

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Olīta MEDNE

**PUTU POLISTIROLA IZSTRĀDĀJUMU
RAŽOŠANAS PROCESA PĒTĪJUMI**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2011

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūts

Olīta MEDNE
Doktora studiju programmas „Ķīmijas tehnoloģija” doktorante

**PUTU POLISTIROLA IZSTRĀDĀJUMU
RAŽOŠANAS PROCESA PĒTĪJUMI**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs:
Doc., Dr.sc. ing. I. DREIJERS

Rīga 2011

UDK
678.746.2:66.02(043.2)
Me 100 p

Medne O. Putu polistirola izstrādājumu ražošanas
procesa pētījumi. Promocijas darba kopsavilkums.-
R.:RTU, 2011.- 39 lpp.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas
„Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem”
projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” atbalstu.

ISBN 978-9934-8258-2-8



**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
ĶĪMIJAS INŽENIERZINĀTNES NOZARĒ
VISPĀRĪGĀS ĶĪMIJAS TEHNOLOĢIJAS APAKŠNOZARĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2011. gada 27. decembrī Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, Āzenes ielā 14/24, 272. auditorijā.

OFICIĀLIE OPONENTI

Profesors, Dr.sc.ing. Jurijs Ozoliņš
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.habil.chem. Fricis Avotiņš
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.chem. Viesturs Zeltiņš
Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūts

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Olīta Medne

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, literatūras apskatu, eksperimentālo daļu, rezultātus un to izvērtējumu, secinājumus un izmantotās literatūras sarakstu. Saturs izklāstīts uz 127 lapaspusēm. Darbs satur 99 attēlus, 15 tabulas un izmantotās literatūras sarakstu, kas ietver 86 literatūras avotus.

DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte. Putu polistirola izstrādājumi ir slēgtu šūnu, termoplastiski, neelastīgi putu struktūras materiāli uz polistirola bāzes [1]. Jau desmitiem gadu tos plaši pielieto kā siltumizolācijas materiālus. Tā ražošanas apjoms Latvijas uzņēmumā SIA „Tenapors” sasniedz 100 000 m³/ gadā.

Putu polistirola izstrādājumu ražošana ir daudzpakāpju process, kas ir atkarīgs no ļoti liela (> 40) savstarpēji korelētu parametru skaita.

Granulu putu polistirola (EPS) izstrādājumu struktūra lielizmēra blokos nav viendabīga attiecībā uz blīvumu, saķepšanas līmeni, porainību, mehāniskajiem spriegumiem, izturību u.c. faktoriem. Viendabīgums ir atkarīgs no ražošanas tehnoloģijas un izejvielu īpašībām. Neviendabīguma rezultātā var rasties plaisas, iekšējie spriegumi, kuri rada sagrieztu plāksņu izliekumu un termisko vai mehānisko īpašību neatbilstību normām. Tirgū nonāk tikai normām atbilstošs produkts. Nekvalitatīva produktu pārstrāde rada izejmateriāla zaudējumus ražotājam, kā arī lieki patērē energoresursus un palielina izmešus. Mērķtiecīgi izpētot granulu putu polistirola izstrādājumu ražošanas procesu, ir iespējams samazināt atgriezumus un novērst nelietderīgi izmantotu resursu patēriņu.

Literatūras datu analīze ļauj secināt, ka granulu putu polistirola izstrādājumu ražošanas process no lielizmēra blokiem praktiski nav pētīts. Nav atrastas kopsakarības EPS izstrādājumu īpašību izmaiņām lielizmēra blokā atkarībā no pielietotajiem tehnoloģiskajiem parametriem rūpnieciskos apstākļos. Literatūrā aprakstītie eksperimenti ar maza izmēra modeļiem nav pārnēsami un izmantojami uz reālajiem rūpnieciskajiem procesiem.

Darba mērķis

Šī **darba mērķis** ir pētīt EPS izstrādājumu ražošanas procesu un konstatēt likumsakarības, kas ietekmē īpašību sadalījumu lielizmēra granulu putu polistirola bloku tilpumā atkarībā no tehnoloģiskajiem parametriem.

Uz pētījumu pamata optimizēt putu polistirola lielizmēra bloku ražošanas tehnoloģiju rūpnieciska mēroga ražošanas iekārtās, uzlabojot izstrādājumu kvalitāti.

Darbs ir veikts sadarbībā ar uzņēmumu SIA „Tenapors”.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- uz literatūras datu analīzes pamata izvērtēt ražošanas parametru ietekmi uz izstrādājumu īpašībām un struktūru;
- analizēt tehnoloģisko procesu rūpniecībā (uzņēmumā SIA „Tenapors”);
- analizēt izejvielu granulometriskā sastāva ietekmi uz rūpnieciski ražoto izstrādājumu īpašībām un struktūru;
- izvērtēt un identificēt galvenos tehnoloģiskos parametrus, kuri izraisa iekšējos spriegumus un īpašību izkliedi lielizmēra bloku tilpumā;
- analizēt rūpnieciski ražoto EPS izstrādājumu mehānisko parametru sadalījumu lielizmēra bloku tilpumā pie dažādiem ražošanas režīmiem;

- izstrādāt un ieteikt ražotājam paņēmienus un metodes gala produkta kvalitātes uzlabošanai.

Darba zinātniskā nozīmība un novitāte:

- pirmo reizi pamatojoties uz sistemātiskiem rūpnieciska mēroga ražošanas procesa pētījumiem analizēta putu polistirola lielizmēra bloku mehānisko īpašību anizotropija tilpumā un pētīta ražošanas parametru un izmantoto izejvielu ietekme uz īpašībām:
 - analizēta tvaika plūsmas izplatība un ietekme uz EPS graudu slāni bloka tilpumā;
 - analizēta tvaika plūsmas ietekme uz slēgti porainu EPS graudu uzpuošanos un saķepšanu atkarībā no tvaika padošanas intensitātes;
 - noteiktas sakarības starp tilpummasu, spiedes spriegumu un stiepes izturību, un EPS bloka kvalitāti.

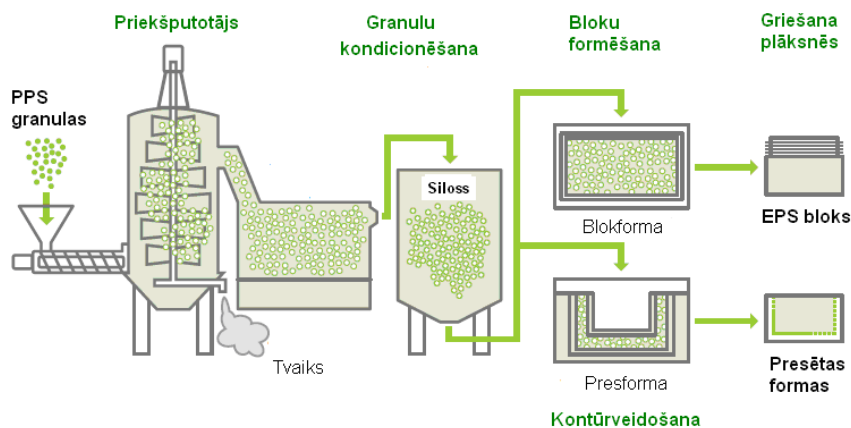
Darba praktiskā nozīmība:

- noskaidrota formēšanas procesa parametru ietekme uz putu polistirola izstrādājumu īpašībām un īpašību izkliedi lielizmēra blokos;
- izstrādāts ražošanas tehnoloģisko parametru kopums viendabīgāku putu polistirola izstrādājumu iegūšanai un kvalitātes uzlabošanai;
- izstrādātas konkrētas rekomendācijas putu polistirola izstrādājumu kvalitātes uzlabošanai (mehānisko īpašību neviendabības (tilpummasas un spiedes sprieguma) samazinājums par 15 %);
- iegūtie rezultāti praktiski izmantoti uzņēmuma SIA “Tenapors” produktu ražošanas tehnoloģijas pilnveidošanai.

LITERATŪRAS APSKATS

Literatūras apskatā izvērtēta publiski pieejamā informācija laika periodā no 1981. līdz 2010. gadam. Ir veikta zinātniskās literatūras un tehniskās informācijas materiālu analīze par putu polistirola izstrādājumu ražošanas tehnoloģisko procesu, kas ietver: izejmateriāla priekšputošanu, priekšputotā materiāla stabilizēšanu, EPS bloku formēšanu, gatavo bloku stabilizēšanu un griešanu plāksnēs (1. att.).

Dots putu polistirola izstrādājumu uzbūves un struktūras raksturojums. Analizēta procesu parametru ietekme uz izstrādājumu īpašībām.



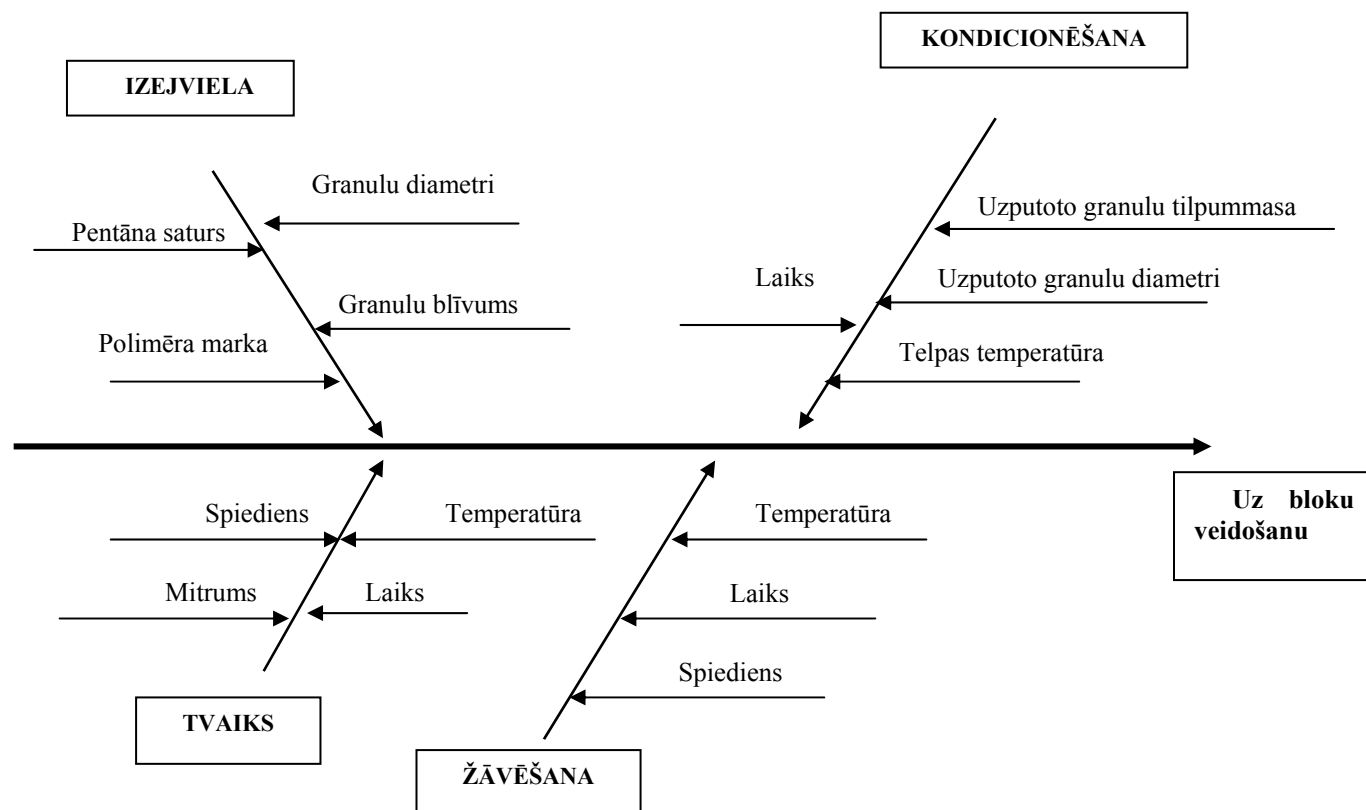
1. att. Putu polistirola izstrādājumu ražošanas tehnoloģiskais process [2]

No literatūras apskata un ražošanas procesa analīzes SIA „Tenapors” uzņēmumā, kur veikti eksperimenti, noskaidrots, ka EPS izstrādājumu ražošanas process no lielizmēra blokiem ir sarežģīts daudzpakāpju process. Tas ir atkarīgs no ļoti liela savstarpēji korelētu parametru skaita. Nav praktisku iespēju veikt procesa optimizāciju variējot visus parametrus. Tādēļ veikta lielizmēra bloku ražošanas procesa un no tiem iegūto izstrādājumu kvalitātes cēloņu – seku analīze, lai identificētu svarīgākos parametrus un to savstarpējās sakarības.

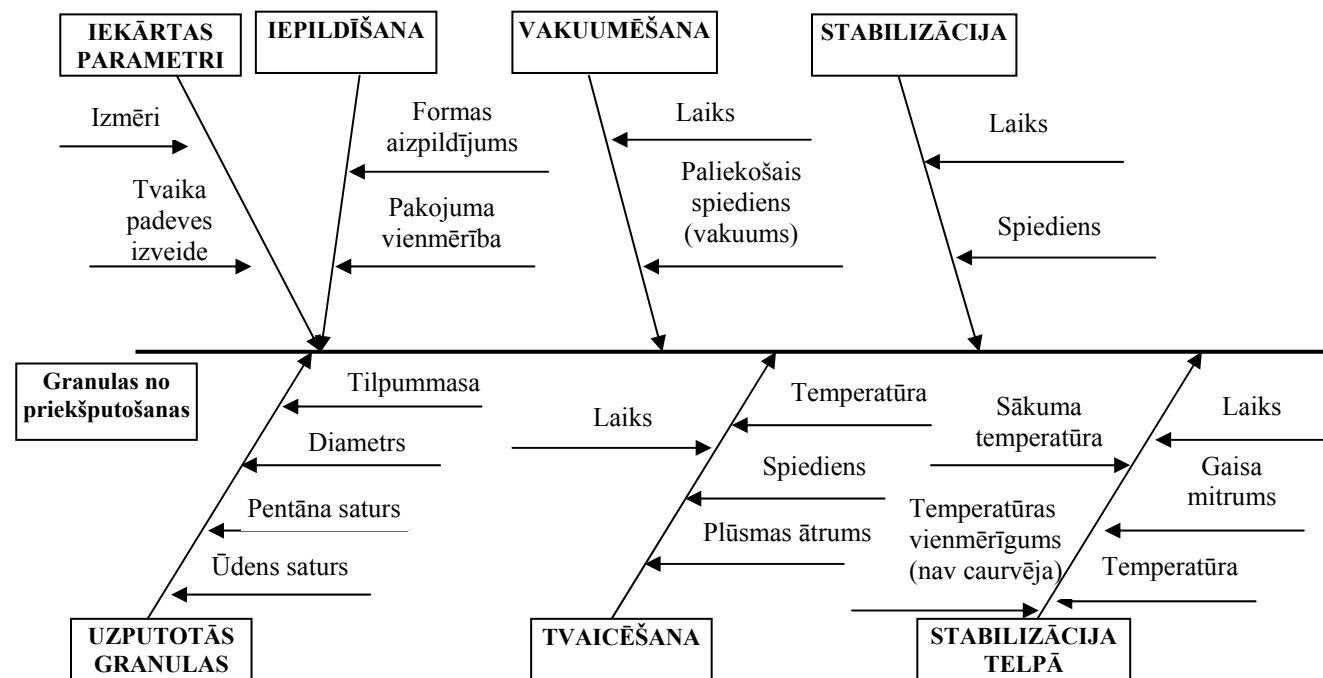
Galvenās literatūras apskata vadlīnijas priekšputošanas un formēšanas procesam atspoguļotas 2. un 3. attēlā.

No priekšputošanas cēloņu un seku diagrammas var secināt, ka viens no gala produkta kvalitātes noteicošajiem faktoriem ir izejvielu īpašības, bet formēšanas procesā kā būtiskākie pētījumiem tika atzīti:

- uzputoto granulu raksturlielumi – granulu izmēri, tilpummasa, struktūra un kondicionēšanas laiks;
- blokformas tvaika parametru maiņa – plūsmas ātrums, virziens, spiediens un apstrādes laiks.



2. att. Priekšputošanas procesu ietekmējošie parametri



3. att. Formēšanas procesu ietekmējošie parametri

PARAUGU SAGATAVOŠANA UN PĒTĪŠANAS METODES

1. Izmantotās izejvielas un paraugu sagatavošana

Putu polistirola izstrādājumus ražo, izmantojot putu polistirola granulas, kas ir magoņsēklas lielumā ar polistirolā izšķīdušu pentānu, kas pārklātas ar vasku, lai novērstu pentāna zudumus.

Izmantotās izejvielas ir ar atšķirīgu granulu diametru, granulometrisko sastāvu un pentāna saturu. Izejvielu raksturojums dots 1. tabulā, kur granulas ar lielāka izmēra diametriem ir D un E, bet ar mazākiem diametriem – B, C, G.

1. tabula

Izmantoto izejvielu raksturojums

Izejvielas marka/ ražotājs	Pentāna saturs, %	Granulu izmēri, mm	Apzīmējums
Styropor F395 / BASF	4,1 – 4,6	0,7 – 1,1	B
Styropor F295 / BASF	4,1 – 4,6	1 – 2,3	D
NF-714/StyroChem	6 – 7	0,7 – 1,1	C
RF23M/ IneosNOVA	5	0,9 – 1,5	E
RF33M/ IneosNOVA	5	0,6 – 1,1	G

*- Bloku marķēšanai izmantojam apzīmējumu – burtu ar pievienotu ciparu, piemēram, izejvielai F295, D1 vai D2, kas norāda, ka izejvielām atšķirīgas ir ražotāja partijas, granulometriskais sastāvs.

Paraugi sagatavoti atbilstoši 1. attēlā dotajam tehnoloģiskajam procesam izmantojot reālas rūpnieciskas iekārtas:

- granulu priekšputošanai – nepārtrauktas darbības putotājs (Hirsch Preex 1200);
- bloku formēšanai – blokforma ar izmēriem 4 m x 1 m x 1,2 m (Kurtz VSD 4600).

Priekšputošana

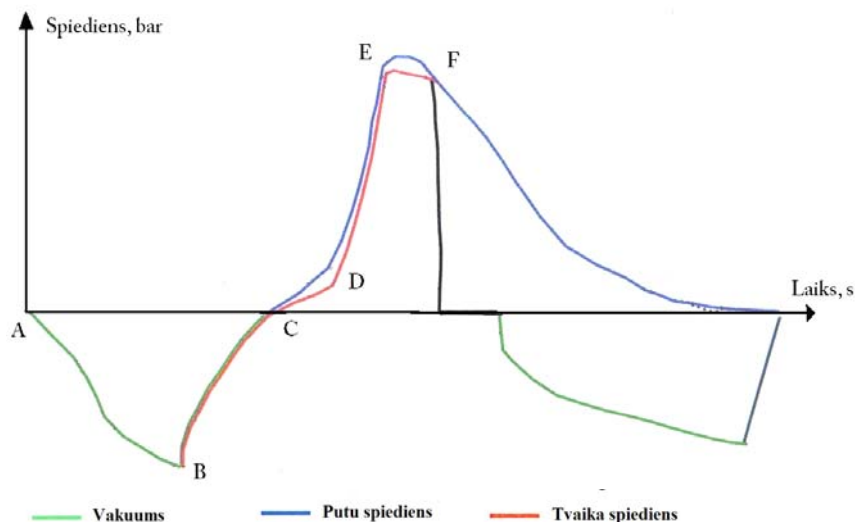
Katrai izejvielai izmantoti nedaudz atšķirīgi priekšputošanas apstākļi, atbilstoši izejvielas parametriem, un tai sekojoša granulu kondicionēšana.

Bloku formēšana

4. attēlā parādīta tipiska putu polistirola bloka formēšanas cikla līkne, kas atspoguļo vakuuma, tvaika spiediena un putu spiediena vērtību maiņu laikā.

Eksperimentos izmantoti dažādi putu polistirola bloku formēšanas tehnoloģiskie parametri, variējot ar spiedienu un laiku:

- vakuuma posmā ;
- atmosfēras spiediena sasniegšanas un pirmējā tvaicēšanas posmā;
- tvaika trieciena posmā.



4. att. Bloku formēšanas parametru līkne [3]

AB - vakuuma posms; BC - atmosfēras spiediena sasniegšanas posms;

CD - pirmējā tvaicēšana; DE - tvaika trieciens; EF - otrējā tvaicēšana

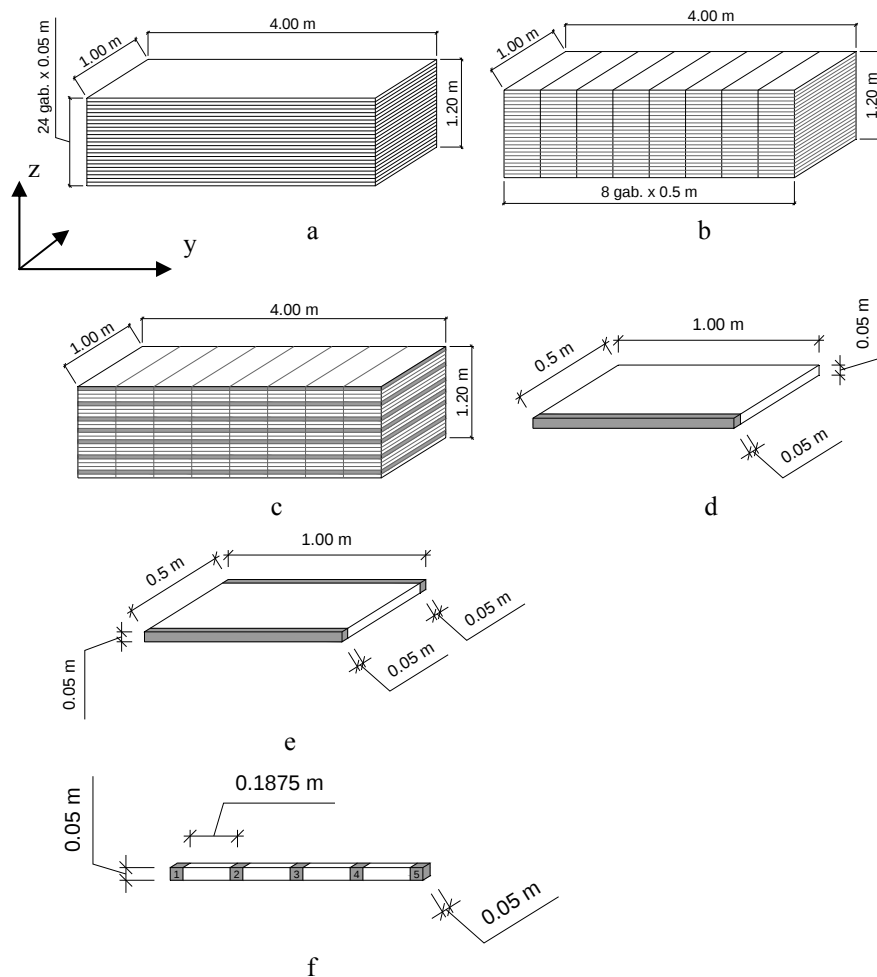
2. Paraugu iegūšana no putu polistirola blokiem

Paraugu izmēriem, novietojumam un virzienam, kādā tie tiek izņemti no bloka ir liela nozīme bloku īpašību, it sevišķi, nevienādības analīzē [4].

No izgatavotā EPS bloka (ar izmēriem 4m x 1m x 1,2m), kas kondicionēts telpas apstākļos (20 ± 3 °C), tiek izgriezti (50 x 50 x 50) mm paraugi.

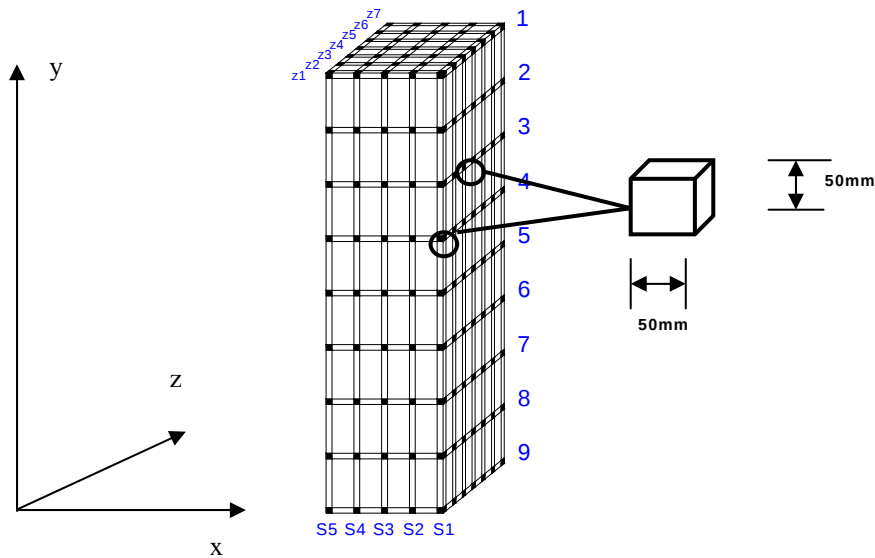
Sākmā bloks tiek novietots uz griešanas līnijas uz sāna, ar zināmu blokformas durvju virzienu. Horizontālās karstās stieples sagriež bloku divdesmit četrās plāksnēs ar izmēriem 4m x 1m x 0,05 m (5.a att.). Katra no šīm plāksnēm, kas atrodas viena virs otras, tiek sagrieztas ar vertikālajām stieplēm 8 sloksnēs tā, ka katras sloksnes izmērs ir 0,5 m x 1m x 0,05m (5.b att.) No visām sloksnēm tiek izvēlētas 56 sloksnes, kas attēlā iezīmētas pelēkā krāsā (5.c att.). 49 sloksnēm tiek nogriezta sleja no sloksnes labās sānu malas ar izmēru 0,05 m x 0,05 m x 1 m (5.d att.), bet vēl atlikušajām 7 sloksnēm, kuras atrodas horizontāli novietotā bloka kreisajā malā, tāda paša izmēra slejas (5.e att.) no abām sloksnes garākajām malām. No iegūtajām slejām izgriež 5 paraugus ar izmēriem 0,05 m x 0,05 m x 0,05 m precīzi atzīmētajās vietās (5.f att.) un fiksē parauga numuru, kas dod iespēju salīdzināt iegūtos viena bloka datus ar cita bloka paraugu datiem, kuri atrodas tajā pašā bloka vietā.

Tādā kārtā no katra bloka tiek izgriezti 315 paraugi tālākai mehānisko un citu īpašību noteikšanai.



5. att. Paraugu iegūšana no EPS bloka

Turpmākajā tekstā paraugi tiek identificēti ar pārbaudāmā bloka apzīmējumu un parauga atrašanās vietu blokā. Tātad $z_1, z_2 \dots - z_7$ apzīmē plāksnes numuru no bloka priekšpuses attēlā; 1, 2 ... līdz 9 (y ass) – vertikālās sloksnes numurs dotajā plāksnē z_i , bet $S_1, S_2 \dots$ līdz S_5 – parauga numurs sloksnē (skat. 6. att.). Izgriezto 315 paraugu novietojums blokā parādīts 6. attēlā.



6. att. Paraugu novietojums EPS blokā

3. Pētīšanas metodes

Izejmateriāla pētīšanai izmantota granulometriskā sastāva noteikšana.

Priekšputotā putu polistirola pētīšanai izmantotas sekojošas metodes:

- priekšputotu granulu struktūras pētījumi;
- granulometriskā sastāva noteikšana.

Iegūto putu polistirola izstrādājumu īpašību raksturošanai noteikts:

- spiedes spriegums pie 10 % deformācijas;
- tilpummasa;
- stiepes stiprība;
- ilglaicīgā ūdens absorbcija, pilnīgi iegremdējot paraugu ūdenī;
- siltumvadītspējas koeficients.

Paraugu īpašības tiek testētas atbilstoši EN 13163 un ar to saistošajām normām - spiedes spriegums pie 10 % deformācijas (EN 826), stiepes stiprība (EN 1607), tilpummasa (EN 1602) un ilglaicīgā ūdens absorbcijas, pilnīgi iegremdējot ūdenī (EN 12087).

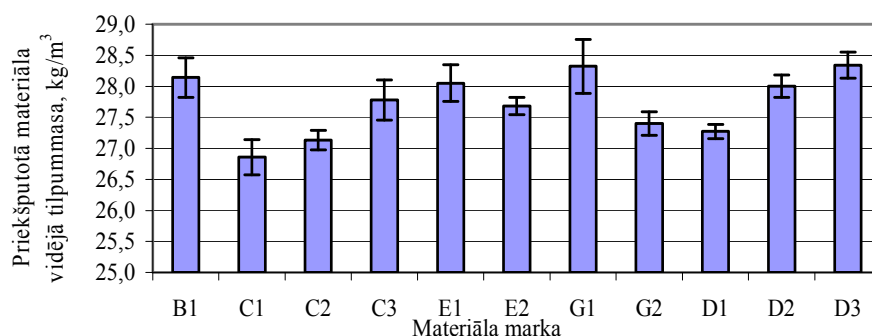
Starpprodukti un iegūtie izstrādājumi pētīti izmantojot mūsdienīgu pētniecisku aprīkojumu:

- svāri Kern 440 izmantoti paraugu masas noteikšanai;
- granulometriskā sastāva noteikšanai izmantota iekārta Retsch AS200 ar mehānisko sijāšanu;
- granulu mikrostruktūras pētīšanai izmantots skenējošais elektronu mikroskops (SEM) Mira\ LMU (Tescan);
- paraugu makroskopisko pētījumu veikšanai izmantots Leica MZ 16 A, DFC490 stereomikroskops;
- paraugu stiepes stiprības noteikšanai izmantota Tinius Olsen H25T iekārta;
- paraugu siltumvadītspējas koeficienta noteikšanai izmantots LaserComp FOX600 sērijas instruments;
- materiālu pārbaude spiedē veikta, izmantojot Instron 1011, 4301 iekārtu.

REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

1. Priekšputošana

Ļoti svarīgs process ir putu polistirola izejvielas priekšputošana. No šī posma ir atkarīga iegūtā produkta tilpummasa. Izmantojot dažāda granulometriskā sastāva, granulu izmēra un pentāna satura izejvielas, to priekšputošanas apstākļi ir jāizvēlas atšķirīgi. Lai nodrošinātu gatavā izstrādājuma nepieciešamo tilpummasu 30 kg/m^3 , priekšputotu granulu tilpummasai ir jābūt robežās no $26,5$ līdz 28 kg/m^3 . Eksperimentos izmantotas dažādas izejvielas (izejvielu raksturojumu sk. 1. tabulā) ar atšķirīgu priekšputoto granulu vidējo tilpummasu (7. att.).



7. att. Priekšputota putu polistirola granulu vidējās tilpummasas

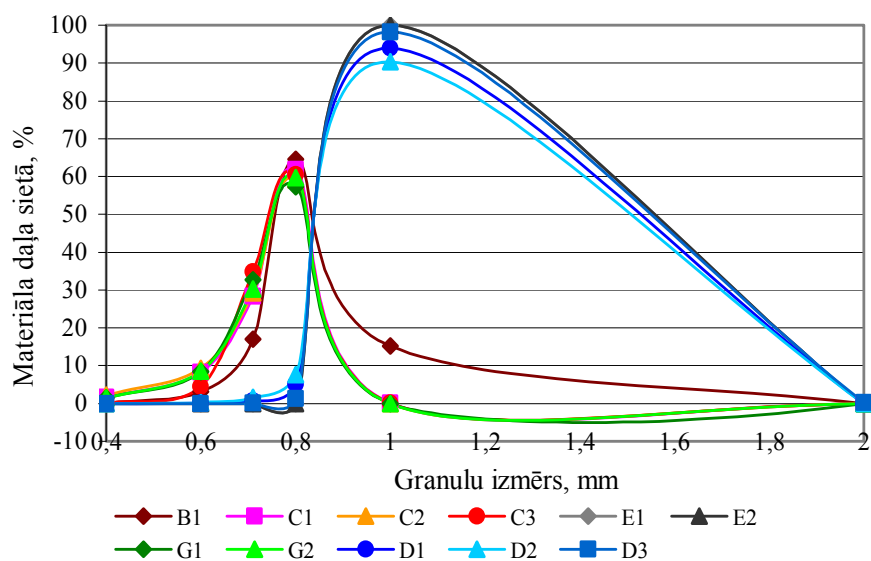
2. Granulometriskā sastāva izmaiņas

Lai noskaidrotu granulometriskā sastāva izmaiņas priekšputošanas laikā, nosaka granulometrisko sastāvu neputotām putu polistirola granulām un priekšputotām putu polistirolam.

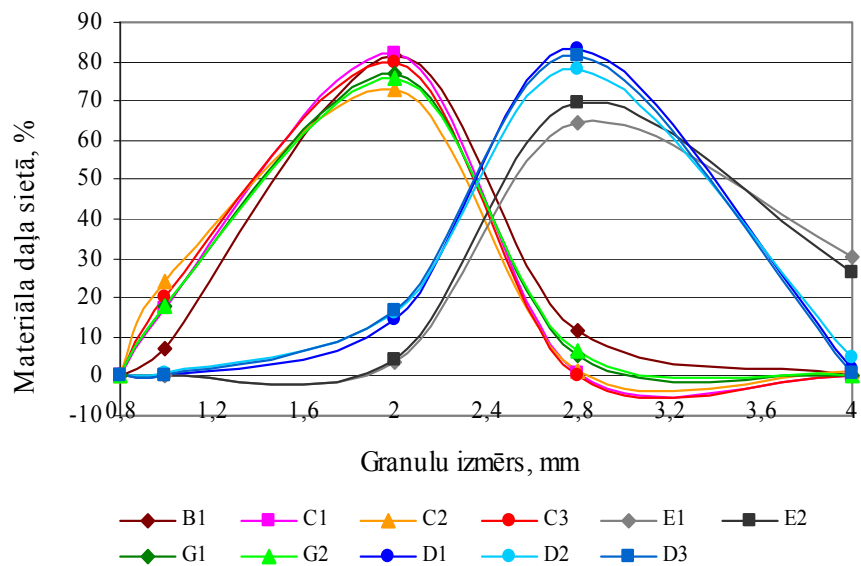
Iegūtā granulometriskā sadalījuma dati neputotām putu polistirola granulām atspoguļoti 8. att.

Kā redzams, izmantotie materiāli pēc granulu izmēra sadalījuma grupējas divās raksturīgās grupās; viena ar maksimumu 0,8 mm un otra ar maksimumu 1 mm. Abi sadalījumi ir ar izteiktu asimetriju (B1, C1, C2, C3, G1, G2 negatīvā virzienā, E1, E2, D1, D2, D3 – pozitīvā virzienā). Kā redzams, arī viena un tā paša materiāla dažādas partijas var atšķirties pēc granulometriskā sastāva, kā tas novērojams ar paraugiem D1 un D2 salīdzinot ar D3.

Granulometriskais sastāvs uzputotām putu polistirola granulām attēlots 9. attēlā. Var secināt, ka putu polistirola granulas visumā uzputojas proporcionāli attiecībā pret neputotas izejvielas granulu maksimālo izmēru un sadalījuma raksturs (asimetrija) nemainās.



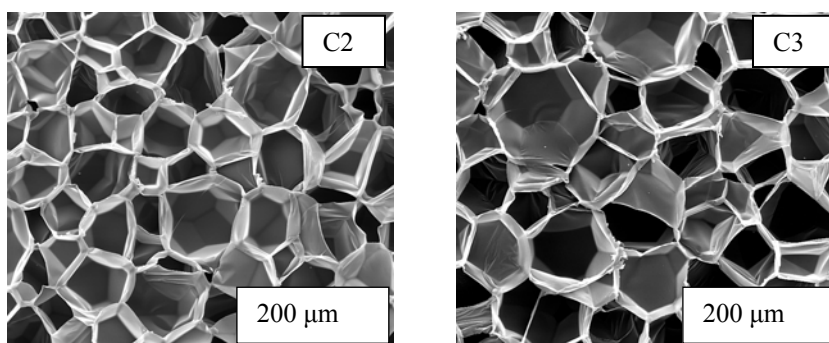
8. att. Neputotu putu polistirola granulu granulometriskais sastāvs



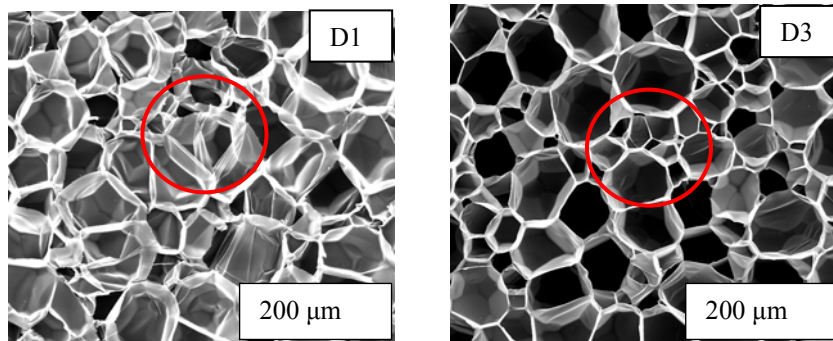
9. att. Priekšputota putu polistirola granulometriskais sastāvs

3. Priekšputošanas procesa parametru ietekme uz putu polistirola granulu struktūru

Pamatojoties uz priekšputotā putu polistirola atsevišķu granulu šķērsgriezumu SEM mikrofotogrāfijām, konstatēts, ka granulu struktūrā ir nelielas atšķirības granulu šūnu izmēros un sadalījumā (10 att.).



10. att. Priekšputota putu polistirola granulu šķērsgriezuma SEM mikrofotogrāfijas



10. att. (turpinājums) Priekšputota putu polistirola granulu šķērsriezuma SEM mikrofotogrāfijas

Priekšputotā putu polistirola granulām no izejvielām - D1, D3, E1 un E2 – struktūrā konstatētas arī sīkas šūnas, kas varētu būt raksturīgs putu polistirola granulām ar izmēru robežās 0,8 – 2 mm, kad to šūnu augšana, apstrādājot ar tvaiku, nenotiek tik vienmērīgi kā granulās ar mazāku granulu diametru 0,6 – 1 mm.

Priekšputotā putu polistirola granulu šūnu lielums ir atkarīgs no putošanas parametriem. Var secināt, ka izvēlētie priekšputošanas parametri nodrošina dažādu izejvielu uzputošanu līdz nepieciešamajai tilpummasai ($26,5 - 28 \text{ kg/m}^3$).

4. Priekšputotā putu polistirola granulu kondicionēšana

Izanalizējot dažādu pielietoto izejvielu formēšanas procesa stabilizācijas laiku atkarību no priekšputotu granulu kondicionēšanas laikiem, eksperimentālā ceļā iegūti optimālie stabilizācijas laiki, kas nodrošina bloku kvalitāti un neplaisāšanu. Izmantoto izejvielu kondicionēšanas laiki parādīti 2. tabulā.

Kondicionēšanas laikam ir tieša ietekme uz bloku formēšanas parametriem. Lai gan tilpummasas $27 - 28 \text{ kg/m}^3$ priekšputotās granulas jau var formēt pēc 24 h kondicionēšanas, tomēr jāņem vērā granulu izmēri un pentāna daudzums, kas ietekmē stabilizēšanas laiku tālākā bloku formēšanā, tādēļ priekšputota putu polistirola granulas ar izmēriem robežās no 0,8 – 2 mm ir nepieciešams kondicionēt nedaudz ilgāk. Jo lielāks ir granulu izmērs, jo lēnāk notiek gāzu apmaiņas process [5].

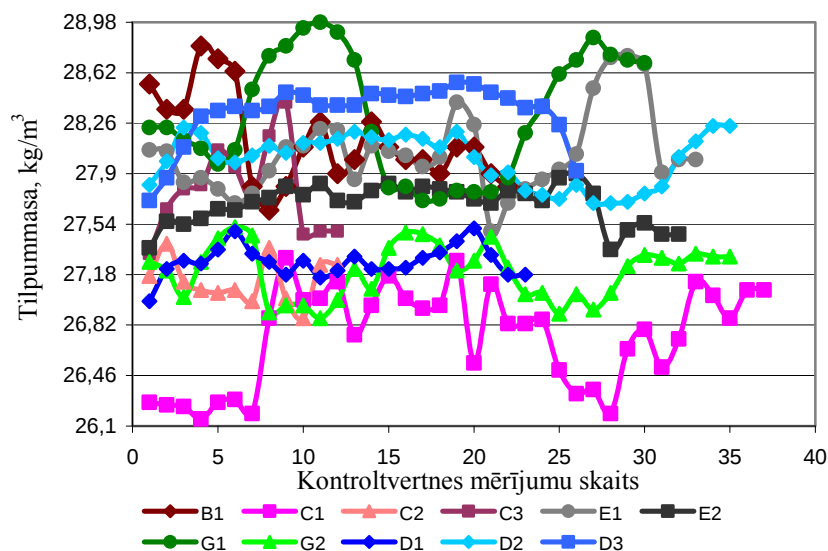
Priekšputotu granulu kondicionēšanas laiks un
formēšanas procesa stabilizācijas laiki

		Priekšputotā putu polistirola kondicionēšanas laiks, h	Stabilizācijas laiks formēšanas procesā, s
Izejvielas	B1	40	110-120
	C1	21	200-220
	C2	24	200-210
	C3	24	200-210
	E1	69	200-210
	E2	65	200-240
	G1	42	100-110
	G2	64	100-110
	D1	43	200-250
	D2	46	200-250
	D3	72	120-130

Granulām ar izmēriem 0,6 – 1 mm salīdzinot ar lielāk diamtera granulām (0,8 – 2 mm) ir īsāki formēšanas stabilizācijas laiki, tas redzams, piemēram, salīdzinot izejvielas B1 un D1. Savukārt G izejvielas gadījumā ir atrasts optimālais granulu kondicionēšanas laiks. Neskatoties uz atšķirīgu izejvielas partiju priekšputotu granulu kondicionēšanas laiku, G1 un G2 stabilizācijas laiki bloku formēšanā ir vienādi.

5. Putu polistirola izejvielas jutīgums priekšputošanas procesā

Priekšputošanas process ir galvenais EPS izstrādājuma tilpummasas noteicošais faktors. Nepieciešamās tilpummasas iegūšanai izmantota vienreizēja priekšputošana. Putošanas procesa laikā iekārtas režīms nodrošina uzdoto materiāla tilpummasu, kontrolējot to ar standarta tilpuma tvertni. Šīs tvertnes tilpummasas vērtību svārstības katrai izejvielas partijai nepārtrauktā priekšputošanas procesā ir parādītas 11. attēlā.



11. att. Putu polistirola izejvielu jutīgums priekšputošanas procesā

Neskatoties uz to, ka process ir stacionārs un nepārtraukts, ir vērojamas atsevišķu kontrolvertņu tilpummasas vērtību ievērojamas svārstības.

Lielākas priekšputotā putu polistirola porciju tilpummasas svārstības uzrāda izejvielas ar mazāku granulu diametru – B, C un G. To varētu izskaidrot ar to, ka mazāka diametra granulas ātrāk reaģē uz tvaika plūsmu. Visvienmērīgāko porciju tilpummasas izmaiņu priekšputošanā uzrāda izejviela D.

6. Bloku formēšanas procesa pētījumi

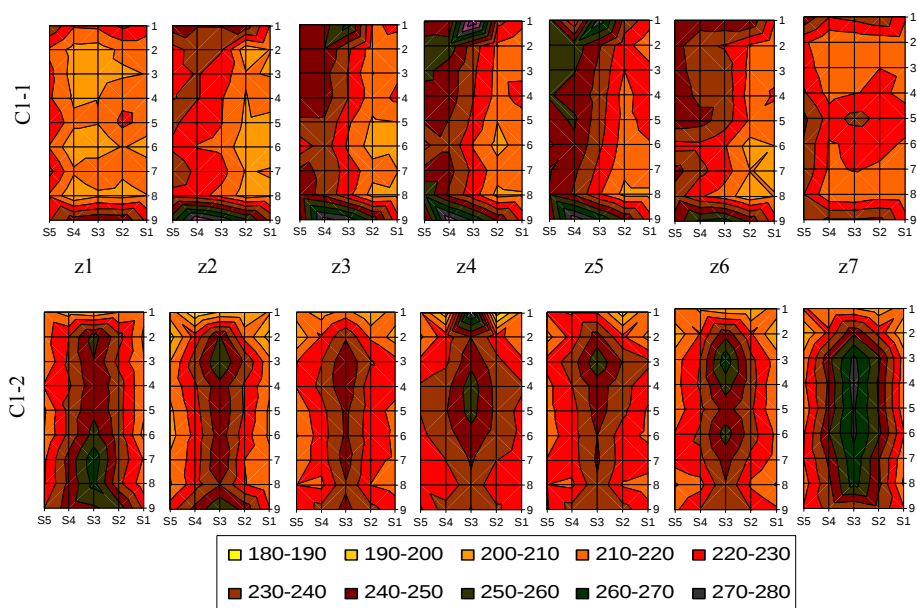
Darbā izvērtēti eksperimentāli iegūtie rezultāti putu polistirola izstrādājumiem atkarībā no bloku formēšanas tehnoloģiskajiem parametriem dažādām izejvielām (skat. 1. tab). No lielizmēra blokiem izgriezto putu polistirola izstrādājumu paraugu īpašību nevienmērības sadalījums analizēts izmantojot spiedes stiprību, stiepes stiprību, tilpummasu, makrostruktūru.

Eksperimentāli noskaidrots, ka no lielizmēra blokiem izgriezti putu polistirola izstrādājumu paraugi, kuri sagatavoti, nodrošinot nemainīgus uzdotos parametrus vienas partijas robežās, uzrāda līdzīgas īpašības. Tādēļ turpmāk izstrādājumu īpašību salīdzināšanai un raksturošanai izmantoti divi vai trīs bloki. Izanalizējot 47 blokus, atrastas tehnoloģisko parametru un mehānisko īpašību kopsakarības.

Tvaika plūsmas virzienu ietekme uz izstrādājumu homogenitāti blokā

Pētīti divi dažādi veidi tvaika plūsmas virzienu realizācijai, lai noteiktu to ietekmi uz putu polistirola izstrādājumu īpašībām blokos: programma P1 – ar tvaika padeves plūsmu no blokformas vienā virzienā un programma P2 – ar padeves

plūsmu divos pretējos virzienos. Izmantojot P1 sagatavots bloks C1-1, izmantojot P2 – bloks C1-2.

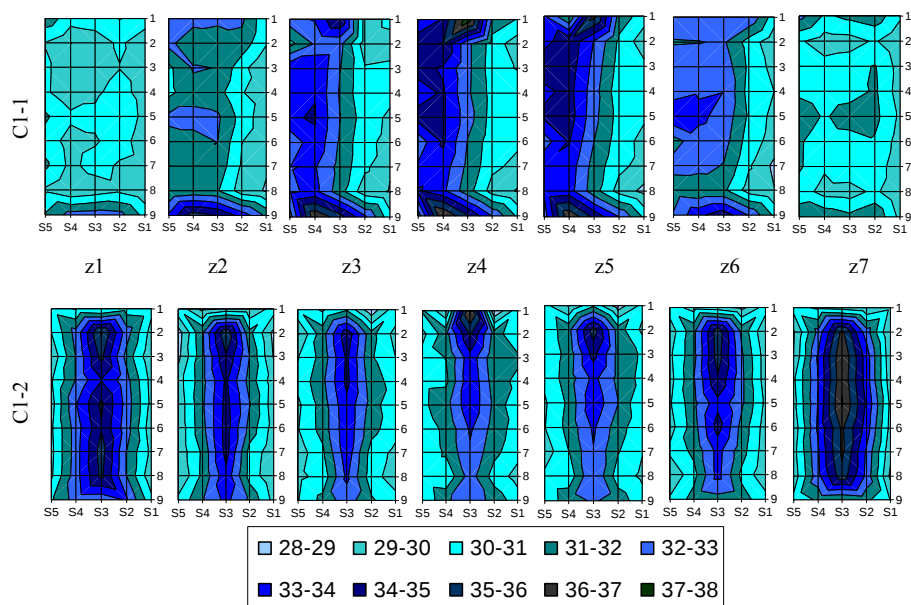


12. att. Bloku C1-1 un C1-2 paraugu spiedes spriegums pie 10 % deformācijas, kPa

12. un 13. att. uzskatāmi parāda, ka izmantotie atšķirīgie ieejošie tvaika plūsmas virzieni ietekmē putu polistirola izstrādājumu īpašību homogenitāti EPS blokos un tiem ir atšķirīgs mehānisko īpašību sadalījums tilpumā.

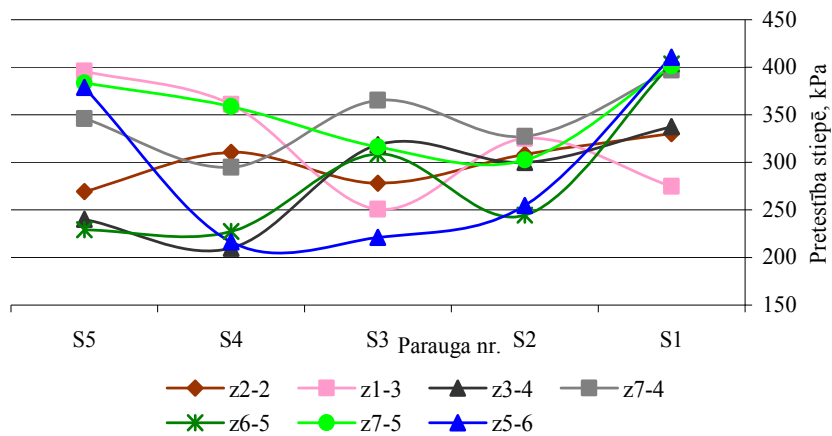
Vienvirziena tvaika padeve (programma P1) rada zināmu asimetriju īpašībās – bloku kreisajā malā spiedes stiprība un tilpummasa dažiem šķēlumiem ir ar izteikti lielākām vērtībām nekā labajā malā. Turpretim programma P2 rada simetriskāku parametru sadalījumu tilpumā ar augstākām vērtībām centrā.

Redzams, ka pastāv korelācija starp EPS izstrādājumu tilpummasas un spiedes sprieguma vērtībām (13. att.). Var ievērot, ka palielinoties tilpummasai proporcionāli palielinās arī spiedes sprieguma vērtības.

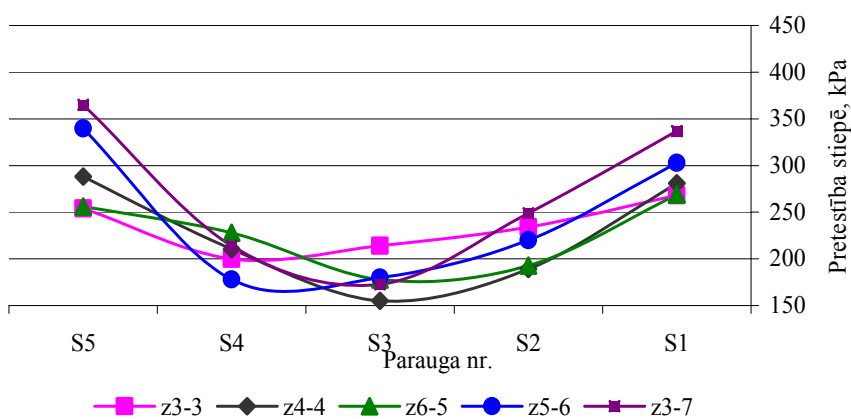


13. att. Bloku C1 – 1 un C1 – 2 paraugu tilpummasas, kg/m^3

Salīdzinot iegūtos stiepes stiprības datus dažādās bloka vietās blokam C1–1 un blokam C1–2 (14. un 15. att.), redzams, ka bloka C1–2 centrā tās ir izteikti mazākas nekā malās. Savukārt blokam C1–1 īpašību maiņa pa plāksnēm ir ievērojami liela ar viļņveidīgu raksturu, nav izteikta samazinājuma centrā. Balstoties uz iegūtajiem stiepes stiprības datiem (15. att.) secinām, ka izmantojot divas plūsmas (blokā C1-2) tvaiks novirzās uz sāniem difundējot ārā no blokformas pa tuvāko izeju un nerasniedz veidnes centru, kā rezultātā granulu saķepšana bloka centrā ir ļoti vāja.



14. att. Bloka C1 – 1 paraugu pretestība stiepē



15. att. Bloka C1 – 2 paraugu pretestība stiepē

Turpmāko pētījumu veikšanai izmantota programma ar vienu izejošās plūsmas tvaika padeves virzienu P1, jo P2 process ir grūtāk vadāms un bloku kvalitāte ir grūti prognozējama (ļoti svārstīga), ko parāda stiepes pretestības pētījumi bloka C1-2 centrā nenodrošinot pietiekamu granulu saķepšanu (~170 kPa).

Pielietotā vakuuma cikla parametru izmaiņu ietekme

Vakuuma posms ir pirmais no bloka formēšanas posmiem un norit formēšanas sākumā, kad blokformā jau ir iepildītas granulas. Šajā posmā tiek aizvadīts liekais

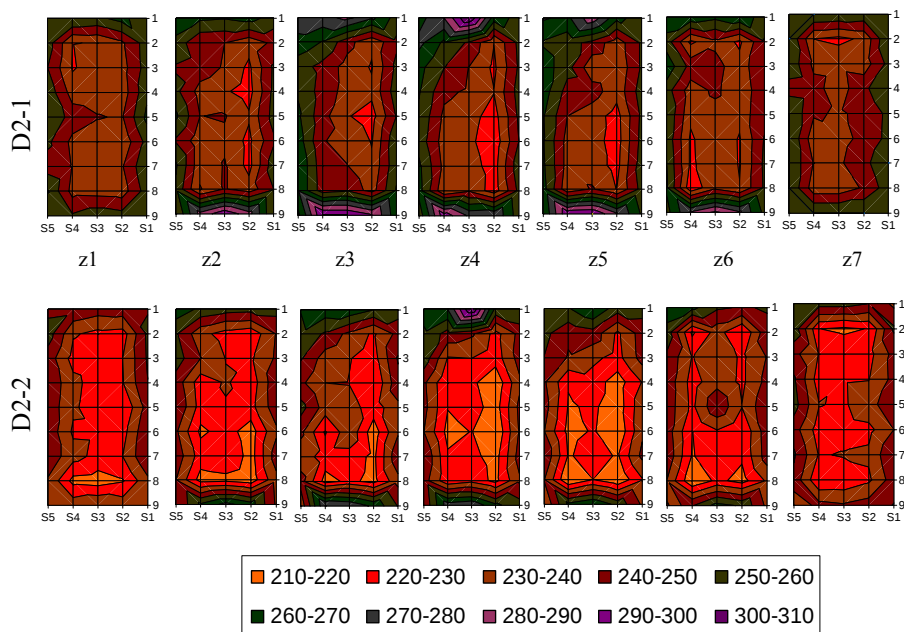
mitrums no granulām, kondensāts no blokformas uzsildīšanas, nedaudz arī granulās esošais pentāns.

Formējot blokus galvenā tvaika vārsta atvērums tiek saglabāts nemainīgs. Tajā pat laikā ir iespējams mainīt pielietotā vakuuma dziļumu, pie kam, regulēšanas sistēma automātiski iestāda atbilstošo vakuumēšanas laiku.

Iekārtas ražotāju ieteiktā vakuuma dziļums ir līdz 0,65 bar. Eksperimentālā ceļā sagatavotajam blokam D2–1 pielietotais vakuums ir uzdots 0,55 bar un D2–2 0,65 bar. Vakuumēšanas laiks blokam D2–2 ir proporcionāli samazinājies.

Līdz ar dziļāka vakuuma pielietošanu blokam D2–2 ir nepieciešams ilgāks laiks atmosfēras spiediena sasniegšanai nākamajā posmā.

Izstrādājumu noteiktais spiedes spriegums pie 10 % deformācijas un tilpummasa blokos atspoguļoti 16. un 17. attēlā.

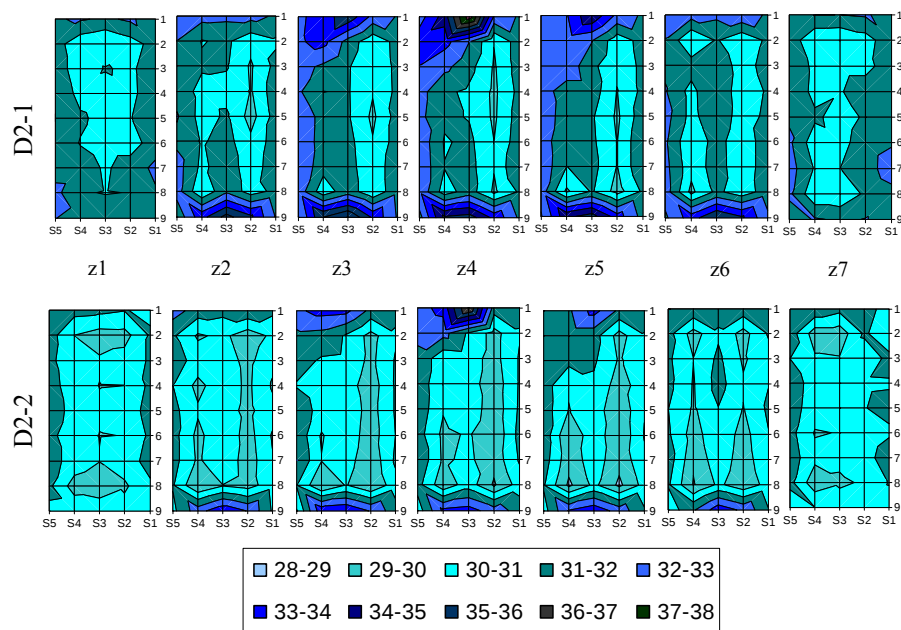


16. att. Bloku D2 – 1 un D2 – 2 paraugu spiedes spriegums pie 10 % deformācijas, kPa

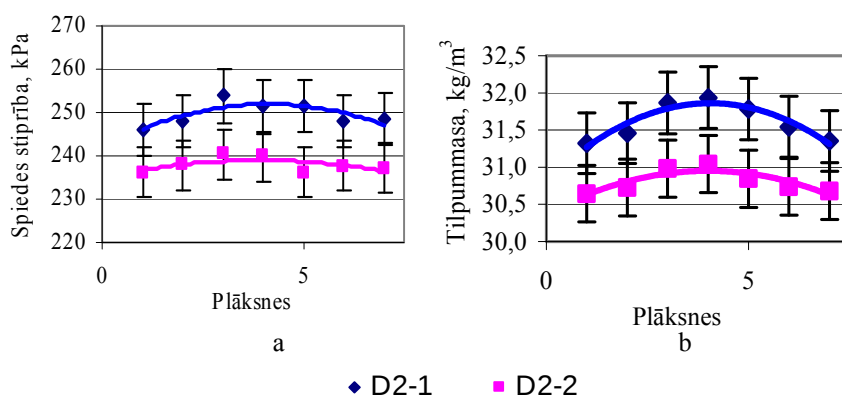
Salīdzinot spiedes sprieguma un tilpummasas datus plāksnēm z1 un z7 abiem blokiem, ir redzams, ka krāsu kontūras ir līdzīgas. Tas izskaidrojams ar to, ka šīs plāksnes atrodas pie bloku sienām, un vakuuma ietekme šeit ir mazāk nozīmīga.

Analizējot datus nākošās plāksnes no z2 līdz z6 var redzēt, ka blokam D2–2 centrālajā daļā gaišākie laukumi, kas atbilst mazākam spiedes spriegumam (210 – 220 kPa), raksturo efektīvāku granulu apstrādi ar tvaiku, veicinot granulu izplešanos,

kas liecina, ka dziļāka vakuuma pielietošana ir veicinājusi intensīvāku tvaika iekļūvi dziļākos bloka slāņos.



17. att. Bloku D2 – 1 un D2 – 2 paraugu tilpummasas, kg/m³



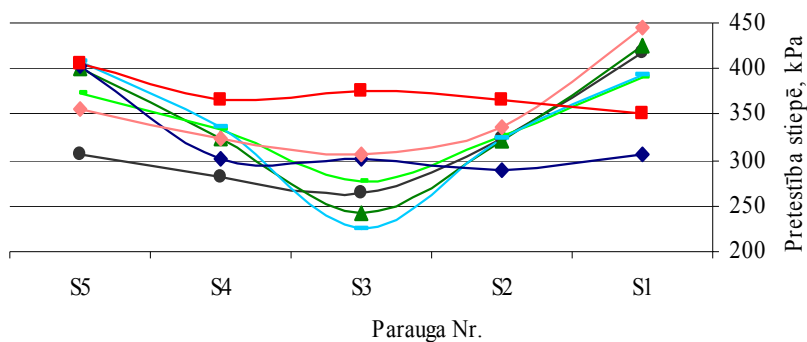
18. att. Spiedes stiprības (a) un tilpummasas (b) vidējo vērtību salīdzinājums blokiem D2-1 un D2-2

b

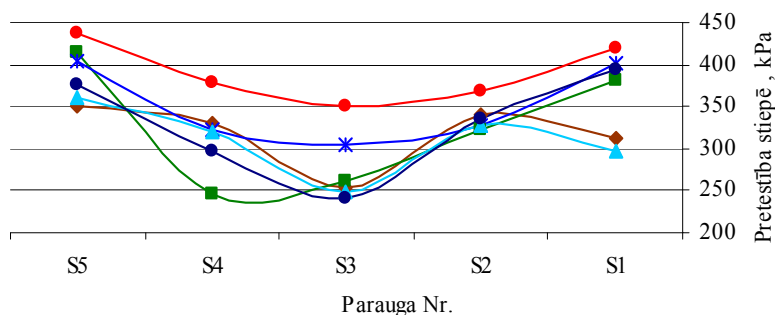
18. attēlā salīdzinātas EPS izstrādājumu spiedes stiprības un tilpummasas vidējās vērtības abiem blokiem pa plāksnēm. Redzams, ka blokam D2-1 vērtības ir augstākas, bet blokam D2-2 vērtību sadalījums ir vienmērīgāks.

Tātad, 0,65 bar vakuums nodrošina tilpummasas un spiedes stiprības pazemināšanos un vienmērīgāku (tuvāk vidējam) mehānisko īpašību sadalījumu.

19. un 20. attēlā redzami abu bloku EPS izstrādājumu stiepes pretestības mērījumu rezultāti pa šķēlumiem S. Nevienam paraugam visā bloka tilpumā stiepes pretestība nav mazāka par 230 kPa. Lielākas vērtības ir bloka malās, kas korelējas ar spiedes un tilpummasas mērījumiem. Neskatoties uz vakuuma parametru izmaiņu, stiepes stiprības vidējās vērtības blokiem D2-1 un D2-2 maz atšķiras.



19. att. Bloka D2 – 1 paraugu pretestība stiepē

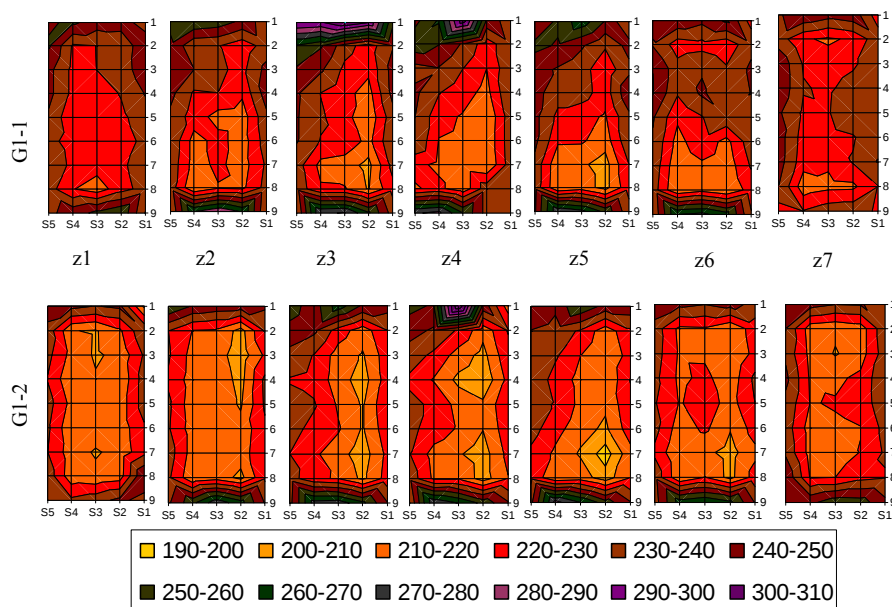


20. att. Bloka D2 – 2 paraugu pretestība stiepē

Atmosfēras spiediena sasniegšanas posma un pirmējās tvaicēšanas laika ietekme

Atmosfēras spiediena sasniegšanas posms un pirmējā tvaicēšana ir formēšanas procesa nākošie posmi. Šo posmu mērķis ir sagatavot granulas pilnīgai saķepšanai, iepriekš tās nedaudz uzsildot ar tvaiku, lai noritētu pakāpeniska to izplešanās. Eksperimenti veikti ar blokiem G1-1 un G1-2. Blokam G1-1 atmosfēras spiediena sasniegšanas posms un pirmējās tvaicēšanas posms ir par 3 sekundēm ilgāki pie vienādiem spiedieniem un plūsmas ātrumiem abiem blokiem.

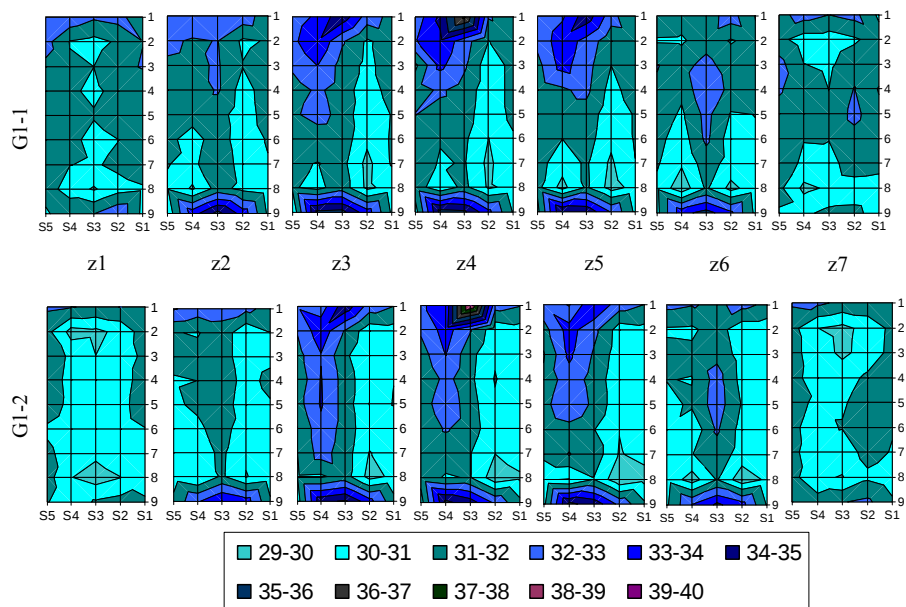
EPS izstrādājumu spiedes sprieguma un tilpummasas iegūtie dati blokos attēloti 21. un 22. att.



21. att. Bloku G1-1 un G1-2 spiedes spriegums pie 10 % deformācijas, kPa

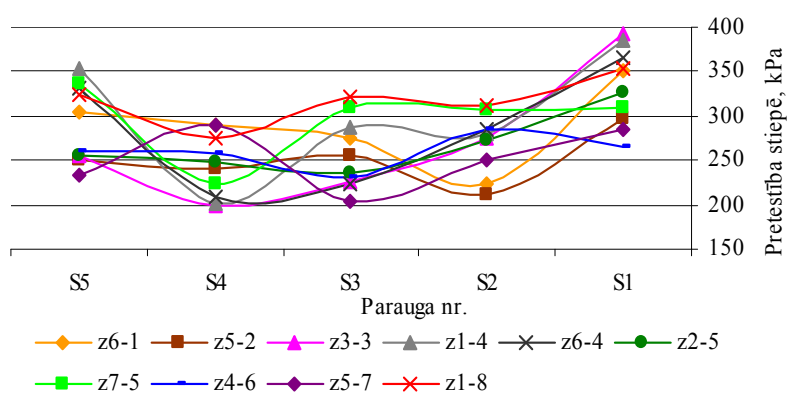
Posmu ilguma samazināšana maina mehānisko īpašību sadalījumu visā bloka tilpumā.

21. att. redzams, ka blokam G1-2, izmantojot mazāku laika periodu posmu norisei ir iegūti lielāki laukumi ar mazākām parametru vērtībām (200 – 210 kPa) kolonnā S4. Blokam G1-2 ir vienmērīgāks spiedes stiprības sadalījums plāksnēs z1, z2, z6, un z7, salīdzinot ar bloku G1-1. Blokam G1-2, izmantojot mazāku posmu ilgumu samazinās tilpummasa bloka sānu plāksnēs z1 un z7, un arī S2 kolonnā palielinās vērtību 30-31 kg/m³ laukums (23. att.).

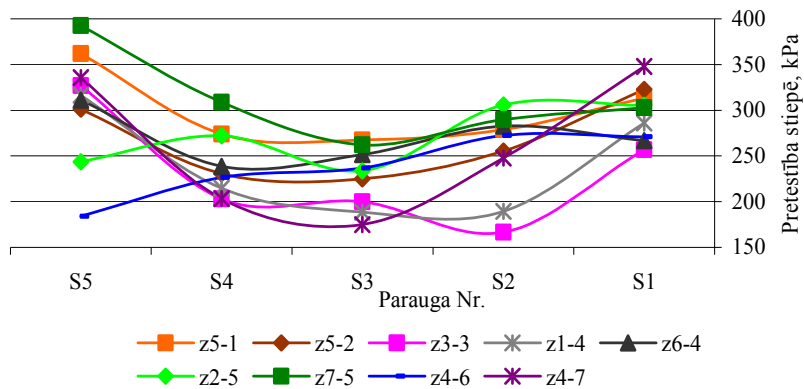


22. att. Bloku G1-1 un G1-2 tilpummasas, kg/m³

Izanalizējot iegūtos datus noskaidrots, ka atmosfēras spiediena sasniedzamā posma un pirmējās tvaicēšanas posma norises laika palielināšana pie vienādām tvaika plūsmas vērtībām EPS izstrādājumu tilpummasu vidējās vērtības blokā ir vienmērīgākas, bet spiedes stiprības vidējās vērtības – izkliedētākas.



23. att. Bloka G1 – 1 paraugu pretestība stiprē



24. att. Bloka G1 – 2 paraugu pretestības stiepē

Veicot putu polistirola izstrādājumu pretestības pārbaudi stiepē blokos G1-1 un G1-2 (23. un 24. att.), konstatēts, ka bloka G1-1 putu polistirola izstrādājumiem lielākas stiepes vērtības ir kolonnā S1, savukārt, bloka G1-2 paraugiem lielākas vērtības ir kolonnās S5. Tas norāda uz to, ka ilgāka laika izmantošana atmosfēras spiediena sasniegšanas un pirmējās tvaicēšanas periodā blokam G1-1, kur kolonna S1 ir tvaika ieplūdes vieta, granulu pietiekama saķepšana samazina tvaika plūsmas virzību līdz centrāliem bloka slāņiem. Savukārt blokam G2-1, kolonna S5 ir pie izplūdes un neaizkavē plūsmu caur bloka centra granulām.

Tvaika trieciena ietekme

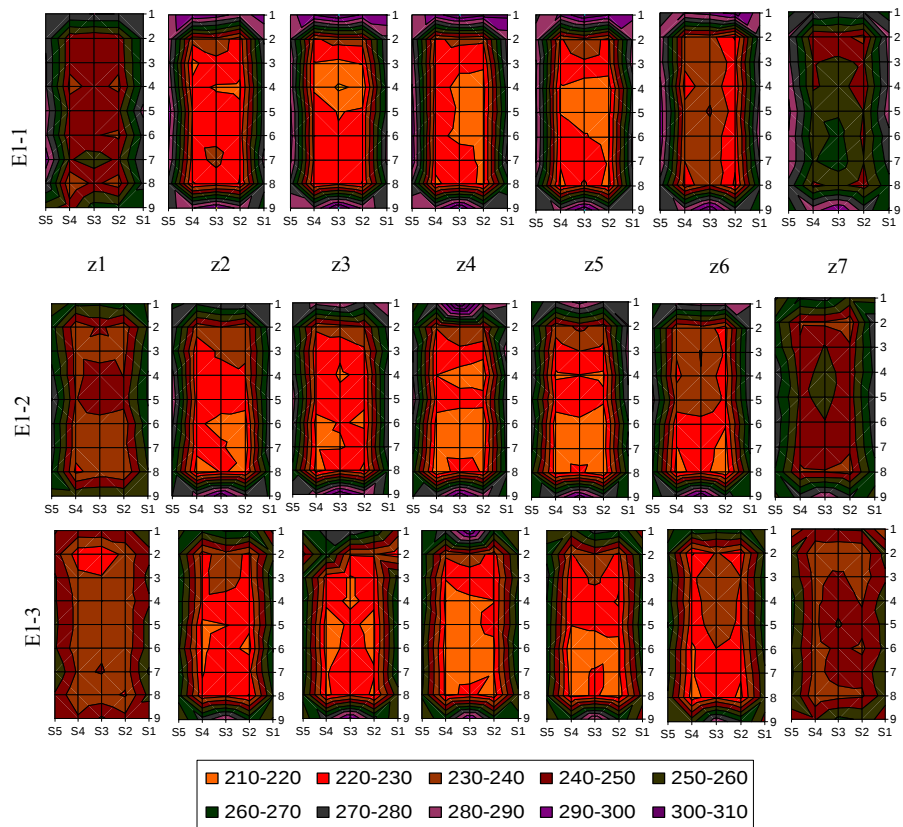
Tvaika trieciena posms nodrošina galējo saķepšanu centrālā apgabala granulām.

Lai pētītu tvaika trieciena ietekmi uz EPS izstrādājumu īpašībām lielizmēra blokā, sagatavoti 3 bloki ar mainīgu padotā tvaika daudzumu tvaika trieciena periodā vienas partijas robežās.

Tvaika padeves ventiļa atvēruma palielināšanas rezultātā tvaika trieciena laiks samazinās saskaņā ar automātiskās regulēšanas sistēmas darbību. Tādēļ tos (atveres procentu un laiku) katru atsevišķi nav iespējams novērtēt un par maināmo parametru izvēlamies vārsta atvēruma procentus. Izmantojam 37, 40 un 42% tvaika padeves ventiļa atvērumu attiecīgi blokiem E1-1, E1-2 un E1-3.

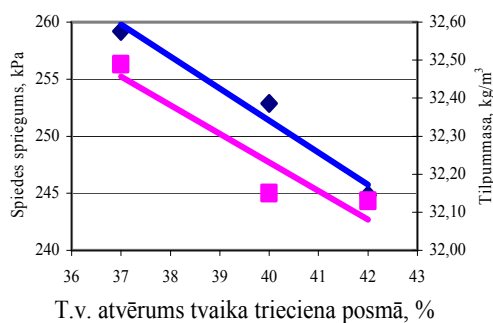
Noteiktais spiedes spriegums pie 10 % deformācijas atspoguļots 25. attēlā.

Salīdzinot triju bloku plāksnes no z1 līdz z7, redzams, ka samazinās ārējo garozas slāņu biezumi, kas ir izteiktāki blokam E1 – 1. To ietekmē lēnāka tvaika plūsmas padeve uz iekšējiem bloka slāņiem, izmantojot mazāku tvaika vārsta atvērumu, labāk saķepinot malās esošās granulas. Līdz ar vārsta atvēruma procentuālo palielināšanu tvaika trieciena posmā, plāksnē z4 vērojama pakāpeniska centrālā laukuma palielināšanās (spiedes vērtība 210- 220 kPa) no bloka E1 – 1 līdz E1 – 3 (25. att.).



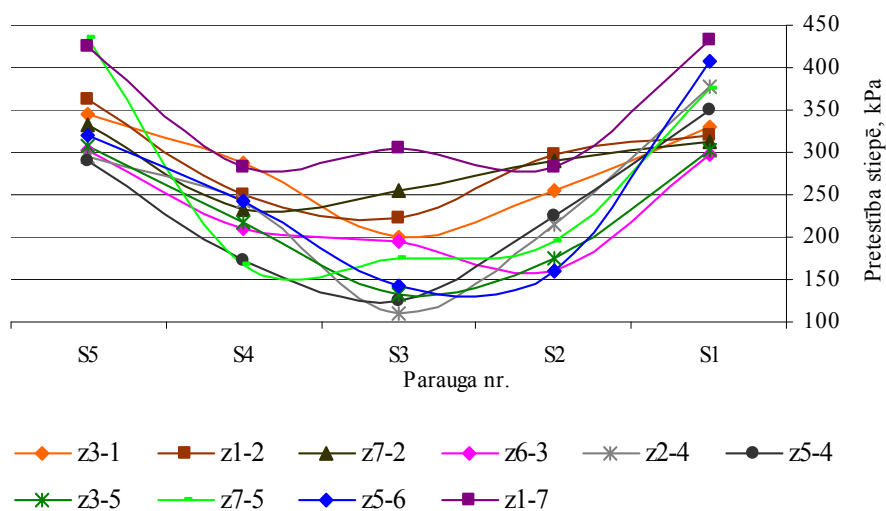
25. att. Bloku E1 – 1; E1 – 2 un E1 – 3 paraugu spiedes spriegums pie 10 % deformācijas, kPa

Tvaika trieciena plūsmas palielināšana (un vienlaicīga laika samazināšana) samazina spiedes sprieguma un tilpummasas vidējās vērtības blokā, kas uzskatāmi redzams 26. att.

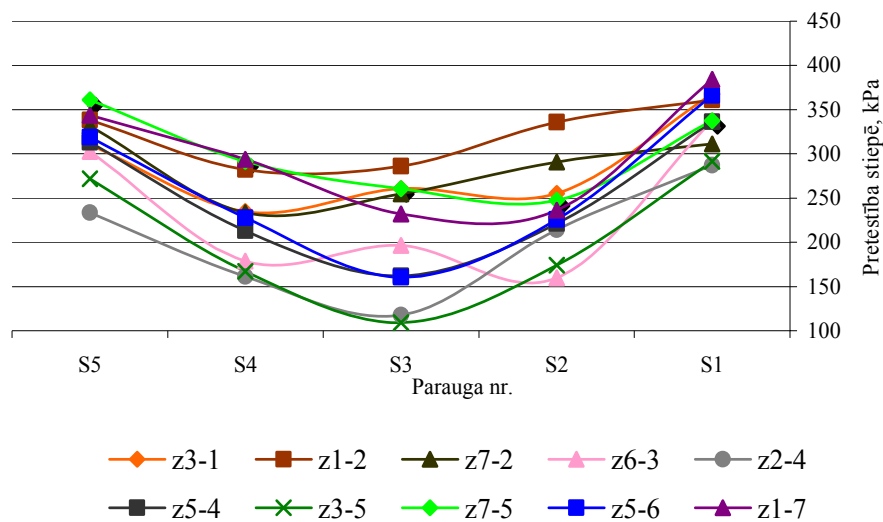


26. att. Spiedes spriegums un tilpummasas vidējo vērtību atkarība blokos no tvaika vārsta atvēruma

Veicot EPS izstrādājumu pārbaudi stiepē blokos E1-1 un E1-3 (27. un 28. att.), konstatēts, ka ar lielāku tvaika vārsta atvērumu (E1-3) stiepes vērtības ir vienmērīgākas visa bloka tilpuma ietvaros. EPS izstrādājumiem no bloka E1-1 stiepes vērtības svārstās no 100 – 450 kPa, kamēr bloka E1-3 EPS izstrādājumu no 100 – 370 kPa. Salīdzinot abu bloku atbilstošu vietu paraugus, piemēram, z5-4 vai z5-6, augstākas vērtības uzrāda paraugs blokā E1-3. Tas vēlreiz apstiprina, ka, izmantojot lielāku tvaika vārsta atvērumu, tvaiks vieglāk sasniedz bloka centru un veicina vienmērīgāku granulu saķepšanu visā tilpumā.



27. att. Bloka E1-1 paraugiem pretestība stiepē



28. att. Bloka E1-3 paraugiem pretestības stiprums

Granulometriskā sastāva ietekme uz bloka viendabīgumu

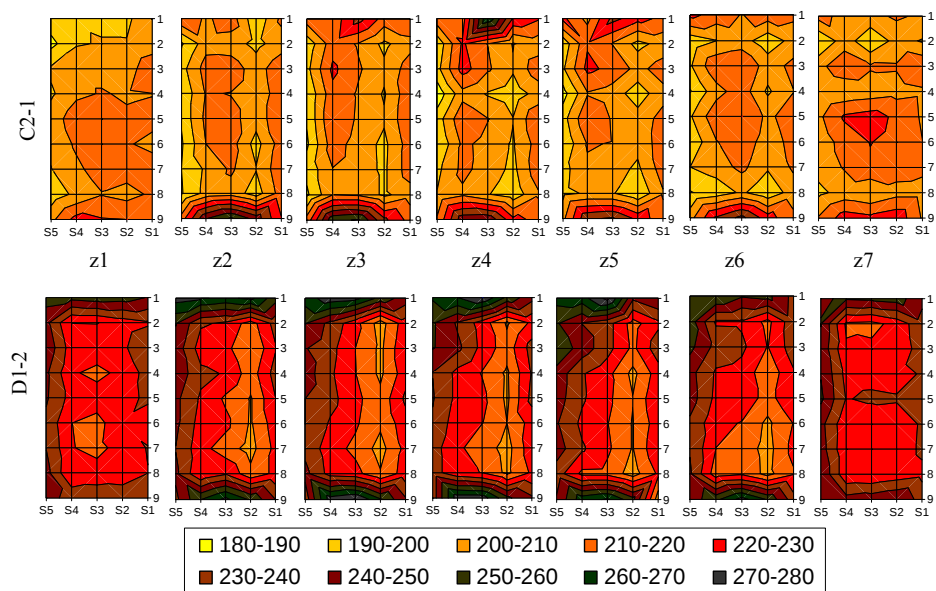
Tehnoloģisko parametru ietekme uz izstrādājumu struktūru var būt atkarīga arī no putu polistirola granulu pentāna satura un granulometriskā sastāva, veikta bloku salīdzināšana.

Granulometriskā sastāva ietekme uz EPS izstrādājumu raksturlielumu viendabīgumu bloka tilpumā pētīta salīdzinot divus blokus ar vienādiem formēšanas parametriem. Izmantotas izejvielas C2 un D1, kuras ir priekšputotas līdz vienādām tilpummasām, bet atšķiras ar to, ka C2 ir ar mazāku granulu vidējo diametru un lielāku pentāna saturu.

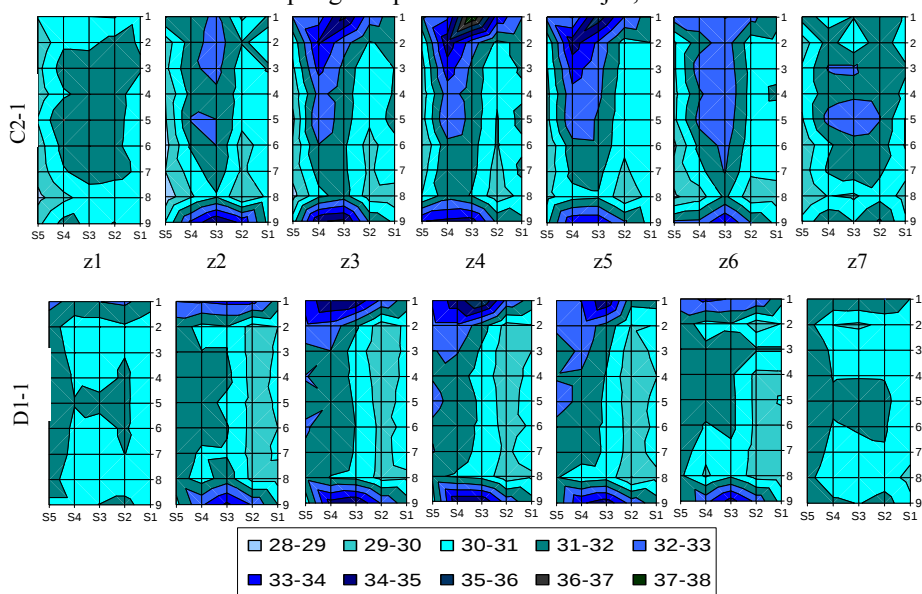
Iegūtie rezultāti spiedes spriegumam un tilpummasai apkopoti grafikos (29. un 30. att.). Tvaika plūsmas virziens abu bloku gadījumā ir realizēts saskaņā ar programmu P1.

29. attēlā redzams, ka C2-1 blokam S5 kolonnā vērtības ir zemākas kā bloka centrā, savukārt blokam D1-2 kolonnā S5 vērtības ir augstākas salīdzinot ar vērtībām visā blokā. Abiem blokiem zemākās vērtības iezīmējas kolonnā S2.

Tilpummasas grafikos (30. att.) konstatēts, ka blokam D1-2 tvaiks ir spējis iekļūt dziļāk: kolonnā S4 salīdzinot ar bloku C2-1 ir ievērojami samazinājusies vidējā tilpummasa, kas apliecina labāku granulu izplešanos.



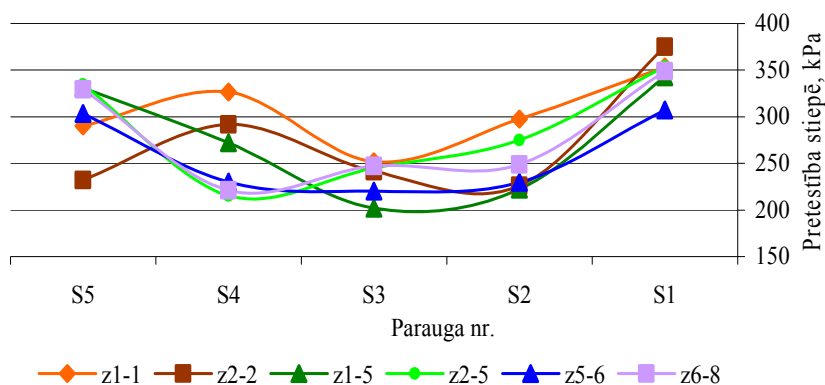
29. att. Izejvielu C2 un D1 EPS bloku (C2-1 un D1-2) paraugu spiedes spriegums pie 10 % deformācijas, kPa



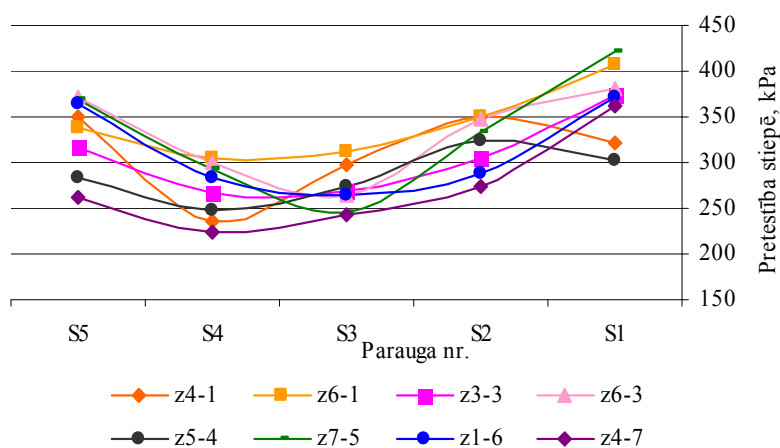
30. att. Izejvielas C2 un D1 EPS bloku (C2-1 un D1-2) paraugu tilpummasas, kg/m³)

Aprēķinot vidējās skaitliskās parametru vērtības bloku plāksnēs, noskaidrots, ka priekšputojot granulas līdz tilpummasai $27,5 \text{ kg/m}^3$ vēlākā apstrādē izejviela ar lielāka diametra granulām D1 uzrāda augstākas vērtības spiedē, savukārt tilpummasas vidējās vērtību svārstības atkarībā no izejvielas ir niecīgas.

Nosakot putu polistirola paraugu pretestību stiepē (31. un 32. att.), secināts, ka visaugstākās vērtības uzrādās kolonnā S1, kur ieejošās tvaika plūsmas labāk saķepina bloka vienu malu, samazinot tālāko plūsmu caur bloku. Savukārt, visā blokā noteiktās stiepes pretestības rādītāji pie šādiem formēšanas parametriem bloku starpā būtiski neatšķiras.



31. att. Bloka C2 – 1 paraugu pretestība stiepē

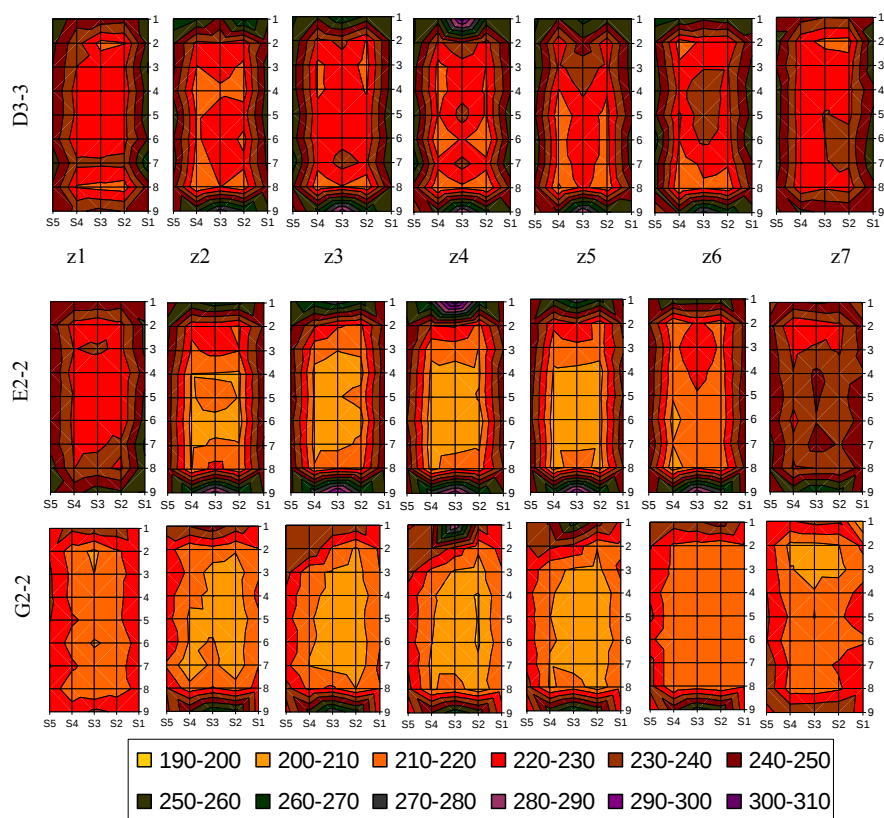


32. att. Bloka D1 – 2 paraugu pretestība stiepē

Novērtējot putu polistirola granulometriskā sastāva ietekmi uz izstrādājumu īpašībām, svarīgi ir izvērtēt izejvielu ekonomiju, izmantojot granulas ar diametru, kas nodrošina augstākas mehāniskās īpašības pie vienādām tilpummasām.

Secinot, ka granulometriskajam sastāvam ir nozīme arī parametru izvēlē, eksperimentālā ceļā apkopojot un izvērtējot katras izejvielas atšķirīgo granulometrisko sastāvu un pentāna daudzumu, izstrādāts tehnoloģiskā procesa kvalitāti nodrošinošo parametru kopums D, G un E izejvielām, kas dots 3. tabulā, kur salīdzināšanai doti sākotnējie bloku formēšanas parametri.

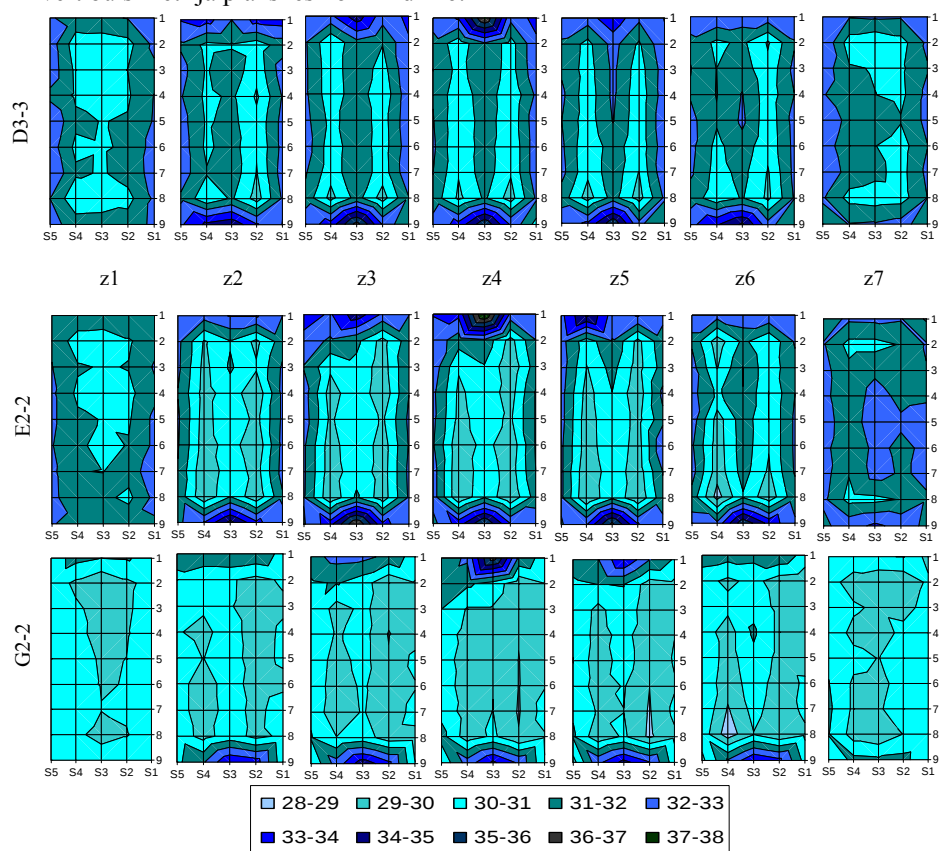
33. un 34. attēlā parādītas iegūtās izstrādājumu īpašības blokos, izmantojot rekomendētos tehnoloģiskos parametrus atbilstoši putu polistirola granulometriskajam sastāvam un pentāna saturam, ar samazinātu vērtību izkliedi tuvāk vidējai vērtībai.



33. att. EPS bloku D3-3, E2-2 un G2-2 paraugu spiedes spriegums pie 10 % deformācijas, kPa

Kā redzams (33. att.), tad visu trīs izejvielu gadījumā ir samazināta vērtību izkliede. Ir panākts vienmērīgāks spiedes sprieguma vērtību sadalījums bloku centrā, kā arī iegūta simetrija bloka z3 un z5 plāksnēs starp vērtībām.

Tā kā izejvielas bija priekšputotas līdz vidējām tilpummasā ($D3 - 28,2 \text{ kg/m}^3$, $E2 - 27,7 \text{ kg/m}^3$ un $G2 - 27,4 \text{ kg/m}^3$), tad novērtējot tilpummasas vērtību grafikus (34. att.) var secināt, ka E un G izejvielas gadījumā jāpalielina priekšputotā tilpummasa līdz 28 kg/m^3 . Tas dos atbilstību nominālajai vērtībai. Arī šajā gadījumā ir panākta vērtību simetrija plāksnēs no z2 līdz z6.



34. att. EPS bloku D3-3, E2-2 un G2-2 paraugu tilpummasa, kg/m^3

Izejviela C tehnoloģijas izpētes laikā tika atzīta par visnepiemērotāko procesu realizēšanu šāda tipa formēšanas iekārtā, jo, neskatoties uz dažādiem tvaika parametru pielietojumiem, nespēja nodrošināt izstrādājumu nepieciešamo īpašību vienmērību. Tas varētu būt saistīts ar izejvielas augsto pentāna saturu ($6 - 7 \%$) un smalko granulu frakciju ($0,6 - 1$), kas vienlīdz vienmērīgi nespēj saņemt blokformā ar izmēriem $4 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$.

3. tabula

Izstrādātie rekomendētie tehnoloģiskie parametri izejvielām D, G un E un sākotnējie bloku formēšanas parametri

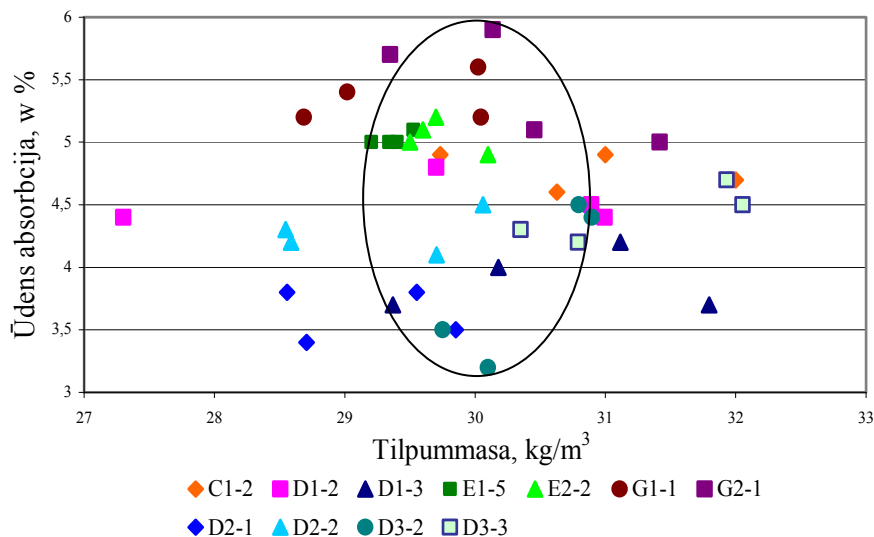
Parametri / Izejviela		D	G	E	Sākotnējie formēšanas parametri
Tvaika vārsta atvērums atmosfēras spiediena sasniegšanas posmā	%	28 – 30	26 – 28	26 – 28	21 – 24
Tvaika vārsta atvērums pirmējās tvaicēšanas posmā	%	28 – 30	28	26 – 28	17 – 22
Tvaika vārsta atvērums tvaika trieciena posmā	%	42 – 55	42	42	34 – 37
Tvaika vārsta atvērums otrās tvaicēšanas posmā	%	9 – 12	9 – 12	9 – 12	9 – 10
Granulu kondicionēšana	h	24-60 un vairāk	24-40 un vairāk	24-60 un vairāk	24 un vairāk
Pielietotais vakuums	bar	-0,6	-0,50 līdz -0,55	-0,5 līdz -0,55	-0,45 līdz -0,55
	s	līdz 20	līdz 20	līdz 20	līdz 20
Atmosf.spied.sasniegšana	s	7 – 9	8 – 10	9 – 10	10
Pirmējā tvaicēšana	bar	0,3	0,3	0,3	0,4 – 0,45
	s	10 – 11,5	10 – 11,5	10 – 11,5	12,5
Tvaika trieciens	bar	0,71	0,7	0,68 – 0,71	0,55 – 0,58
Otrā tvaicēšana	bar	0,71	0,7	0,68	0,55 – 0,58
	s	3 – 5	3 – 5	3 – 5	6 – 8
Max sasniegtais putu spiediens	bar	0,9	0,9	0,89	0,78 – 0,83
Stabilizācija	s	300 – 120	170 – 110	300 – 200	200 – 80

7. Siltumvadītspējas koeficienta mērījumi

Darbā novērtētas siltumvadītspējas koeficienta vērtības izstrādājumiem no dažādām izejvielām, kā arī īpašības vienas izejvielas ietvaros pie dažādiem ražošanas režīmiem. Noskaidrots, ka siltumvadītspējas koeficients nedaudz pieaug samazinoties tilpummasai. Tas izskaidrojams ar granulu izmēru ietekmi, siltumvadītspēja palielinās palielinoties granulu izmēram. Siltumvadītspējas koeficients mainās maz, ir gala izstrādājumam nepieciešamajās robežās.

8. Ilglaicīgās ūdens absorbcijas noteikšana

Noteikta ilgstošā ūdens absorbcija paraugiem no dažādiem blokiem, kas ražoti no atšķirīgām izejvielām. Iegūtie dati apkopoti 35. attēlā.



35. att. Ilglaicīgā ūdens absorbcija

Kā redzams, materiāla ūdens uzsūce ir robežās no 3 līdz 6 tilpuma %. Apskatot iegūtās vērtības tilpummasas robežās $30 \pm 0,5 \text{ kg/m}^3$ var ievērot zināmu ūdens absorbcijas vērtību atkarības tendenci no izmantotās izejvielas, kas, jādoma, ir saistīts ar putu polistirola daļiņu granulometriju un sekojošajām atšķirībām gatavā materiāla mikrostrukturā. Ūdens absorbcija ir nepieciešamo normu robežās, nerada problēmas patērētājam un nav izšķirošs faktors ražošanas procesa pilnveidošanā.

SECINĀJUMI

1. Pirmo reizi veikti sistemātiski putu polistirola izstrādājumu īpašību un struktūras pētījumi atkarībā no tehnoloģiskā procesa parametru ietekmes lielizmēra bloka ražošanas procesā, izmantojot reālu rūpnieciska mēroga iekārtu.
2. Noskaidrota izejvielu granulometriskā sastāva un izejvielu īpašību ietekme uz putu polistirola priekšputošanu. Lai sasniegtu izstrādājumu deklarēto tilpummasu 30 kg/m^3 , nepieciešams priekšputot granulas līdz 28 kg/m^3 .
3. Konstatēts, ka putu polistirola izstrādājumu homogenitāti bloka tilpumā visbūtiskāk iespaido formēšanas parametri, un to vērtības, kas atkarīgas no – izejvielu granulometriskā sastāva, pentāna satura granulās, priekšputotā putu polistirola kondicionēšanas laika.
4. Konstatēts, ka izmantojot vienu un to pašu izejvielu un vienas un tās pašas tehnoloģisko parametru vērtības robežās, kuras nodrošina automātiskās vadības sistēma, iespējams iegūt putu polistirola izstrādājumus no lielizmēra blokiem, kur mehāniskās īpašības starp blokiem atšķiras ar standartnovirzi spiedes spriegumam $\pm 4 \text{ kPa}$, tilpummasai $\pm 0,5 \text{ kg/m}^3$. Tas apliecina tehnoloģiskā procesa stabilu atkārtojamību.
5. Izvērtēta formēšanas parametru ietekme uz putu polistirola izstrādājumu homogenitāti lielizmēra blokos un konstatēts, ka:
 - a) īpašību vienmērību putu polistirola lielizmēra bloku centrālajos laukumos palielina - dziļāka vakuuma pielietošana ($0,55 - 0,65 \text{ bar}$); lielākas tvaika plūsmas izmantošana tvaika trieciena posmā ($42\%, 55 \%$);
 - b) īpašību vienmērību bloka centrā samazina – pirmējās tvaicēšanas laika palielināšana virs $10 - 11 \text{ sek}$;
 - c) īpašību sadalījumu bloka ārējos slāņos palielina – otrās tvaicēšanas laika pagarināšana virs 5 sek .
6. Pētījuma rezultātā optimizēti tehnoloģiskie parametri izejvielām (D, G, E), EPS bloku formēšanai firmā SIA „Tenapors”. To ieviešanas rezultātā palielinājušies vienmērīgāki mehānisko īpašību laukumi bloka centrā, sasniegta gatavās produkcijas kvalitātes uzlabošanās par 15% . Ir novērsta brāķa veidošanās, plaisāšana un samazināta plākšņu izliekšanās par 50% .

Darba aprobācija:

Galvenie pētījumu rezultāti atspoguļoti sekojošās publikācijās:

1. Medne O., Dreijers I., Bērziņa L. Cēloņu seku diagrammu analīze putu polistirola izstrādājumu ražošanas procesam// Vide. Tehnoloģija. Resursi. Latvija, Rēzekne.– 2009. – 50.- 55. pp
2. Medne O., Dreijers I., Bērziņa L., Bērziņa – Cimdiņa L. Pētījumi par putu polistirola neviendabīgumu izmantojot izejmateriālu ar dažādu granulometrisko sastāvu// RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietiskā ķīmija. – 2010. – Sējums 22. – 118. – 121. pp
3. Medne O., Dreijers I., Bērziņa L. Influence of Technological Parameters of Mechanical Properties of Expanded Polystyrene block// Journal of Engineering and Technology. – 2011. – Vol.1 – 1. – 12. pp.

Galvenie pētījumu rezultāti atspoguļoti sekojošās vietējās un starptautiskās konferencēs:

1. I.Dreijers, O.Medne. Putu polistirola ražošanas tehnoloģijas analīze// Rīgas Tehniskās universitātes 47. Starptautiskā zinātniskā konference. – Rīga, Latvija. – 12. – 14. oktobris, 2006.
2. O.Medne, I.Dreijers, V.Vītiņš. Putu polistirola bloku viendabīguma pētījumi// Rīgas Tehniskās universitātes 48. Starptautiskā zinātniskā konference. – Rīga, Latvija. - 11. – 13. oktobris, 2007
3. O.Medne, I.Dreijers, V.Vitins. Uniformity of expanded polystyrene blocks. XIV-th International Baltic Conference materials Engineering & Baltrib* 2007. - Rīga, Latvia. – October 25 – 26th, 2007, - 33. p.
4. O.Medne, I.Dreijers. EPS block homogeneity dependence from raw material granulometry// Baltic Polymer Symposium 2008. – Otepaa, Estonia. – May 13 – 16th, 2008, - 61. p.
5. O.Medne, I. Dreijer. Mechanical Properties of EPS Blocks: Spatial Distribution and Correlation// Junior Euromat 2008. – Lousanne, Switzerland. – July 14 – 18th, 2008, http://webdb.dgm.de/dgm_lit/prg.
6. O.Medne, I.Dreijer, L.Berzina, L. Berzina – Cimdina. EPS mechanical and structural property correlation from technological process parameters// Rīgas Tehniskās universitātes 49. Starptautiskā zinātniskā konference. – Rīga, Latvija. – 13. – 15. oktobris, 2008.
7. O.Medne, I.Dreijers, L.Bērziņa. Cēloņu seku diagrammu analīze putu polistirola izstrādājumu ražošanas procesam// 7. Starptautiskā zinātniski praktiskā konference – Vide. Tehnoloģija. Resursi. – Rēzekne, Latvija. – 25. – 27. jūnijs, 2009.
8. O.Medne, I.Dreijer, L.Berzina, L.Berzina – Cimdina. Tvaika plūsmas daudzuma un virziena ietekme uz materiāla homogenitāti putu polistirola ražošanas procesā// RTU 50. Starptautiskā zinātniskā konference. – Rīga, Latvija. – 12. – 16. oktobris, 2009.

9. O.Medne, I.Dreyer, L.Berzina. Research on Quality Improvement of Expanded Polystyrene Blocks Manufacturing// Material Science and Technology. – Darmstadt, Germany. – 24 – 26th August, 2010.
10. O.Medne, I.Dreijer, L.Berzina, L.Berzina – Cimdina. Influence of preexpansion conditions of inner structure of expanded polystyrene granules// Rīgas Tehniskās universitātes 51. Starptautiskā zinātniskā konference. – Rīga, Latvija. – 11. – 15. oktobris, 2010.
11. O.Medne, I.Dreijers, L.Bērziņa. Influence of Technological Parameters of Mechanical Properties of Expanded Polystyrene blocks// RISE 2011 Tricontio. – Poprad, Slovakia. – 21 – 26th June, 2011, <http://www.i-jet.eu/ijet/>.

Kopsavilkumā citētā literatūra

1. Handbook of Plastics Technologies / Harper. C. A. – OH, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2006. – 628 p.
2. European manufacturers of expanded polystyrene mājaslapa / Internets. - <http://eumeps.org> (14.12.10)
3. StyroChem. Converting of StyroChem EPS-Grades. EPS Seminar materials, 2007, Rīga
4. Dasch. J. Ein beitrage zur rohdichtevertelung in blosken aus geschauemtem polystyrol.// Plastverarbeiter. – 1981. – Vol. 32. – 982. – 988. pp.
5. Nova Chemicals. Maturing of Nova Chemiclas expanded polystyrene beads.// Technical information. – 2001. – Nr. 2.1.2. – 8. p.