

Pareto novērtējums skaitliskā sistēmā

Aivars Sulcs, *Riga Technical University*, Anita Gerina-Ancane, *Riga Technical University*

Kopsavilkums. Rakstā publicēti pētījumu rezultāti par inovatīvu inženiertehnikas izstrādājumu radīšanas problēmām un to atspoguļošanu ar Pareto diagrammām. Problēmu loks ietver studentu apmācību un piedalīšanos tehniskos pētījumos. Noskaidrots, ka viņi nelabprāt tajos piedalās, jo studiju programmās nav paredzēta obligāta mācību pētniecības disciplīna, kā arī nav pietiekamas informācijas par pētniecības darbu tēmām. RTU Baltech studiju programmas studentu viedoklis – viņi vislabāk varētu piedalīties inovatīvu mājsaimniecības izstrādājumu/iekārtu pētījumos un izstrādē. Rakstā analizēti inovatīvu izstrādājumu variantu radīšanas un izvēles metodoloģiskie pamati. Par labāko tiek uzskatīta funkcionālās dekompozīcijas un sintēzes metode. Izstrādājumu variantu izvēlē izvēles process tiek sadalīts divos etapos – vispirms rupjās variantu atšijšanas etapā un pēc tam palikušo variantu precīzās skaitliskās izvērtēšanas etapā. Rūpnieciskai izgatavošanai rekomendē izstrādājumu ar visaugstāko skaitlisko raksturojumu - lielāko punktu summu, kas izskaitļota, ievērojot izstrādājuma atbilstību lietotāju kritēriju un ekspertu skaitliskiem vērtējumiem. Rakstā analizēta ekspertu skaitliskā vērtējuma problēma, kuru piedāvāts atrisināt ar izplūdušo jēdzienu loģikas palīdzību.

Atslēgas vārdi: Pareto diagramma, pētniecība, rūpnieciskā ražošana, izstrādājumu varianti, variantu izvēle ražošanai.

I. IEVADS

Itāļu ekonomists Vilfredo Pareto (1848–1923) 1906. gadā izstrādāja matemātisku formulu par bagātību sadalījumu starp viņa valsts iedzīvotājiem, no kuras sekoja [1], ka 80 procentu bagātību pieder 20 procentiem valsts iedzīvotāju. Vēlāk Dr. Jozefs M. Jurans 1940. gadā 80/20 likumsakarību nosauca par Pareto principu jeb likumu. 80/20 likums izrādījās efektīvs instruments dažādu parādību novērtēšanai zinātnē, ekonomikā, fizikālajā pasaulē u.c. Piemēram, attiecinot 80/20 likumu uz inženiertehnikai izstrādājumiem, var teikt, ka 80 procentus no visiem inženiertehnikai izstrādājumiem ir radījuši 20 procenti pasaules dizaineru. To var attiecināt uz daudzām citām līdzīgām parādībām.

Pareto principa pielietojuma analīzes rezultāti tiek atspoguļoti grafiski ar joslu diagrammu (*Pareto chart*). Joslas garums raksturo lieluma frekvenci, vērtību. Visgarākā josla tiek attēlota diagrammas kreisajā pusē. Tādā veidā joslu novietojums raksturo to savstarpējā svarīguma pakāpi. Ļoti noderīgi Pareto diagrammā attēlot procentuāli katras joslas svaru 100 procentu parādību summārā skatījumā, kā arī joslas pieaugošo summāro svaru, ievērojot iepriekšējo joslu svarīgumu.

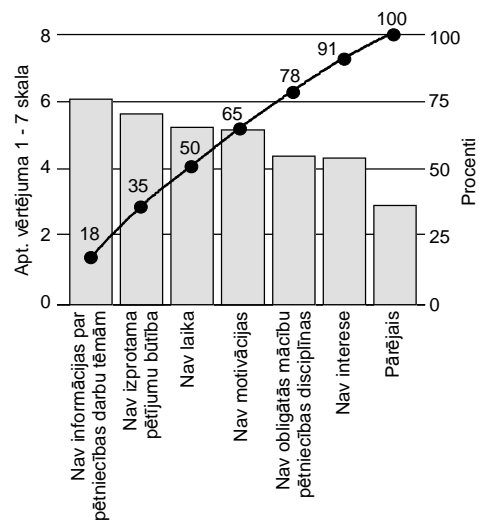
II. PĒTNIECĪBA KĀ STUDIJU PROCESA SASTĀVDAĻA

Ir daudz un dažādi faktori, kuru iespaidā notiek nepārtraukta inženiertehnisko izstrādājumu attīstība, norit to

nepārtrauktas pilnveidošanas process. Fundamentālu nodrošinājumu jaunu izstrādājumu jomā garantē tehnoloģiskie pētījumi. Kā piemēru var minēt datortehnikas attīstību no pirmā elektroniskā kalkulatora, kas tika izveidots 1946. gadā ar 15 tūkstošu elektronisko lampu palīdzību līdz mūsdienu klēpj datoram, kura procesors satur miljoniem elektronisku elementu ar milimetra desmitstūkstošdaļu izmēriem.

Tomēr tehnoloģiskie pētījumi nav vienīgais ceļš inženiertehnisko izstrādājumu attīstībā. Liela daļa izstrādājumu tiek pilnveidoti tehnisku pētījumu rezultātā, t.i., ar modernām pētniecības metodēm tiek analizēti eksistējošo izstrādājumu tehniskie raksturojumi, kas pēc tam jaunā izstrādājumā tiek uzlaboti. Pētījuma objekti ir izstrādājumu analītiskie vai fizikālie paraugi.

Tehniskos pētījumus veic inženiertehniskais personāls, kuru zināšanas un prasmes jāveido jau studiju laikā augstskolā.



1. att. Pareto diagramma par iemesliem, kāpēc studenti nepiedalās pētniecisku projektu izstrādē

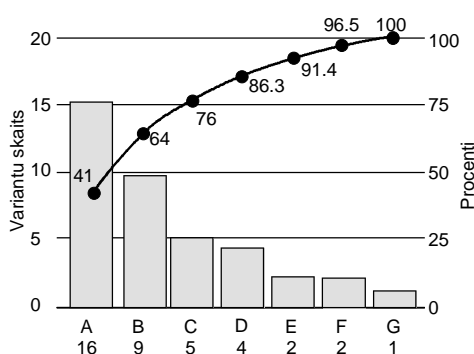
Analizējot literatūras datus par studentu piedalīšanos tehniskos pētījumos [2,3], noskaidrojas, ka viņi dažādu iemeslu dēļ nelabprāt tajos piedalās. Pareto diagramma 1. attēlā raksturo šos iemeslus. Augstāk attēlotā Pareto diagramma raksturo 75 studentu aptaujas rezultātus, arī to, kas būtu darāms, lai pilnveidotu mācību procesu augstskolās, ieskaitot RTU. Kā vienu no svarīgākajiem cēloņiem, kas nenodrošina jauniem speciālistiem iespēju radīt inovatīvus eksportspējīgus izstrādājumus, autori uzskata to, ka “Nav obligātās mācību pētniecības disciplīnas”, kura dažādos laika periodos ar ievērojamiem apjomiem Latvijas augstskolās ir eksistējusi.

III. LATVIJAS RŪPNIECĪBA STUDENTU SKATĪJUMĀ

Baltech studiju programma virtuāli saista septiņu Baltijas jūras reģiona valstu – Latvijas, Lietuvas, Igaunijas, Somijas un Zviedrijas augstskolas, lai sagatavotu speciālistus ar maģistra grādu pēc vienotām programmām. RTU Studiju programmā „Ražošanas inženierzinības un vadība” mācību disciplīnā „Rūpniecisku ražojumu projektēšana” paredzēts darbs ar nosaukumu „Contract Book”, kas ietver līgumprojekta par jaunu inovatīvu izstrādājumu radīšanu sadaļas pēc metodoloģijas, kuru māca apgūt Masačūsetsas tehnoloģijas institūtā (MIT) ASV.

Analizējot un apkopojot vairāku gadu minētās studiju programmas maģistrantu darbu piedāvājumus [4], ir iegūti pētījumu rezultāti, kas var būt noderīgi Latvijas rūpniecībai jaunu eksportspējīgu ražojumu radīšanai.

Projektējot rūpnieciskus izstrādājumus, ir ļoti svarīgi apzināties, kādam tirgus sektoram tie būs paredzēti.



2. att. Perspektīvu izstrādājumu ražošanas Pareto diagramma

Latvijas tirgus sektori ir samērā viegli pārskatāmi; mums ir sektori, kuru zinātniski pētniecisko un inženierdarbu izpildes potenciāls atļauj pretendēt uz izstrādājumiem ar nelieliem izmēriem, masu, bet augstu pievienoto vērtību. Ja sadala 3 gadu laikā izstrādātajos studiju darbos piedāvātos inženiertehnikas ražojumus apakšgrupās, tad to veidi ir sekojoši:

a) mājsaimniecības tehnika, b) mācību/pētniecisko iekārtu modeļi, c) skaņas/video aparatūra, d) datoru perifērijas iekārtas, e) greznuma priekšmeti, f) specializēti instrumenti, g) tehnisku sistēmu rezerves daļas. Pareto joslu diagramma 2. att. atspoguļo studentu piedāvājumu sadalījumu. Pētījuma rezultāti atspoguļo maģistrantu viedokli, ka Latvijā vislietderīgāk būtu rūpnieciski ražot inženiertehniku ar augstu pievienoto vērtību, kura pieskaitāma mājsaimniecības izstrādājumu un mācību/pētniecisko iekārtu apakšgrupai.

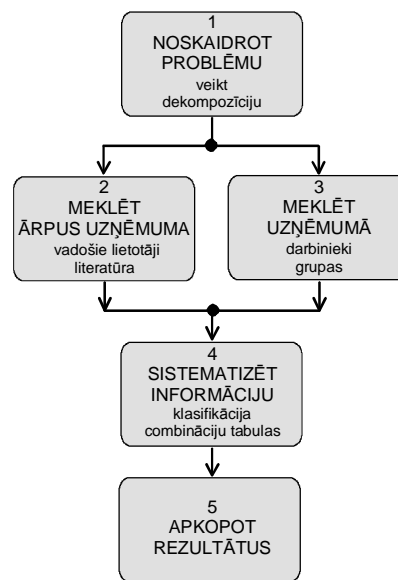
Sadarbībai par inovācijas tipa eksportspējīgu ražojumu radīšanu Latvijas rūpniecībai un to iespējamo ražošanu var griezties RTU TMF Dizaina un ergonomikas centrā Rīgā, Ezermalas ielā 6-339.

IV. IZSTRĀDĀJUMU RADĪŠANAS METODOĻĪSKIE PAMATI

Inženiertehnisku izstrādājumu radīšanu var veikt, izmantojot gan ideju ģenerēšanas metodes, gan izstrādājumu variantu ģenerēšanas metodes.

Izstrādājumu radīšanas jomā eksistē teorētiskie pamati un metodoloģijas [3, 5] (*Design Theory and Methodology*), kas piedāvā formālu, teorētisku pamatojumu jaunu izstrādājumu radīšanas iespējām.

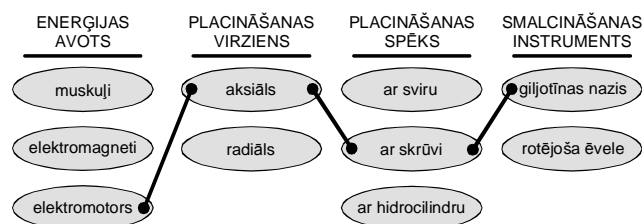
Viena no izplatītākajām metodēm izstrādājumu variantu radīšanā (ģenerēšanā) ir funkcionālās dekompozīcijas un sintēzes metode (*Functional Decomposition and Synthesis*), kas piedāvā loģisku sakaru starp radīšanā pieejamo sākotnējo informāciju un radīšanas procesā iegūtajiem rezultātiem. Metodes būtība atspoguļota 3. att. blokshēmā.



3. att. Izstrādājuma variantu ģenerēšanas metode

Metodes būtība ir samērā vienkārša. Radīšanas process sākas ar to, ka potenciālo izstrādājumu sadala funkcionālās sastāvdaļās. Pēc tam pa visiem iespējamajiem avotiem tiem meklē fizikālās eksistences variantus. Meklēšanas beigās visām funkcionālajām sastāvdaļām ir atrasts liels skaits iespējamo fizikālo risinājumu. Iegūtā informācija tiek sistematizēta, veidojot klasifikācijas koku shēmas un kombināciju tabulas, no kurām veido izstrādājuma potenciālo variantu shēmas kā fizikālo risinājumu kombinācijas.

Metodes būtība atspoguļota 4. attēlā, kurā attēlota klasifikācijas tabula sadzīves tehnikas iekārtai PET plastmasas pudeļu materiāla sasmalcināšanai. Priekšlikumu šādas iekārtas radīšanai savā laikā ir izteikuši inženierzinību studenti un tas pamatots ar to, ka Igaunijā PET plastmasas pudeles nodod par samaksu pēc svara (Valgā – arī latvieši no Valkas).

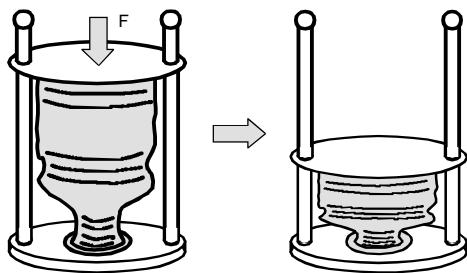


4. att. Izstrādājuma variantu kombināciju veidošanas shēma

Sasmalcināts materiāls aizņem daudz mazāku tilpumu, un sasmalcināšanu var izdarīt brīvajā laikā mājas apstākļos. Papildus var pieminēt, ka Taivānā izstrādāta moderna tehnoloģija PET materiāla pārstrādē šķiedrās un to izmantošanai audumu radīšanai ar plašiem pielietojanas apgabaliem.

Augstāk pieminētā attēla kombināciju tabula apvieno funkcionālās sastāvdaļas ar funkcionāliem parametriem un, to izmantojot, var izveidot pat 36 iekārtas ar atšķirīgām tehnisku risinājumu shēmām.

Nākošais etaps izstrādājuma variantu radīšanā saistīts ar ģenerēto iekārtu struktūru sastāvdaļu un to savstarpējas saistības skīču projektu izstrādi, izmantojot vispārpieņemtus inženiergrafikas apzīmējumus (5. att.).



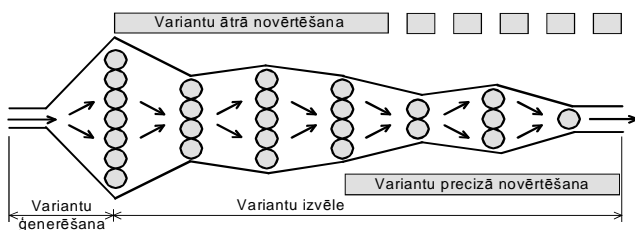
5. att. PET pudeļu aksiālās placināšanas shēmas skice

Izmantojot skīču projektus, vajadzības gadījumā veido iekārtas analītiskā prototipa modeli, ko pētot, var saņemt informāciju par iekārtas darbības precizitāti, statistiskām un dinamiskām īpašībām, darbības stabilitāti, kalpošanas ilgumu u.c. Šī informācija veido iekārtas tehniskos raksturojumus, kas atļauj variantus salīdzināt savā starpā, bet tie nav vienīgie rādītāji, uz kuru pamata tiek pieņemts lēmums par tāda vai cita iekārtas modeļa rūpnieciskās ražošanas plānošanu un uzsākšanu.

Galvenie kritēriji, pēc kuriem tiek pieņemts lēmums par konkrētas iekārtas varianta rūpniecisko ražošanu, saistīti ar varianta atbilstības novērtēšanu iekārtas potenciālo lietotāju prasībām un tā tehnisko raksturojumu vietu konkurējošo iekārtu starpā.

V. IZSTRĀDĀJUMU VARIANTU IZVĒLE

Iepriekš apskatītajā 4. attēlā bija redzams, ka pastāv potenciāla iespēja izveidot līdz pat 36 iekārtām PET plastmasas pudeļu materiāla smalcināšanai ar atšķirīgām uzbūves struktūrām. Līdz ar to rodas jautājums, kuru no iekārtas variantiem virzīt tālāk rūpnieciskai izgatavošanai. Ir pazīstamas kādas septiņas metodes vai pieejas šīs problēmas atrisināšanai. Par labāko, objektīvāko var nosaukt lēmumu matricas metodi [5], kuras realizācijas shēma parādīta 6. attēlā.



6. att. Izstrādājuma variantu izvēles shēma
Fig. 6. Concept selection diagram

Pieminētās izstrādājumu izvēles metodes pamatu veido process ar katra iekārtas varianta salīdzināšanu pēc noteiktiem kritērijiem ar speciāli izvēlētu iekārtas atsauces (reference) variantu. Izvēles process sadalīts divos etapos. Variantu ātrās novērtēšanas (rupjās atsijāšanas) procesā tiek novērtēta izstrādājamās iekārtas aptuvena atbilstība atsauces iekārtai par katru no kritērijiem (labāks, sliktāks, tāds pats). Novērtējumu pozitīvā summa atļauj analizējamās iekārtas variantu virzīt uz nākošo variantu precīzās novērtēšanas etapu.

Precīzās novērtēšanas etapā izmanto ekspertu noteiktu iekārtu salīdzināšanas kritēriju svara rādītājus un analizējamās iekārtas īpašības skaitlisko novērtējumu noteiktam kritērijam. Tas atļauj pēc formulas

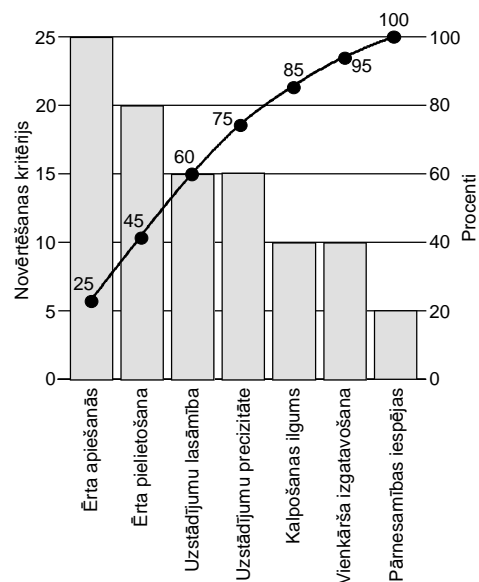
$$S_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} w_i$$

izskaitļot varianta novērtējumu kā novērtēšanas punktu summu, kur

- S_j - punktu skaits variantam j ,
- r_{ij} - i kritērija rindas novērtējums variantam j ,
- w_i - svara koeficients i kritērijam,
- n - kritērija numurs.

Iekārtas varianta izvēle, izmantojot lēmuma matricas metodi, atļauj lēmuma pieņemšanu uzskatāmi dokumentēt, modelēt lēmuma pieņemšanu, izmainot ekspertu skaitlisko novērtējumu izvēles kritērijiem, kas jāuzskata par metodes priekšrocību.

7. attēlā parādīta Pareto diagramma viena piemēra sadzīves tehnikas [5] izvēles kritēriju ekspertu novērtējumam.



7. att. Izstrādājumu novērtēšanas kritēriju Pareto diagramma

Analizējot diagrammu, var diskutēt par ekspertu novērtējuma skaitliskajām vērtībām tādiem kritērijiem kā kalpošanas ilgums, vienkārša izgatavošana, kas novērtēti ar 10 procentiem no kopējo īpašību svara. Minētie kritēriji ir saistīti ar izstrādājuma izgatavošanas izmaksām, tās savukārt ar izgatavošanas tehnoloģijām, bet pēdējo izvēle ir atkarīga no

izgatavojamo izstrādājumu partijas apjoma. Šādus apsvērumus vajadzētu ievērot gadījumos, ja nav precīzi definēti izstrādājuma izgatavošanas apstākļi; tos variantu izvēlē lietderīgi ievērtēt ar izplūdušās loģikas [6] (*fuzzy logic*) matemātiskā aparāta palīdzību.

VI. NOSLĒGUMS

Inovatīvu inženiertehnikas izstrādājumu radīšanai jāgatavo jaunas paaudzes dizaineri, mehāniķi–konstruktori, kuriem studiju programmās ir obligātas mācību pētniecības disciplīnas. Eksportspējīgu izstrādājumu radīšanas apgabalus un iespējas nodrošina komandas ar mārketinga, finanšu un tehnisko speciālistu saskaņotu sadarbību. Izstrādājumu variantu izvēlē jāizmanto izplūdušās loģikas matemātiskā aparāta iespējas.

LITERATŪRA

1. **Rushton, A., Oxley, J., Croucher, P.** *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. (2nd ed.). London: Kogan Page, 2000.
2. **Katzenbach, J. R., Smith, D. K.** *The Wisdom of Teams*. HarperCollins: New York, 1994.
3. **Dieter, George E., Schmidt, Linda C.** *Engineering Design*. McGRAW – HILL, Fourth Edition, International Edition, 2009.
4. **Gerina-Ancāne, A., Šulcs, A.** *Baltech studiju programmas studentu projektēšanas darbu analīze un tās rezultātu Pareto diagramma*. In: RTU 50 SZTK tēzes, 2009.
5. **Ulrich, Karl T., Eppinger, Steven D.** *Product Design and Development*. McGRAW – HILL Fourth Edition, International Edition, 2008.
6. **Zimmermann, H.** *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.

Aivars Šulcs, Dr.sc.ing., assoc. professor, Riga Technical University, Institute of Mechanics. Address: 6k-339 Ezermalas Str., Riga, LV-1006, Latvia. Phone/Fax: +371 67089357. E-mail: aivars.sulcs@rtu.lv

Anita Gerina-Ancāne, M.sc.ing., postgraduate student, Riga Technical University, Institute of Mechanics. Address: 6k-305 Ezermalas Str., LV-1006, Riga, Latvia. Phone: +371 67089473. E-mail: anita.gerina-ancane@rtu.lv

Aivars Sulcs, Anita Gerina-Ancane. Pareto Evolution in Numerical System

The article gives research results on creating innovative engineering product relevant problems and their illustration by Pareto diagrams. The scope of problems involves training of students and their participation in the technical research. It has been discovered that they unwillingly participate in it as a study programs do not envisage compulsory study-research subjects. There is not sufficient information on research work subjects too. The Baltech students of RTU consider that they could be the best candidates for participation in research and elaboration of innovative consumer goods. The article analyses a creation of variants of innovative products and foundations of selection methodology. The method of functional decomposition and synthesis is considered to be the best. The selection process of product variants is usually divided into two stages – the first stage involves rough discarding of variants and the next stage renders a precise assessment of remaining. Industrial manufacturing recommends the products with the best properties – the largest sum of goals which has been calculated taking into consideration the compliance of the products with the user's criteria and the technical assessments by experts. The article analyses the problem of achieving a numerical assessment by experts which the authors offer to solve with the help of fuzzy logic concept.

Айварс Шулц, Анита Гериня-Анцане. Оценка Парето в численной системе

В статье опубликованы результаты исследований о проблемах создания инновативных инженерно-технических изделий и их отображения при помощи диаграмм Парето. Круг проблем включает обучение студентов и их участие в технических исследованиях. Выяснено, что они не очень охотно участвуют в них, из-за того, что в учебных программах не предусмотрена научно-исследовательская дисциплина, а также нет достаточной информации о тематике исследовательских работ. Мнение студентов учебной программы Baltech в РТУ – они охотнее всего участвовали по тематике исследований и разработки инновативных изделий для домашнего хозяйства. В статье проведен анализ методических основ создания и выбора таких изделий. Лучшим методом решения поставленной задачи признан метод функциональной декомпозиции и синтеза. Выбор варианта изделия разделен на два этапа – сперва грубое отсеивание непригодных решений, а потом точная численная оценка оставшийся. Для промышленного производства рекомендуется вариант с наивысшим суммарным численным показателем, вычисленным на основе оценок экспертов и критериев пользователей. В статье оценены показания экспертов, предложено их уточнение при помощи логики расплывчатых понятий.