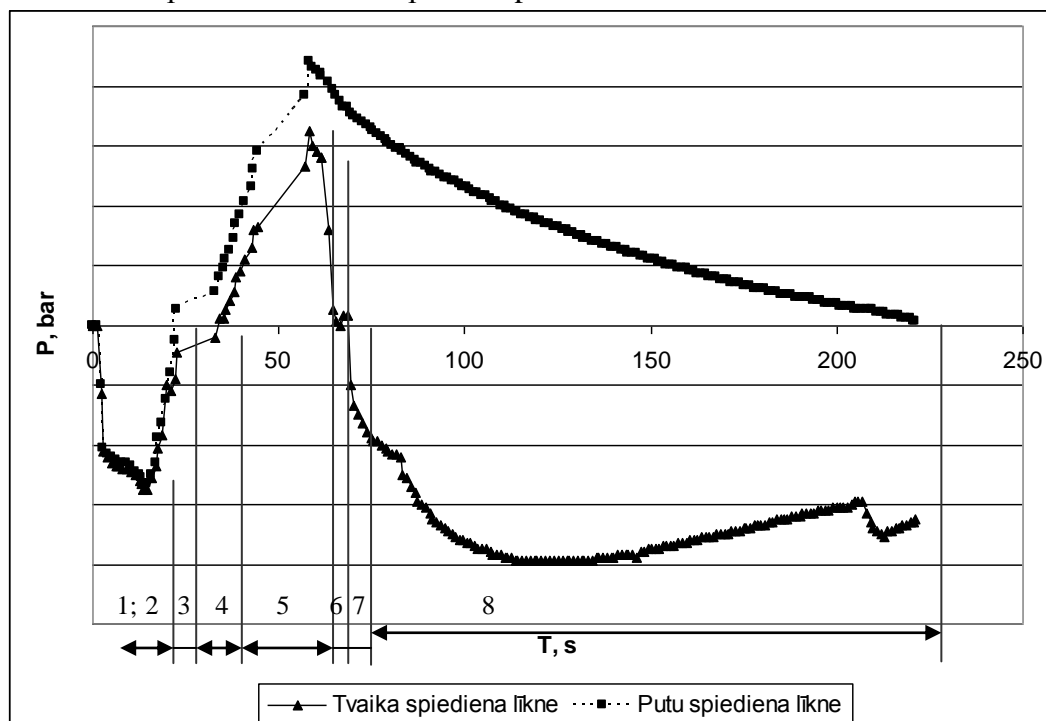
Laiks minimālā blīvuma sasniegšanai un izplešanās ātrums atšķiras atkarībā no materiāla veida un priekšputošanas apstākļiem, piem., izmantotās iekārtas un tvaika kvalitātes.

Priekšputošanas laikā putu polistirola granulās saturošais putošanas aģents tiek aktivizēts un daļēji zaudēts. Putošanas aģenta daudzuma zudums ir atkarīgs no priekšputoto granulu sasniegtā blīvuma un iekārtas tipa. Uzputoto granulu žāvēšana un nobriedināšana arī izraisa nelielu putošanas aģenta zudumu.

Priekšputotā materiāla stabilizēšana ir otrais putu polistirola izstrādājumu ražošanas procesa solis – šajā stadijā tiek atgūta priekšputoto granulu elastība, gaisam difundējot šūnās. Ir jāpaiet zināmam laikam, lai tās iegūtu pietiekamu mehānisko izturību, tādēļ uzputotā putu polistirola granulas vairākas stundas tiek „nobriedinātas” atvērtās tvertnēs. Procesā sākumā šūnu iekšējais spiediens ir vēl stipri mazāks par atmosfēras spiedienu, taču tas pakāpeniski palielinās, gaisam ap granulām difundējot caur šūnu sienām. Gaisa apjoms ir atkarīgs galvenokārt no lodīšu izmēra, blīvuma un temperatūras. Liela blīvuma priekšputotās granulas ir jānobriedina, līdz tās ir zaudējušas pietiekamu daudzumu putošanas aģenta, kamēr zema blīvuma priekšputotās granulas ir jānobriedina īsāku laiku, bet ne tik ilgi, lai notiktu pārāk liels pentāna zudums. Abos gadījumos starpnobriedināšana samazina atlikušā mitruma proporciju pietiekami, lai nodrošinātu netraucētu pārvietošanu apstrādes laikā. Ir labi, ja ūdens masas daļa pirms veidošanas ir 0,5-1,0%, jo tad tas samazina iespēju uzkrāt elektrostātiskos lādiņus. Praksē visiem produktiem ir nepieciešams, lai priekšputotās granulas veidotu pēc iespējas īsākā nobriedināšanas periodā un lai tās daudz nemainītos pat pie garāka nobriedināšanas perioda. Piemēram, materiālam ar blīvumu diapazonā 15-20 kg/m³ nobriedināšanas laiks parasti ir no 12-24 h [6].

Trešajā posmā – izstrādājumu veidošanas laikā – izmantojot tvaiku, priekšputotās putu polistirola granulas veidnē (blokformā, presformā) tiek uzputotas tālāk, līdz tās sakūst kopā, veidojot veidnes formu.

1.attēls uzskatāmi parāda veidošanas procesa periodus.



1.att. Eksperimentāli iegūtās putu polistirola spiediena līknes

Aizvērta veidne tiek papildīta ar priekšputotām granulām. Pēc tam seko straujš spiediena kritums (1. un 2.periods).Veidnē esošais gaiss un ūdens tvaiki tiek aizvadīti, veicinot

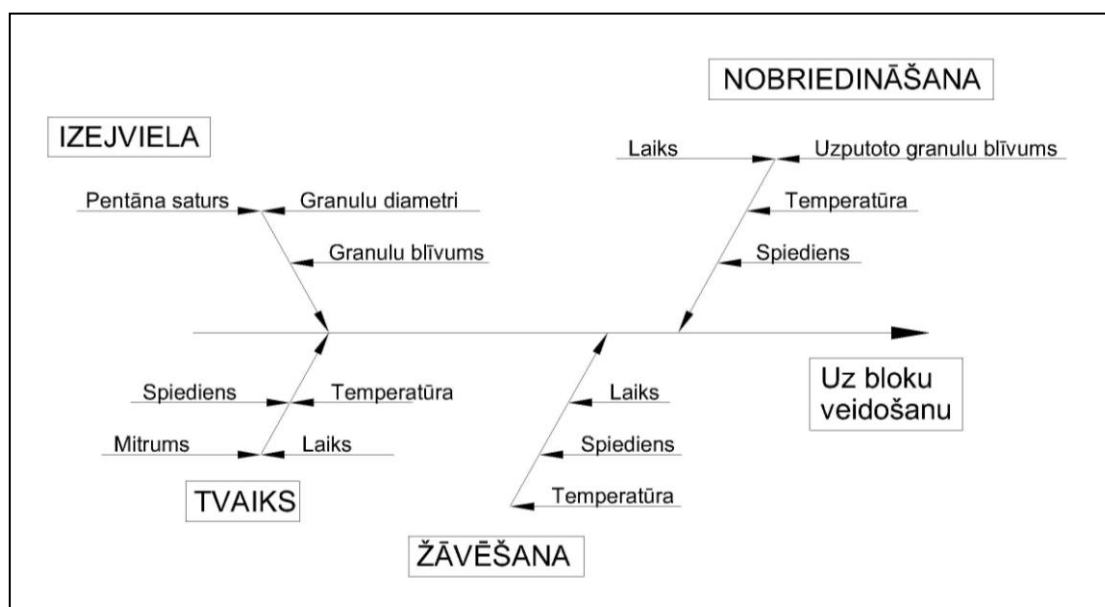
pievadītā tvaika vienmērīgu sadalījumu visā veidnes tilpumā. Tvaicēšanas posmā veidnē pievada tvaiku līdz tiek sasniegts atmosfēras spiediens (3.periods). Kad atmosfēras spiediens ir sasniegts, tiek atvērti ventiļi, lai no veidnes izvadītu radušos kondensātu (4.periods). Tad tiek palielināts tvaika spiediens (5.periods). Tvaiks, paaugstinot temperatūru veidnes iekšienē, veicina uzputotā materiāla mīkstināšanos un izplešanos. Tā kā veidnes tilpums ir nemainīgs, granulām izplešoties, notiek to sakušana. Stabilizēšanas periodā (6.periods) tvaika spiediens tiek saglabāts uz īsu mirkli (3-10 sek.). Tā rezultātā notiek produkta galīgā sakušana. Atdzesēšanas periodā tiek izvadīts veidnē atlikušais kondensāts (7.periods). Tālāk tiek atkal pielietots vakuums (8.periods). Veidnē atlikušais kondensāts tiek izdalīts. Šajā ciklā bloks atdziest. Kad vakuums veidnē sasniedz vērtību, kas ir tuvu 0,1 bar, process tiek apturēts. Veidnes spiedienam sasniedzot atmosfēras apstākļus, veidni atver un putu polistirola bloks tiek izņemts ar izgrūdēja palīdzību.

Kopējais veidošanas cikls parasti ilgst 3-15 min (atkarībā no bloku veidnes tipa un uzputoto lodīšu blīvuma). No veidnes izņemtā bloka temperatūra ir apmēram 90-95°C un šūnās vēl aizvien ir zināms vakuums. Tādēļ ir jānovērš temperatūras „šoks”, (tā rezultātā bloks var sarauties). Svaigiem blokiem parasti ļauj nostabilizēties vismaz 24 h nešokējošā atmosfērā (telpās ar pēc iespējas vienmērīgu temperatūru un gaisa mitrumu) [7].

Materiāli un metodes

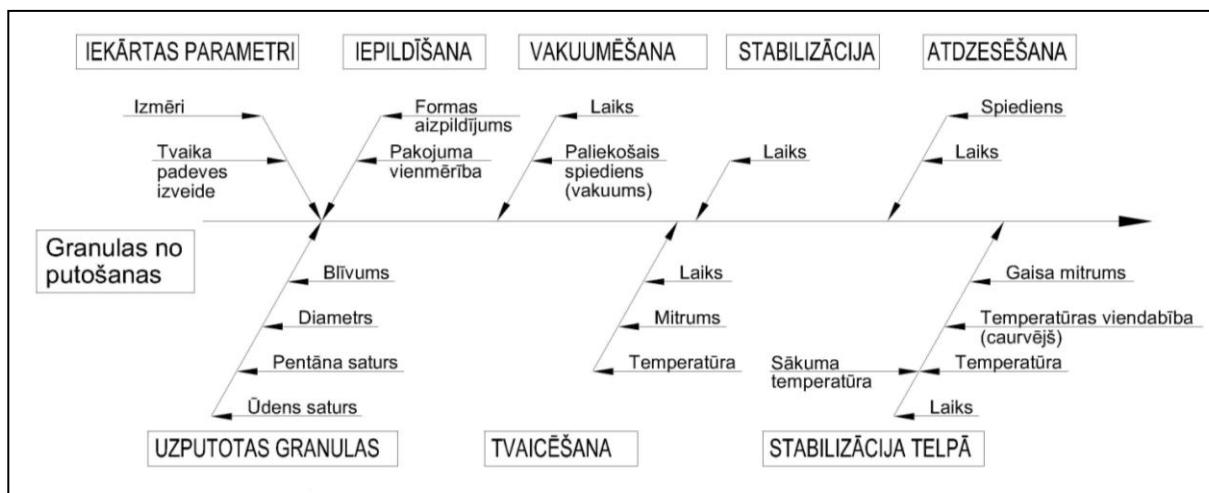
Putu polistirola izejvielu granulas ir ļoti dažāda izmēra no 0,3 līdz 1,5 mm, kā arī ar dažādu pentāna saturu – 4-9%. Katrai granulu grupai un produkta izveidei ir nepieciešams konkrēts parametru kopums, ka radītu kvalitatīvu un pēc nepieciešamības atbilstošu produktu.

No ražošanas procesa apraksta var secināt, ka ir ļoti daudzi putu polistirola izstrādājumu kvalitāti ietekmējošie faktori; līdz ar to ir nepieciešams diskriminēt būtiskos un mazāk būtiskos parametrus. Šim nolūkam tika izveidota putu polistirola ražošanas posmu cēloņu un seku diagramma (2.att. priekšputošanas un starpnobriedināšanas procesam, 3.att.- bloku veidošanas procesam).



2.att. Izejvielu granulu priekšputošanas un starpnobriedināšana

Izmantojot diagrammas datus, tika izvēlēta būtiskāko parametru kopa un veikti eksperimenti. Piemēram, tika noteikts nepieciešamo putu polistirola lodīšu uzputošanas laiks un nepieciešamā tvaika temperatūru dažādām granulām.



3.att. Bloku veidošana

Rezultāti un to izvērtējums

Kā redzams, procesu iespaidojošie parametri ir stipri korelēti, vienas stadijas izejošie parametri būtiski iespaido sekojošos procesus. Piemēram, izejmateriāla (granulu) īpašības ietekmē visus tālākos procesus. Tādēļ pirmajā eksperimentu sērijā tika pētīta izejmateriāla granulometrijas, blīvuma un pentāna satura ietekme uz iegūtā materiāla īpašībām putošanas un starpnobriedināšanas stadijā. Pārējo parametru ietekme šinī stadijā ir pakārtota, to ietekme ir mazāk būtiska un tie ir jāpiemeklē atbilstoši katram izejmateriālam.

Bloku veidošanas procesā būtiskākie parametri, kurus iespējams operatīvi regulēt, ir uzputoto granulu īpašības (no iepriekšējās stadijas), tvaicēšanas laiks un tvaika temperatūra un bloku stabilizācija. Bloku stabilizācijas procesā ir būtisks stabilizācijas laiks un spiediena režīms. Šie parametri tiek pētīti tālākajos eksperimentos.

Secinājumi

Cēloņu-secu diagramma ir parocīgs instruments sarežģītu vairāku stadiju procesu analīzei, kas dod iespēju *a priori* analizēt procesu ietekmējošo parametru skaitu, to ietekmi uz gala produkta kvalitāti, diskriminēt mazāk būtiskos parametrus no ietekmīgajiem un samazināt sekojošo eksperimentu skaitu.

Summary

The products of expanded polystyrene are widely used in different spheres. Most often they are used as packing and heat insulation material as well as material in different building spheres [1]. The expanded polystyrene as material has very good constructive properties, for example, sufficient strength, low water absorption, variable density, and water and heat resistance [2].

The raw material of expanded polystyrene products is shaped as beads (granules) from pentanic thermoplastic polystyrene. Pentane is acting as a foaming agent. Heating the EPS beads, usually with vapour, polystyrene softens but at the same time the pentane is making vapour with high volume, as a result of which the “foaming” of polystyrene takes place and the polystyrene structure of closed cells develops [3].

There are several stages in the manufacturing of expanded polystyrene, which begin with pre-expansion. The pre – expanded polystyrene is produced by processing EPS granules with vapour. Depending on material density and the length of processing of the foamed material, it is possible to get pre-expanded material with density from 0,016 g/m³ to 0,56 g/cm³ [4]. When at the end of pre – expansion process the vapour feeding is interrupted and the granules are cooled, vapour and evaporable foaming agent (pentane) condense in the foam cell-shaped

structure. The increase of granule volume and decrease of the density depend on the temperature and aging time in the pre - expander.

The stabilizing of the pre-expanded material is the second step of the expanded polystyrene manufacturing process – in this stage the elasticity of the pre-expanded granules is recovered with air diffusing in the cells. A certain time has to pass until they get sufficient mechanical strength, thus the granules of the foamed expanded polystyrene are “aged” in open containers for several hours. The air amount depends on mainly the size, density and temperature of the beads. High density pre-expanded granules have to be aged until they have lost sufficient amount of the foaming agent, while low density beads have to be aged for a shorter time, however not for long, so that the loss of pentane is too high. For example, for material with density in range 15 – 20 kg/m³ the aging time is usually 12 – 24 hours [6].

In the third stage – during the product manufacturing using vapour the pre-expanded granules are foamed further in a mould (block form, press mould) until they fuse together forming the form of the mould. The total moulding cycle usually lasts from 3 – 15 minutes (depending on block mould type and foamed bead density). The temperature of the block taken out of the mould is approximately 90 – 95 °C and there is still certain vacuum in the cells. Thus, the temperature “shock” has to be prevented (block could shrink in the result of it). Fresh blocks are usually allowed to stabilize for at least 24 h in a non-shocking atmosphere (the room has to have as steady temperature and air humidity as possible) [7].

From the manufacturing process description we could conclude that there are very many factors defining the quality of expanded polystyrene; thus it is necessary to discriminate the essential parameters and those of less importance. For this reason the cause and effect diagram of expanded polystyrene manufacturing stages was developed (Fig. 2 for pre-expansion and intermediate aging processes, Fig. 3 for block moulding process).

Using the diagram data we have chosen the set of the most essential parameters for us and have performed experiments.

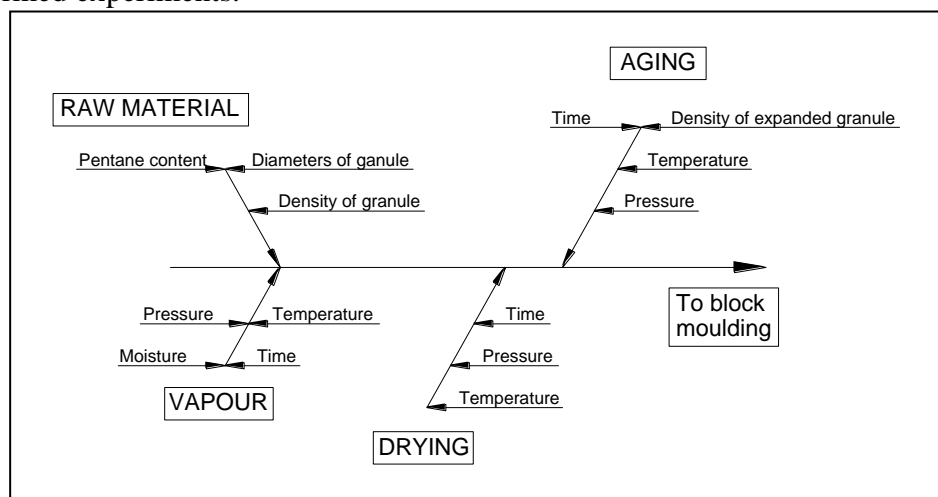


Fig. 2. Pre-expansion and intermediate aging processes

As it can be seen the parameters influencing the process are highly correlated, the outgoing parameters of one stage essentially influence the following stages.

That is why in the first experimental series the influence of granulometry, density and pentane content of the raw material on the properties of the produced material in foaming and intermediate aging stages was studied. The influence of the rest parameters in this stage is subordinate, their influence is less essential and they have to be defined suitable for each raw material.

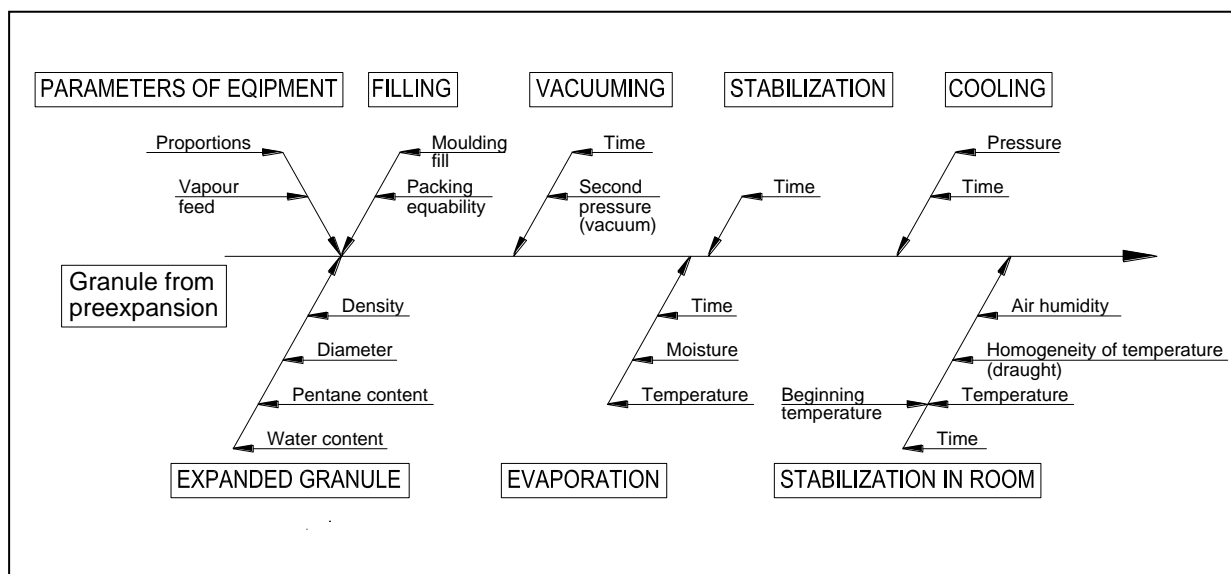


Fig. 3 Block moulding process

In the block moulding process the most essential parameters, which can be operatively regulated, are the properties of the foamed granules (from the previous stage), vapourising time and vapour temperature and block stabilizing. In the block stabilizing process the stabilizing time and pressure regime are important. These parameters are being researched in the further experiments.

Cause and effect diagram is a useful tool in an analysis of complicated multi-stage process giving possibility to analyze apriori the number of process influencing parameters, their influence on the quality of the end product, to discriminate the less essential parameters from the important ones and decrease the number of further experiments.

Literatūra

1. Mills N. Polymer Foams Handbook: Engineering and Biomechanics Application and Design Guide. Elsevier, 2007. p. 535.
2. Vaitkus S., Laukaitis A., Gnipas I., Keršulis V., Vējelis S. Experimental Analysis of Structure and Deformation Mechanisms of Expanded Polystyrene Slabs, Material Science, 2006. 12, No. 4, p. 323-327.
3. Coquard R., Baillis D., Modeling of Heat Transfer in Low- Density EPS Foams, Journal of Heat Transfer, 2006. p. 536-549.
4. Chanda M., Roy S.K. Plastics Technology Handbook, CRC Press Taylor&Francis Group, New York, 2007.
5. Basf Technical Information, Preexpansion of Styropor, 2001. 540, p. 1-5.
6. Basf Technical Information, Intermediate aging of Preexpanded Styropor, 2001. 570, p. 1-3.
7. Huntsman Technical Bulletin, Introduction of Expandable Polystyrene, 2001. 1-1.0, p. 1-10.