

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**Anita GERIŅA-ANCĀNE**

**PARETO PRINCIPA PIELIETOJUMS INŽENIERTEHNISKO  
IZSTRĀDĀJUMU KONSTRUKCIJU UN DIZAINA  
NOVĒRTĒŠANĀ**

**Promocijas darba kopsavilkums**

**Rīga 2012**

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Transporta un mašīnzinību fakultāte

Mehānikas institūts

**Anita GERIŅA-ANCĀNE**

Doktora studiju programmas „Inženiertehnika, mehānika un mašīnbūve” doktorante

**PARETO PRINCIPA PIELIETOJUMS INŽENIERTEHNISKO  
IZSTRĀDĀJUMU KONSTRUKCIJU UN DIZAINA  
NOVĒRTĒŠANĀ**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskie vadītāji

Dr. sc. ing., profesors

**A. Januševskis**

Dr. habil. sc. ing., profesors

**J. VĪBA**

**Rīga 2012**

UDK 658.512.2 + 519.8](043)  
Ge 684 p

Gerīņa-Ancāne A. Pareto principa pielietojums inženiertehnisko izstrādājumu konstrukciju un dizaina novērtēšanā. Promocijas darba kopsavilkums. – R.:RTU, 2012. – 31 lpp.

Iespiests saskaņā ar MI 2012. gada 19.jūnija lēmumu, protokols Nr. 22



*Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».*

**PROMOCIJAS DARBS  
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU  
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ  
UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.g. .... Rīgas Tehniskās universitātes Transporta un mašīnzinību fakultātē, Ezermalas ielā 6, ..... auditorijā.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Profesors, Dr. habil.sc.ing. Mihails Zakrčevskis  
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, tehnisko zinātņu doktors Grigorijs Panovko  
Krievijas ZA Mašīnzinību institūts

Profesors, Dr. habil.sc.ing. Juris Cimanskis  
Latvijas Jūras akadēmija

**APSTIPRINĀJUMS**

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

Anita Geriņa-Ancāne .....(Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 7 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 67 attēlus un 10 tabulas, kopā 118 lappuses. Literatūras sarakstā ir 73 nosaukums.

# SATURA RĀDĪTĀJS

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS .....	6
Tēmas aktualitāte .....	6
Darba mērķis .....	6
Pētījuma uzdevumi.....	7
Darba zinātniskā novitāte.....	7
Darba praktiskā vērtība .....	8
Aizstāvēšanai tiek izvirzīts .....	8
Darba sastāvs un apjoms .....	8
Darba aprobācija un publikācijas.....	8
DARBA SATURS .....	9
Pirmā nodaļa .....	9
Otrā nodaļa.....	10
Trešā nodaļa .....	13
Ceturtnā nodaļa .....	15
Piektā nodaļa.....	19
Sestā nodaļa .....	21
Septītā nodaļa.....	24
SECINĀJUMI.....	27
PUBLIKĀCIJU SARAKSTS .....	28
LITERATŪRAS SARAKSTS.....	30

# DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

## *Tēmas aktualitāte*

Vairums mūsu valsts ražotāju diemžēl neapzinās rūpnieciskā dizaina nozīmi un to pievienoto vērtību, ko produktam var dot dizainera darba piesaiste. Bieži vien valda stereotipi uzskatos par dizainu. Parasti tas tiek pasniegts sašaurinātā izpratnē kā mājokļa, sabiedrisku iestāžu, dārza, arhitektūras telpas iekārtojums vai arī saistīts ar augstās modes jomu. Tomēr pastāv arī tāda visnotaļ būtiska joma kā rūpnieciskais dizains. Ja ražotājs prot prasmīgi izmantot dizainera pakalpojumus, viņš savai produkcijai gūst lielu pievienoto vērtību ne tikai gaumes un skaistuma, bet arī materiālā izpratnē.

Promocijas darba galvenais uzdevums ir noskaidrot dizaina lomu Latvijas ražošanas uzņēmumos, kā arī kā pareizi novērtēt labāko dizaina variantu inovatīvam ražojumam.

Baltijas un Skandināvijas valstis atrodas reģionā ar senām rūpnieciskā dizaina tradīcijām. Piemēram, Zviedrijā ražotāji vārda tiešā nozīmē cīnās, lai iegūtu labu speciālistu – dizaineru. Zviedrijā uzņēmēji šādu speciālistu jau noskata studiju laikā, studentiem maksā stipendijas un piedāvā stažēšanos savā uzņēmumā. Pie mums ir citādi. Ir ļoti grūti atrast latviešu uzņēmēju, kurš būtu pieaicinājis dizaineru jau produkta rašanās sākumstadijā. Uzņēmēji neapzinās tās iespējas, ko var piedāvāt dizainers. Lielā mērā pie tā vainojams informācijas trūkums, tāpat dizains tiek uztverts ļoti šaurā nozīmē – tikai kā iepakojums vai reklāma (Borja de Mozota (2003)).

Inovāciju pētījumi Latvijā ļauj secināt, ka starp rūpniecību un zinātni/pētniecību ir ļoti vāja sadarbība. Šo faktu var uzskatīt par vienu no lielākajiem inovāciju un jaunu dizaina produktu attīstības šķēršļiem Latvijā (Belmane (2004)).

Daudzas preces šodien sasniedz augstu tehniskas kvalitātes līmeni. Augsta tehniskā kvalitāte vairs nav izšķirošais faktors. Augsta tehniskā kvalitāte kļuvusi par nepieciešamu faktoru jebkurai precei vai pakalpojumam, kas var reāli konkurēt šodienas tirgū. Kad vairums konkurējošu preču un pakalpojumu ir vienādi tehniskajā kvalitātē, izšķirošā loma pircēju lēmumos ir tādiem emocionāliem faktoriem, kā gaume un simboliskā vērtība (Mollerup Designlab A/S (2004)).

Daudzos gadījumos pircējs nevar novērtēt preču un pakalpojumu tehnisko kvalitāti pirms to lietošanas. Tas palielina emocionālās un simboliskās pievilcības vērtību. Dažos gadījumos, preču un pakalpojumu tehniskā kvalitāte nav nozīmīgs faktors pircēju lēmumos. Pircēji izraugās preces emocionālu iemeslu dēļ.

## *Darba mērķis*

Promocijas darba mērķis ir Pareto teorijas elementu, principu un efektivitātes analīzes pielietojums jaunu inovatīvu inženiertehnisko izstrādājumu radīšanā un to dizaina novērtēšanā. Papildus tam tiek pilnveidotas

matemātiskās objektu analīzes, optimizācijas un sintēzes metodes, modernizējot tās ar Pareto un Fuzzy vadības elementiem.

### ***Pētījuma uzdevumi***

Lai sasniegtu izvirzītos mērķus un realizētu nospraustos uzdevumus, promocijas darba izstrādes procesā izpētīta dizaina vēsture un veikts literatūras apskats par dizaina lomu projektēšanas iestādēs un ražošanas uzņēmumos. Veikts literatūras apskats par Pareto novērtējumu un par Izplūdušo (Fuzzy) elementu metodes pielietojumu inženierzinātnēs un procesu vadības teorijā.

Lai realizētu praktisko daļu, tika pielietotas šādas pētījumu metodes: GEM, mazāko kvadrātu metode, lineārā un nelineārā metode, kā arī izplūdušo (Fuzzy) elementu metode un parametru normēšana. Tika izmantota Pc Crash datu bāze, adaptīvās elektromehāniskas vadības sistēmas sintēzei izmantota MathCAD programmatūra. Kontroles mērinstrumentu paneļa statistiskajiem un dinamiskajiem aprēķiniem, kā arī ietekmei uz vidi pielietota SolidWorks programmatūra.

Pētījumu rezultātu uzskatāmības nodrošināšanai tiek izmantotas tabulas un attēli.

### ***Darba zinātniskā novitāte***

Promocijas darba zinātniskā teorētiskā novitāte – izstrādātas metodes inženiertehnisko objektu novērtēšanā un projektēšanā. Lietotas mūsdienīgas analīzes un datu apstrādes metodes.

Pilnveidota Pareto metodika divu parametru (komerciālā transporta cena un kalpošanas laiks) kritērija uzdevuma optimizācijai vieglo automobiļu vērtības izpētē. Parametru kritērijiem pielietota mazāko kvadrātu metode, lineārā un nelineārā metode, un iegūtas grafiskas līknes tālākai aproksimācijai – izplūdušo (Fuzzy) elementu metode. Pielietojot MathCAD programmatūru, parādīts, ka Fuzzy metodi iegūtās līknes labi sakrīt ar Pareto robežas nosacījumiem.

Izstrādāta metode komerciālā transporta vairāku tehnisko parametru novērtēšanas kritērijam. Parametru normēšana veikta diapazonā no 0 līdz 1, izmantojot Eiklīda telpu. Izstrādātā ranžēšanas metodika ir pielietojama ne tikai automobiļu ekspertīzes veikšanai no pircēja viedokļa, bet arī citu rūpniecisko ražojumu izvērtēšanai un salīdzināšanai.

Izstrādāta izplūdušā (Fuzzy) metode dinamisku sistēmu vadības adaptīvai sintēzei, izmantojot MathCAD programmatūru. Šajā gadījumā dizains ir jāsaprot kā projektēšanas vadība, Fuzzy izplūdušās vadības sintēze un optimālā vadības sintēze. Izstrādātie modeļi liecina, ka "sprādziena - sprādziena" („Bang – Bang”) vadība dod labus rezultātus ārpus stacionāras kustības kontroles, jo kontrolieri un pievadi var strādāt slēdža režīmā ar ļoti augstām frekvencēm. Iegūtos rezultātus, var pielietot arī citu vadāmu objektu kustības sintēzē, piemēram, niršanas ierīcēs, robotikā, zemūdens robotos u.c.

Pilnveidota objekta formas parametriskās optimizācijas metode uz automobiļa kontroles mērinstrumentu paneļa (KMP) bāzes. Metamodeļu izmantošana, kuru izveidošanai pielieto eksperimenta plānošanas metodi transportlīdzekļu KMP modelēšanā un komponentu formas uzdošana ar NURBS splainu atbalsta punktiem, ļauj optimizējot iegūt gludas tehnoloģiski viegli realizējamas formas un neprasa lielus aprēķinu resursus, līdz ar to negludās formas kā tādas tiek izslēgtas no meklēšanas procesa.

### ***Darba praktiskā vērtība***

Praktiskās izmantošanas perspektīvas – jaunu inovatīvu inženiertehnisko objektu izstrādē un optimizācijā, lēmumu pieņemšanā, izvērtējot dažādus valsts mēroga iepirkumus. Jaunieģūto metožu pielietojums speciālas programmatūras izstrādē, kā nākotnes perspektīva ikdienas patērētājam.

### ***Aizstāvēšanai tiek izvirzīts***

- Uz statistikas datu bāzes izstrādāta metodika komerciālā transporta līdzekļu automobiļu novērtējumam, kurā nav nepieciešama ekspertu kļūdas cenu noteikšanā, kur parādīts, ka Fuzzy līknes labi sakrīt ar Pareto robežas nosacījumiem. Var apgalvot, ka Pareto robeža ir gandrīz tas pats, kas Fuzzy vadība.
- Uz Pc Crash datu bāzes parametriem izstrādāta metodika automobiļu matemātiskai novērtēšanai (ranžēšanai), lietojot normēšanu diapazonā no 0 līdz 1.
- Izstrādātā ranžēšanas metodika ir pielietojama arī citu rūpniecisko ražojumu izvērtēšanai un salīdzināšanai.
- Izmantojot izplūdušo (Fuzzy) vadības elementus, ir izstrādāta jauna metodika, ko var izmantot dažādu veidu transporta sistēmu vadības sintēzē reālās ceļu situācijās, kā arī citu vadāmu objektu kustības sintēzē, piemēram, niršanas ierīcēs, robotikā, zemūdens robotos u.c.
- Izstrādāta jauna metodika objektu formas optimizācijai, pielietojot diskrētus formas uzdošanas parametrus.

### ***Darba sastāvs un apjoms***

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 7 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 1 pielikumu, 67 attēlus, 10 tabulas, kopā 118 lapaspuses. Literatūras sarakstā ir 73 nosaukums.

### ***Darba aprobācija un publikācijas***

Promocijas darba rezultāti ziņoti un apspriesti starptautiskas konferencēs un zinātniskos semināros:

- RTU 50. studentu zinātniskā un tehniskā konference (Rīga, Latvija, 2009)
- RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2010)
- 10th International Scientific Conference Engineering for Rural Development (Jelgava, Latvija, 2011)
- Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress: sekcija "Tehniskās zinātnes" (Rīga, Latvija, 2011)
- 9th International Conference on Advanced Manufacturing Systems and Technology - AMST'11 (Mali Lošinj, Horvātija, 2011)
- The 10th International Conference on Vibration Problems (Prāga, Čehija, 2011)
- VI международная научно-техническая конференция "Современные проблемы машиностроения" (Tomskā, Krievija, 2011)
- 11th International Scientific Conference Engineering for Rural Development (Jelgava, Latvija, 2012)
- 15th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM15) (Porto, Portugāle, 2012)

Galvenie darba rezultāti izklāstīti 12 publikācijās un vienā zinātniskajā monogrāfijā.

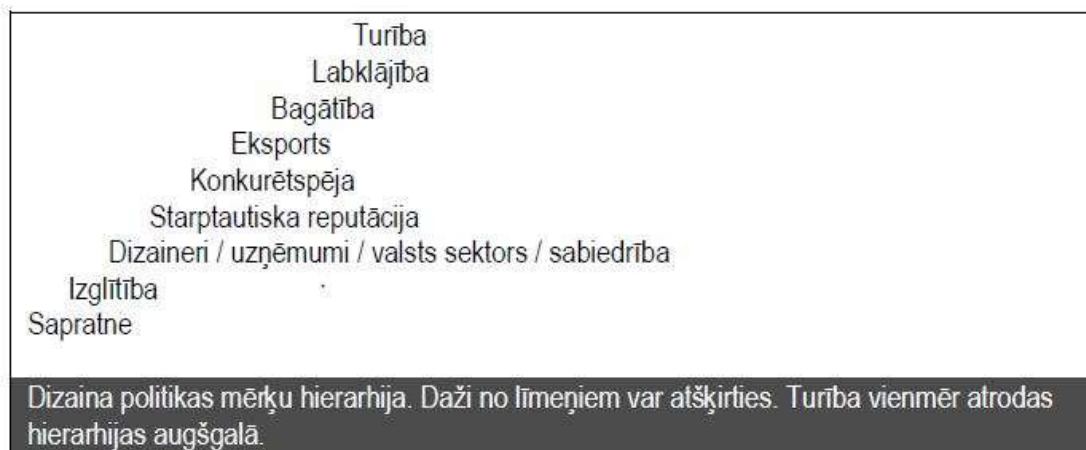
## DARBA SATURS

***Pirmā nodaļa*** – veikts literatūras apskats par dizaina vēsturi, tā nozīmīgumu ražošanas uzņēmumos, kā arī noskaidrota tā reālā situācija Latvijā.

Parādīts, ka dizaina nozīmīgums (pareizs tā skaidrojums un pielietojums) ir jāskaidro ne tikai uzņēmumu vadības līmenī, bet arī visai sabiedrībai kopumā, lai tā (kā potenciālais patērētājs) izprastu ražotāju ieguldīto darbu, un attiecīgo produkta cenu, kas būs augstāka nekā slikti projektētam produktam vai pakalpojumam.

Zinātniski ar argumentiem parādīts, ka atbalstot vietējos uzņēmumus un jaunu produktu projektētājus – dizaineru ieguldīto darbu, mēs ceļam valsts turību, motivējot arī valsti atbalstīt finansiāli, un starptautiskā mērogā.

Vairums nacionālo politiku tieši paziņo, ka uzņēmumu un rūpniecības konkurētspējas celšana ir to dizaina politikas mērķis. Dizainam jāpievieno vērtība precēm, pakalpojumiem un uzņēmumiem, tādējādi pievienojot vērtību valstij kopumā. Gala rezultātā paaugstināta konkurētspēja rada lielāku bagātību un labklājību, paaugstina turību jeb dzīves kvalitāti. Mērķi, kas tiek minēti nacionālajās dizaina politikās, ir hierarhiski saitīti savā starpā. Vairumā gadījumu visi mērķi – izņemot „turību” – ir līdzekļi augstāka līmeņa mērķu sasniegšanai, ko var redzēt Att. 1. (Mollerup Designlab A/S (2004)).



Attēls 1. Nacionālā dizaina politikas mērķi

Promocijas darbā pievērsta uzmanību pareizai koncepcijas izstrādei pie inovatīvu produktu izstrādes procesa, kas ļautu ražotājiem veiksmīgāk novērst inovatīva produkta defektus, jau pašā prototipa izstrādes procesā, kā arī atvieglotu darbu pie vairāku līdzvērtīgu produktu izvēles, piemēram, dažādos valsts izsludinātajos iepirkumu konkursos, kur parasti visu izsaka cena, kaut pēc būtības cena neatspoguļo patieso produkta kvalitāti un citus svarīgos tehniskos rādītājus.

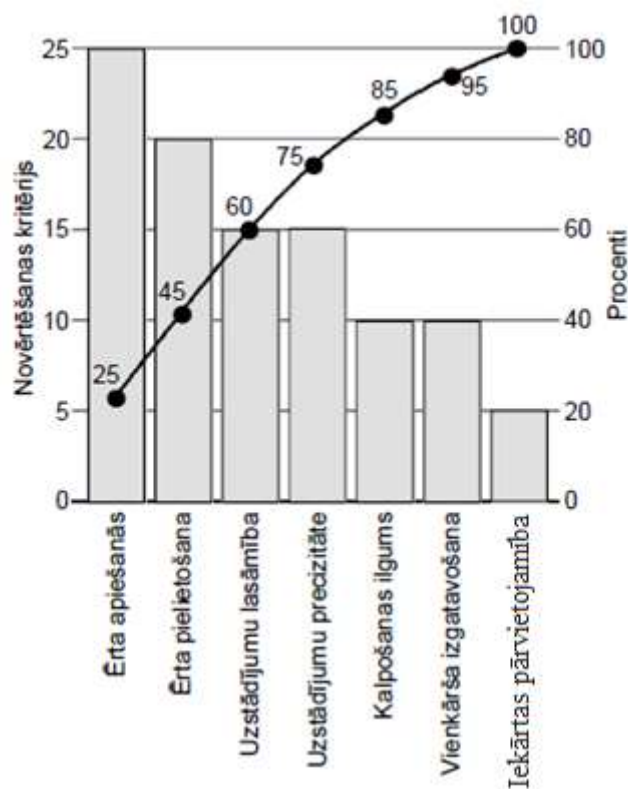
Auditori Latvijas uzņēmumos atklāja virkni neatrisinātu problēmu. Piemēram, uzņēmumam ir spēcīga tehnoloģiskā puse, ir izpratne par dizainu. Tie mēģina veidot dizainu pašu spēkiem, kā rezultātā tiek radīta standarta produkcija, apdarināta ar neparastiem materiāliem vai uzņēmumam pašlaik nav attīstīts, ne ārējais, ne arī iekšējais dizaina kapitāls, lai gan uzņēmuma vadība apzinās dizaina specifiskās iespējas un potenciālu, kā arī uzņēmuma dizaina kapitāla nozīmi uzņēmuma attīstībai.

ASV ir izstrādāti 26 novērtēšanas parametri, pēc kuriem tiek novērtēts katrs jaunais dizaina produkts (Ulrich un Eppinger (2008)). Pielietojot ASV metodiku, var secināt, ka tieši ne tik ļoti vizuāli pievilcīgais produkts ir pats labākais.

Promocijas darbā uzskatāmi ir parādīts objekta dizaina projektēšanas pozitīvs piemērs, izstrādājot inovatīvu MAZDA automobili, izmantojot KODO dizaina koncepciju.

**Otrā nodaļa** veltīta Pareto novērtējuma apskatam – Pareto principam, efektivitātei un Pareto robežai.

Pareto principa pielietojuma analīzes rezultāti tiek atspoguļoti grafiski ar Pareto diagrammu. Būtībā tā ir stabiņu diagramma, kuras stabiņi sakārtoti dilstošā secībā. Katra stabiņa augstums raksturo attiecīgā lieluma biežuma vērtību līdzīgi kā histogrammā. Tādā veidā stabiņu savstarpējais novietojums raksturo to savstarpējā svarīguma pakāpes. Ļoti noderīgi Pareto diagrammā papildus attēlot procentuāli katra stabiņa svaru, kā arī stabiņa pieaugošo summāro svaru ievērojot iepriekšējo stabiņu svarīgumu (skat. Att. 2.).

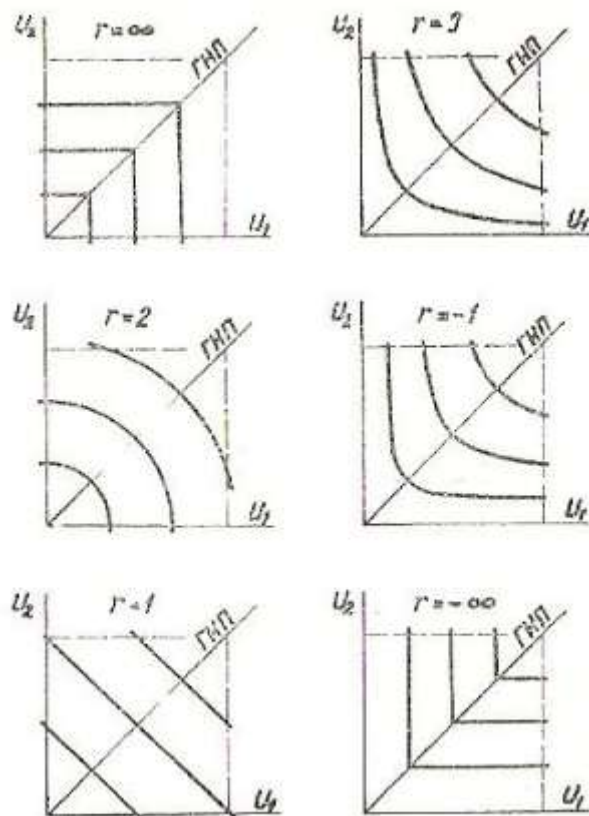


Attēls 2. Izstrādājumu novērtēšanas kritēriju Pareto diagramma

Pareto efektivitāte jeb Pareto optimalitāte ir koncepcija, kas ir pielietojama ne tikai ekonomikā, bet arī inženierzinātnēs un sociālajās zinātnēs. Termins ir nosaukts itāļu ekonomista Vilfredo Pareto vārdā, kas izmantoja šo koncepciju savos pētījumos par ekonomikas efektivitāti un ienākumu sadali.

Pareto robeža ir īpaši noderīga attiecībā uz tehnoloģijām: pievēršot uzmanību tikai tādiem variantiem, kas ir efektīvi saskaņā ar Pareto metodi, projektētājs var veikt konkrēti nepieciešamas izmaiņas, izvēloties kompromisa risinājumu, nevis apsvērt katra parametra iespējas.

Parametrs  $r$  nosaka pieļaujamā kompromisa pakāpi – iespēja kompensēt nepilnības vienas kvalitātes rādītājumus ar citu rādītāju lielāku daudzumu. Saprotami, ka ir jāpieprasa, lai vienādas nozīmes līnijas nekrustotu koordinātu asis (kas ir viennozīmīgs koordinātu asu galīgais pieņēmums). Turklāt saprātīgs kompromiss tiks noteikts ar negatīvo parametru  $r$  vērtībām (skat. Att. 3.) (Слиде и Эглайс (1997)).



Attēls 3. Vienādas nozīmes līnijas pie diviem kvalitātes rādītājiem

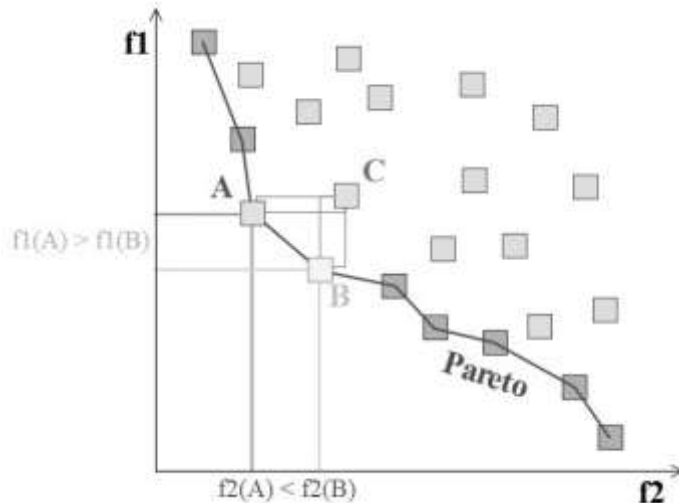
Formāli Pareto robežas definīcija ir šāda.

Jāiedomājas objekta telpa ar  $n$  reāliem parametriem, un katram objekta telpas punktam ir  $m$  dažādi kritēriji, pēc kuriem izvērtēt šo punktu. Šī

$$f: R^n \rightarrow R^m \quad (1)$$

ir funkcija, kas katram objekta telpas punktam  $x$  piešķir kritēriju telpas punktu  $f(x)$ . Tas ir veids, kā izvērtēt objektus.

Pareto robežas piemērs ir parādīts Att. 4. Kvadrātveida punkti norāda iespējamās izvēles variantus, un mazākām vērtībām tiek dota priekšroka attiecībā pret lielākām vērtībām.  $C$  punkts neatrodas uz Pareto robežas, jo pār to dominē gan  $A$ , gan  $B$  punkts. Neviens cits punkts neatrodas dominējošā stāvoklī attiecībā pret  $A$  un  $B$  punktu, līdz ar to tie atrodas uz robežas (Kung u.c. (1975); Parke u.c. (2006)).



Attēls 4. Pareto robeža

Darbā parādīts, ka izstrādājot jaunus produktus, jāņem vērā ne tikai produkta inovācija, patērētāju vēlmes, bet arī ražotāja tehnoloģiskās iespējas (jāizvērtē un jānosaka paši būtiskākie faktori, lai tas tiktu darīts vai tieši otrādi, kad varbūt vajag atteikties no iepriekš iecerētā).

No promocijas darba materiāliem ir redzams, ka pasaulē ir izstrādāts milzums daudz metodoloģiju, pēc kurām vadīties, bet strikti pateikt, kura ir tā labākā – nav iespējams (katrai metodoloģijai ir kaut kas labs, bet kaut kas var būt pilnīgi lieks, tāpēc par pamatu ir jāizvēlas tā, kurai mūsaprāt ir atbilstošāki kritēriji un to sintezēt ar kādas citas metodoloģijas palīdzību, tā radot savu – personīgo (uzņēmuma ietvaros vai valsts līmenī – metodoloģiju).

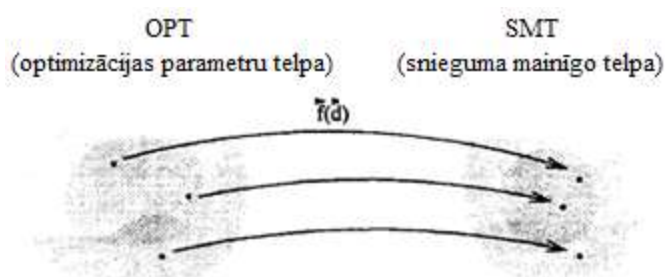
Argumentēti parādīts, ka inženieru svarīgākais un unikālais uzdevums (izstrādājot jaunu produktu) ir identificēt, izprast un interpretēt objekta parametru ierobežojumus, lai panāktu optimālāko rezultātu pie iespējamās procesa vadības.

**Trešā nodaļa** – veikts literatūras apskats par izplūdušo (Fuzzy) elementu metodes pielietojumu inženierzinātnēs un vadības teorijā, kas nozīmē, ka tehnisko risinājumu koncepciju izstrādes posmā konstruējamā objekta apraksts lielā mērā ir nenoteikts vai neprecīzs (izplūdis).

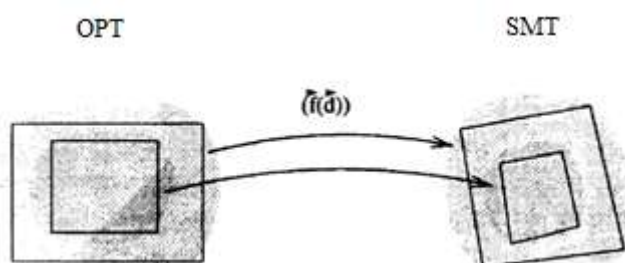
Metodoloģija neprecizitātes atspoguļošanai ir visvairāk nepieciešama inženierprojektēšanas sākuma posmos, kad projektētājam ir vismazākā skaidrība par galīgajiem izmēriem un formu, materiāliem un īpašībām, kā arī pabeigtā projektējamā objekta patiesajiem ekspluatācijas rādītājiem (Ward u.c. (1994)).

Projektējamā objekta neprecizitāte ir saistīta ar tā optimizējamo parametru vērtību izvēli, kuras raksturo radāmo objektu vai procesu, tad preferences izmanto, lai kvantētu (noteiktu) neprecizitāti, ar kādu šie optimizācijas parametri ir zināmi. Šajā gadījumā izvēle nozīmē subjektīvu vai objektīvu informāciju, kuru ir iespējams izteikt kvantitatīvi un kura ir iekļauta objekta alternatīvu novērtējumā. Šo pieeju, kuras pamatā ir izplūdušo kopu matemātika, dēvē par neprecizitātes metodi (NM).

NM sākumā tiek noteikta viena vai vairākas projektējamā objekta alternatīvas koncepcijas līmenī. Tad katram mainīgajam, kas neprecīzi jeb aptuveni raksturo projektējamo objektu, piemēro projektētāja izvēlēto priekšrocību – preferenci. Parasti jāastopas arī ar neprecīzu snieguma rādītāju specifikāciju aprakstu, kuru var iegūt no pasūtītājiem, veicot tirgus aptaujas u.tml. Pēc tam neprecīzos (izplūdušos) optimizācijas parametrus *inducē* snieguma rādītāju telpā. Inženierpraksē var lietot tradicionālo „punktu pa punktam” pieeju, kas atspoguļota Att. 4. Tomēr var rīkoties arī šādi: snieguma rādītājos inducētās objekta preferences var salīdzināt ar specifikācijām. Šai brīdī izmantojot agregācijas funkciju, var pieņemt kompromisa lēmumu attiecībā uz dažādiem konkurējošiem projektējamā objekta konstrukcijas aspektiem, proti, var pieņemt lēmumus par katras alternatīvās koncepcijas pieļaujamību un noteikt optimizācijas parametru daudzsoļos apgabalus vai kopas, kā parādīts Att. 5. (Zimmermann (1999)).



Attēls 4. Katras konstrukcijas secīga izvērtēšana



Attēls 5. Konstrukciju izvērtēšanas kopas

Funkcionālās prasības un objekta preferences var veidot kā izplūdušo kopu piederības funkcijas, preferenču apkopošana ir izplūdušo kopu agregācijas uzdevums.

Promocijas darbā tiek apskatīta arī lēmumu pieņemšanas teorijas izstrāde, kuras pamatā ir lietderības teorija un varbūtības teorija. Sākotnēji lēmumu pieņemšanas teorija tika piemērota darījumu pārvaldības situācijām un tagad ir kļuvusi par svarīgu tehniskās projektēšanas izpētes jomu.

Situācijā, kurā *lēmums ir pieņemts ar pārliecību*, lēmuma pieņēmēja rīcībā ir visa informācija, kas nepieciešama, lai novērtētu iespējamās izvēles iznākumu. Šīs personas rīcībā ir arī informācija par dažādiem apstākļiem, kādos jāpieņem lēmums. Tāpēc lēmuma pieņēmējam ir vienīgi jāatpazīst

situācija, kurā notiek lēmuma pieņemšana, un jāanalizē visu iespējamo izvēļu iznākumi. Šajā gadījumā galvenais izaicinājums ir panākt, lai attiecīgajā brīdī ir pieejama informācija par iznākumiem. Šī lēmuma stratēģija ir attēlota tabulā (skat. Att. 6.) (Dieter un Schmidt (2009)).

<b>Pirmatnējais stāvoklis</b>			
<b>Rīcības veids</b>	$\Theta_1$	$\Theta_2$	$\Theta_3$
$a_1$	1	4	10
$a_2$	3	2	4
$a_3$	5	4	3

Attēls 6. Zaudējumu tabula attiecībā uz lēmumiem par materiālu izvēli

Šī nodaļa ietver arī literatūras apskatu par analīzi un sintēzi, kur analīze ir parādīta kā loģiskās domāšanas paņēmieni, izziņas metode, kas paredz pētāmā priekšmeta (domās vai praktiski) sadalīšanu elementos (daļās, atsevišķās pazīmēs, īpašībās, attiecībās), lai pēc tam katru no šiem elementiem izzinātu atsevišķi kā sadalītā veselo daļu. Pēc tam tādā veidā iegūto informāciju par katru sastāvelementu apvieno ar citas metodes palīdzību – ar sintēzi. Tāda apvienošana ir iespējama tikai tad, kad ir zināmi sastāvelementu savstarpējie sakari, attiecības un šīs zināšanas izmantotas sintēzes gaitā.

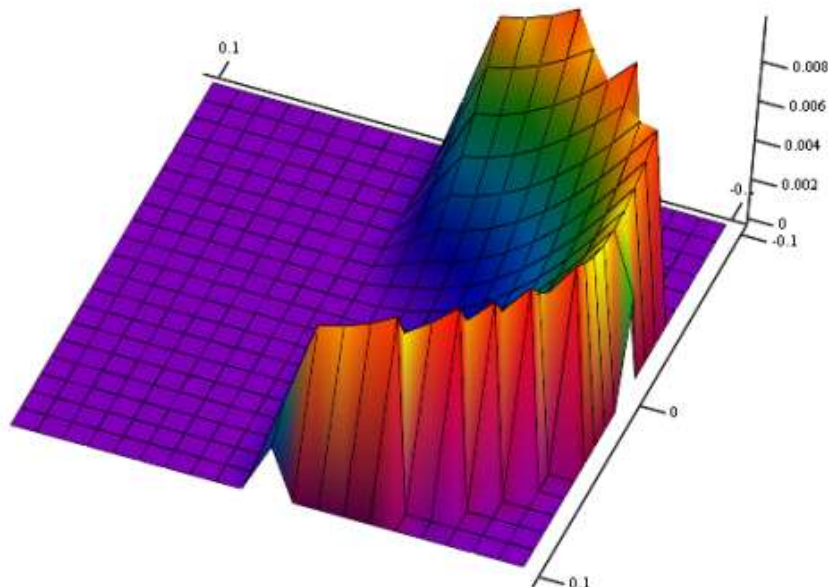
Jau analīzes sākumā izziņas subjektam ir kaut kāds apkopots priekšstats par izziņas objektu, no kā viņš vadās. Pēc tam, izpētot dažas dotā objekta sastāvdaļas (analīze), pētnieks veic pirmo iegūto rezultātu apkopojumus (sintēze). Tas nenozīmē, ka analīze un sintēze pastāv tīrā veidā, ka no sakumā ir jāpielieto pirmā no tām, bet pēc tam otrā (Zimmermann (1999)).

**Ceturtnā nodaļa** – veikta praktiskā daļa, kurā uz statistikas datu bāzes izstrādāta metodika komerciālā transporta līdzekļu automobiļu novērtējumam, kurā nav nepieciešama ekspertu kļūdas cenu noteikšanā. Parādīts, ka Fuzzy līknes labi sakrīt ar Pareto robežas nosacījumiem. Var apgalvot, ka Pareto robeža ir gandrīz tas pats, kas Fuzzy vadības kontrole.

Divu parametru kritērija optimizācijai par pamatu ir ņemti lietoti Renault komerciālā transporta Kangoo modeļi ar dažādiem dzinēja tilpumiem, izlaiduma gadiem un cenu, kura Latvijas tirgū ir piedāvāta 2012.gadā. Par galvenajiem parametriem tiek ņemti automobiļa izlaiduma gads un piedāvātā tirgus cena Latvijā 2012.gadā. Šo parametru optimizācijai tiek pielietota mazāko kvadrātu metode, lineārā un nelineārā metode (Vība un Lavendelis (2006); Zakrzhevsky (2008)), kā arī izplūdušo (Fuzzy) elementu metode.

Att. 7. attēlotā efektivitāte kā „kalnu grēda” tiek lietota dotajā aprēķinā. Automobiļa reālā vidējā cena ar mazāko kvadrātu metodi atrasta no eksperimentiem – tirgus cenu vērtības. Kalnu grēdas malas tiek novērtētas ar jaunu metodiku, kura ietver sākot no automobiļa sākuma cenas līdz pat lūžņu cenai. Parādīts, ka Pareto efektivitāte ir kā kalnu grēdas virsotne no abām pusēm. Vienā un otrā pusē novērtējumi ir mazāki nekā Pareto efektivitātei.

Līdz ar to novērtējums, kas tuvāks virsotnēm ir labāks par tiem, kuri atrodas tālāk. Attālums (tālāk vai tuvāk) tiek mērīts ar Eiklīda telpas distances mēru no koordinātu sākuma punkta.



Attēls 7. Pareto efektivitāte

Mazāko kvadrātu metodes analizē izmantoti aproksimēti dati ar kubisku vienādojumu

$$f = a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (2)$$

kur:  $f$  – automobiļa cena,  $a$  – koeficients un  $x$  – automobiļa izlaiduma gads. Tad novirze ir:

$$\Delta = \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)]^2 \quad (3)$$

Tālāk tiek atrasti četri koeficienti  $a_0, a_1, a_2, a_3$ , kuri novirzei  $\Delta$  dod minimālo vērtību. Parciālie atvasinājumi pēc visām četrām konstantēm  $a_0, a_1, a_2, a_3$ , pielīdzināti nullēm:

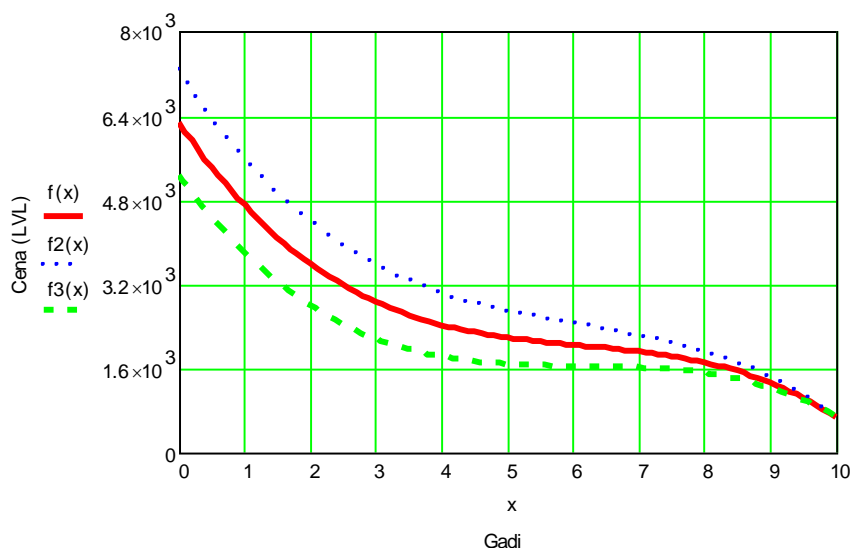
$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta}{\partial a_0} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-1) = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_1} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-X) = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_2} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-X^2) = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_3} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-X^3) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Sekojoši tiek veikts aprēķins. Ņemtas vidējās cenas vērtības pie attiecīgā automobiļa izlaiduma gada. Tiek aproksimēti dati ar kubisku vienādojumu. Tiek pielietota Fuzzy izplūdušī kontrole +1000 un -1000 (LVL) robežās

$$f_2(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + 1000 \left(1 - \frac{x}{10}\right)$$

$$f_3(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 - 1000 \left(1 - \frac{x}{10}\right) \quad (5)$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 8.



Attēls 8. Viena kompromisa līkne ar mazāko kvadrātu metodi un Fuzzy vadības kontroli

Pie *lineārās aprēķinu metodes* tiek ņemta sākotnējā pārdošanas cena tikko jaunam automobilim. Nākamā automobiļa cena tiek ņemta intervālā ik pa 10 gadiem, līdz beidzot automobilis pie 20 gadu robežas jau iegūst metāllūžņu cenas vērtību.

$$f = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + x} \quad (6)$$

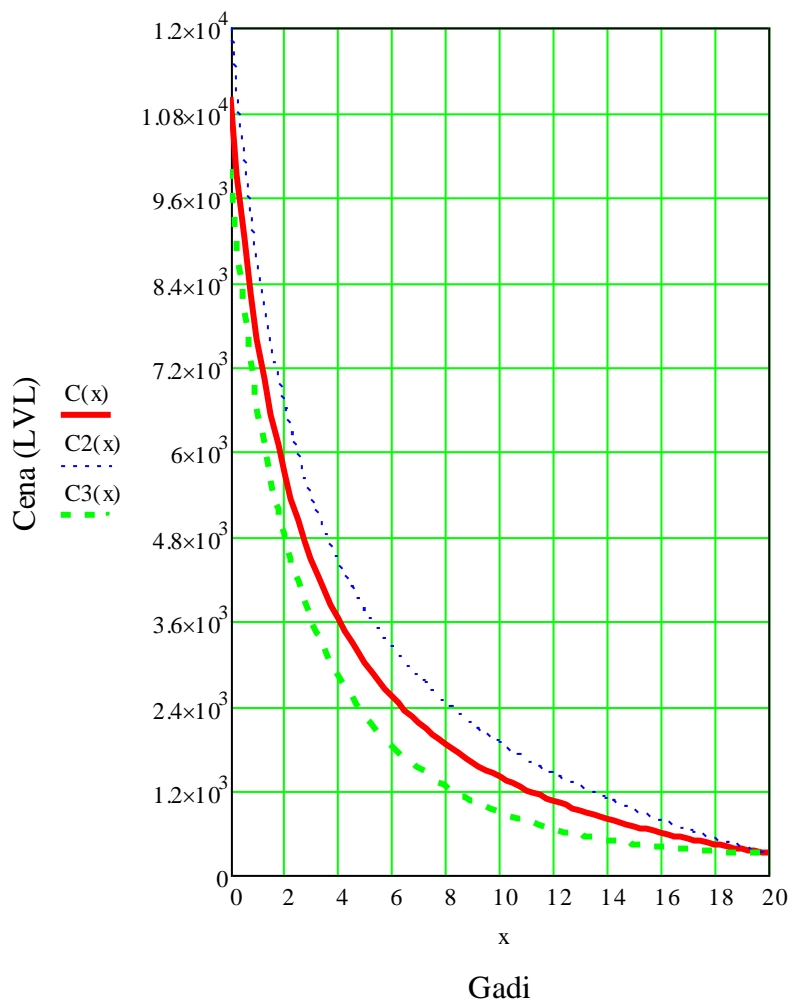
kur:  $f$  – automobiļa cena,  $a$  – koeficients,  $x$  – automobiļa izlaiduma gads.

$$\begin{aligned} 11000 &= a_1 + \frac{a_2}{a_3 + 0} \\ 11000 &= a_1 + \frac{a_2}{a_3 + 5} \\ 11000 &= a_1 + \frac{a_2}{a_3 + 20} \end{aligned} \quad (7)$$

Tiek veikta koeficientu  $a_1, a_2, a_3$  atrašana un pielietota Fuzzy izplūdušī kontrole +1000 un -1000 (LVL) robežās.

$$\begin{aligned} C_2(x) &= a_1 + \frac{a_2}{a_3 + x} + 1000 \left(1 - \frac{x}{20}\right) \\ C_3(x) &= a_1 + \frac{a_2}{a_3 + x} - 1000 \left(1 - \frac{x}{20}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 9.



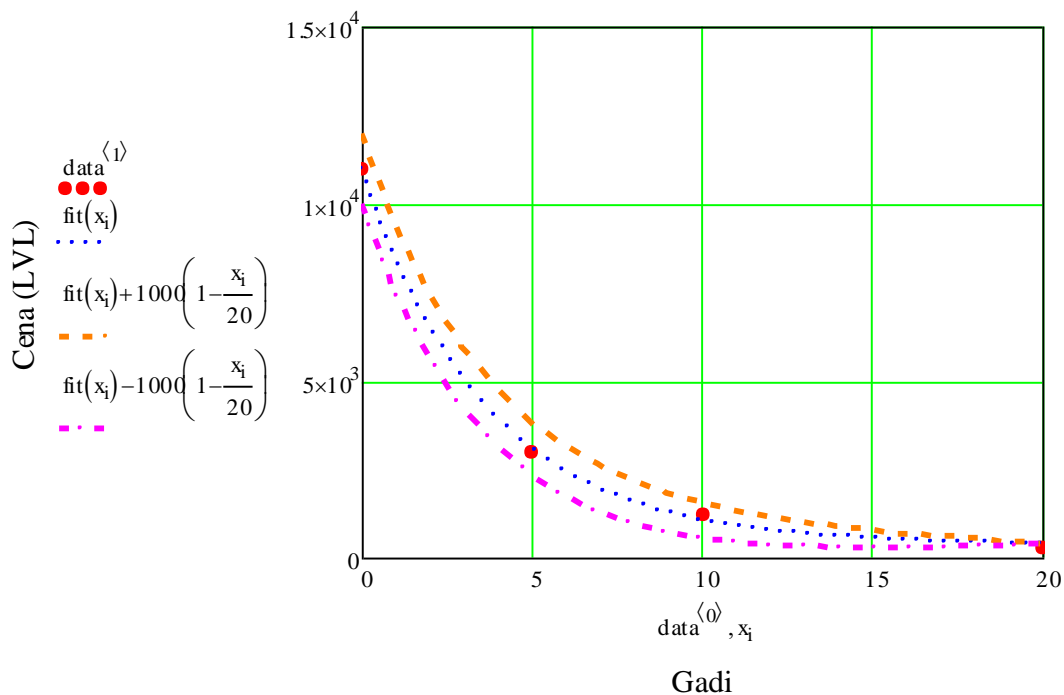
Attēls 9. Viena kompromisa līkne ar lineāro metodi un Fuzzy vadības kontroli (Fuzzy Pareto robežas grafiks)

*Nelineārās metodes* aprēķinu gadījumā veikta divu parametru (cenas un gadu) salīdzināšana, Renault Kangoo izmantota eksponenta funkcija. Kā arī pie iegūtā rezultāta pielietota Fuzzy vadības kontroles cenu robeža no +1000 līdz – 1000 (LVL). Automašīna cena tiek ņemta pie 0, 5, 10 un 20 gadiem.

Tiek sastādīts eksponenta vienādojums, kur koeficienti  $a, b, c = 2$ .

$$y = ae^{bx} + c \quad (9)$$

Veikts aprēķins un iegūts rezultātu grafiks (skat. Att. 10.), izmantojot MathCAD programmatūru.

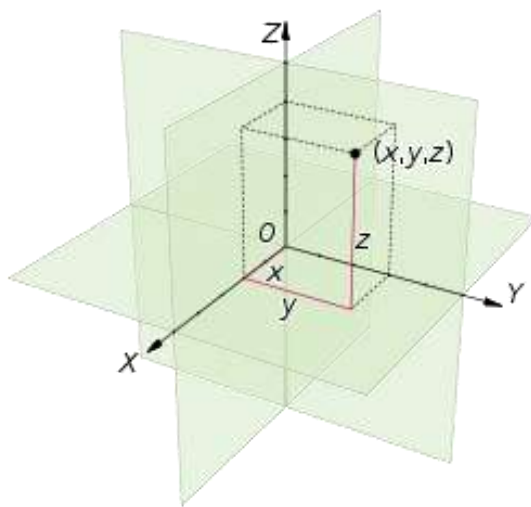


Attēls 10. Viena kompromisa līkne ar eksponenta funkciju un Fuzzy vadības kontroli

Izstrādāto metodi var pielietot jebkura inženiertehniskā objekta novērtēšanā, par pamatu ņemot divu parametru kritēriju optimizāciju.

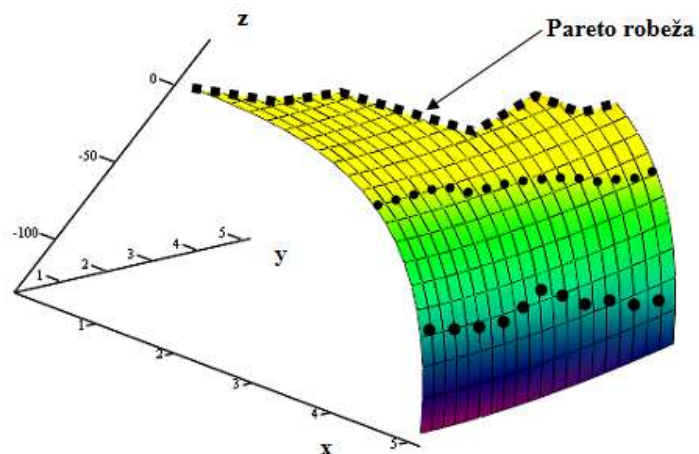
**Piektā nodaļa** – izmantojot PC Crash automobiļu datubāzi, par pamatu tika izvēlēts komerc transports, kurš ir paredzēts vidējo un mazo uzņēmumu vajadzībām, izstrādāta metodika automobiļu ekspertīzes veikšanai no pircēja viedokļa.

Vairāku tehnisko parametru novērtēšanai tiek pielietota 3 dimensiju Eiklīda telpa (skat. Att. 11.). To var pielietot attēlojot novērtējumus normētā telpā, piemēram, pie komerciālo transporta līdzekļu salīdzināšanas.



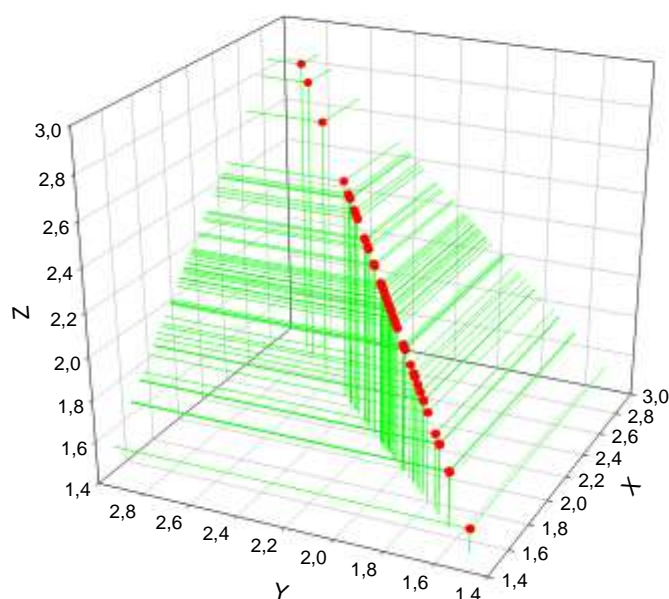
Attēls 11. Punkta noteikšana ar trijām koordinātēm (x, y, z) 3D Eiklīda telpā

Aprēķinā Pareto robeža (skat. Att. 12.), tiek izmantota daļēji, jo aprēķina galvenais mērķis ir salīdzināt daudz gadījumu (kritēriju) pa „labi” no šīs robežas. Att. 12. parādīts, ka šeit ir izeja no vienas puses, kas ir citādāk nekā pie Pareto efektivitātes (skat. Att. 7.). Daudzi punktiņi uz grafika (skat. Att. 12.) norāda, ka uz vienādas salīdzināšanas līknes, promocijas darbā tiek izstrādāta metodika šo līkņu atrašanai 12 parametru telpā pie komerciālā transporta parametriem.



Attēls 12. Pareto robeža

Aprēķinam no automobiļu datubāzes (PC Crash) ņemti, 12 dažādi parametri 53 automobiļiem, kuriem tiek veikta normēšana no 0 līdz 1, kā rezultātā ir iegūta normēto rezultātu tabula (skat. Promocijas darbu 5.2.tabulu) ar labāko un sliktāko komerciālo transportlīdzekli. Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 13. Uz x, y, un z asīm ir atlikts viens iegūtais normēšanas rezultāts.



Attēls 13. Komerctransporta automobiļu normēšanas grafiks 3D Eiklīda telpā

Labākais komerctransporta automobilis pēc normēšanas 3D Eiklīda telpā ir Citroen Berling 2.0 (Nr.38 – skat. Promocijas darbu 5.2.tabulu), kas uzskatāmi ir parādīts arī Att. 9., ar vissliktākajiem rezultātiem redzams automobilis ar kārtas skaitli Nr.26 (skat. Promocijas darbu 5.2.tabulu – Opel Combo 1.6).

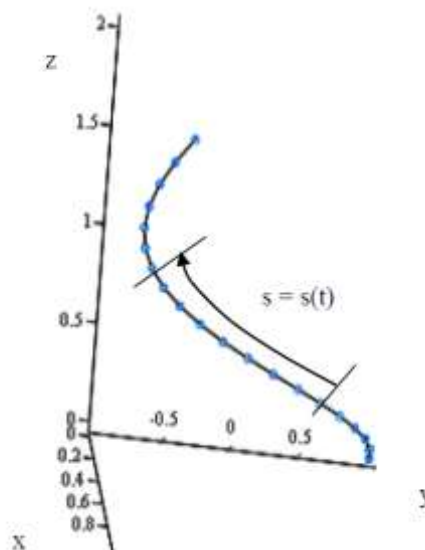
Izstrādātā ranžēšanas metodika ir pielietojama arī citu rūpniecisko ražojumu izvērtēšanai un salīdzināšanai.

**Sestā nodaļa** – izmantojot izplūdušos (Fuzzy) vadības elementus, ir izstrādāta jauna metodika, ko var izmantot dažāda veida transporta sistēmu vadības sintēzei reālās ceļu situācijās. Šajā nodaļā ar vārdu dizains (projektēšana) ir jāsaprot kā dizaina vadība, Fuzzy izplūdušās vadības sintēze un optimālā vadības sintēze. Tiek veikts automobiļa kustības aprēķins, braucot automobiļim kalnā. Visi aprēķini tika veikti, izmantojot MathCAD programmatūru.

Kustības vienādojumu, transporta līdzekļa (automobiļa) vienkāršotu diferenciālo vienādojumu gar konkrēto 3-D telpas trajektoriju, var formulēt kā (skat. Att. 14. a)):



Attēls 14. a) Automobiļa kustība pa noteiktu trajektoriju



Attēls 14. b) Automobiļa kustības grafiks

$$m\ddot{s} = -F[s, \dot{s}, \text{sign}(\dot{s}), V, \varphi(s, t)] - mg\sin(\alpha(s)) - R(t, s, \dot{s}) + u(t, s, \dot{s}) \quad (10)$$

kur:  $m$  – automobiļa masa,  $s, \dot{s}, \ddot{s}$  – līklīnijas koordināte, ātrums un tangenciālais paātrinājums,  $-F[s, \dot{s}, \text{sign}(\dot{s}), V, \varphi(s, t)]$  – visi pretestības spēki, ieskaitot vēja ātrumu  $V$  ar darbības leņķi  $\varphi$ ,  $g$  – brīvais krišanas paātrinājums,  $t$  – laiks,  $\alpha$  – slīpuma leņķis,  $R(t, s, \dot{s})$  – nelīdzena ceļa mijiedarbības spēks,  $u(t, s, \dot{s})$  – vadības iedarbība.

Līdz ar to iedarbības vadība  $u(t, s, \dot{s})$  var tikt sintezēta (skat. Att. 14. b)).

Parasti vadības sistēmas ir balstītas uz matemātiskiem modeļiem, kuriem nav aprakstīta vadības sistēma, izmantojot vienu vai vairākus diferenciālos vienādojumus, kuri nosaka sistēmas atbildes reakcijas uz saviem resursiem.

Šādām sistēmām bieži vien tiek pielietoti „proporcionāli – integrālais – diferenciālais” (PID) regulators. PID algoritmu var uzrakstīt šādi:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (11)$$

kur:  $K_p$  – regulēšanas parametra proporcionālais pieaugums,  $K_i$  – regulēšanas parametra integrālais pieaugums,  $K_d$  – regulēšanas parametra atvasinātais pieaugums,  $e$  – Kļūda =  $SP - PV$  ( $SP$  – iestatījums;  $PV$  – procesa mainīgais vai norises vērtība),  $t$  – laiks vai momentānais laiks.

Jāievēro, tas ka, lietojot PID vadības algoritmu, tas negarantē optimālu vadības sistēmu vai sistēmas stabilitāti.

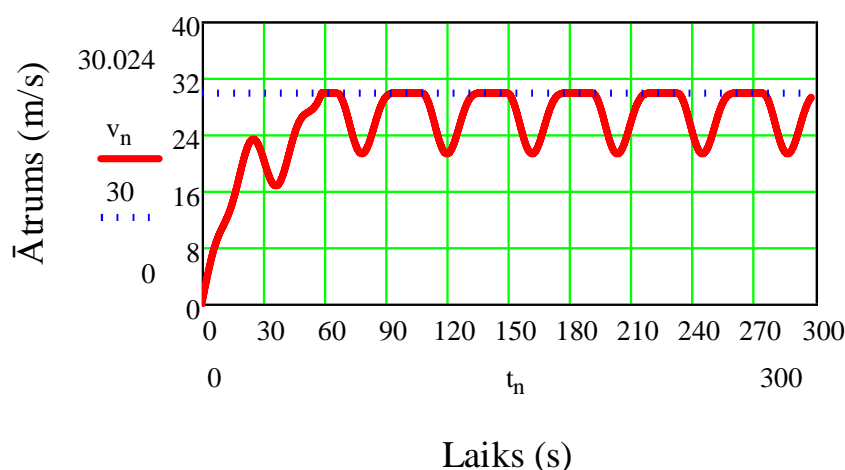
Aprēķiniem izmantoti diferenciālvienādojumi, tiek aplūkoti gadījumi ar harmoniskām un biharmoniskām vadībām.

*Optimālā vadība* parāda, ka jebkurā laika intervālā vadība var pārvietot objektu atpakaļ līdzsvara stāvoklī ar noteiktu ātrumu. Ja vadība  $u(t, s, \dot{s})$  ir robežās (skat. 8. formulu) ar robežām  $u_1, u_2$ :

$$u_1 \leq u(t, s, \dot{s}) \leq u_2 \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} = & \left[ v_n + \frac{s}{m} [-b(v_n)^2 \text{sign}(v_n) - F_b \text{sign}(v_n) + \right. \\ & x_n + s v_n \\ & + P_0 \text{sign}(v_n) (0.5 - 0.5 \text{sign}(v_n - 30)) - P_1 \text{sign}(v_n) (0.5 + 0.5 \text{sign}(v_n - 30)) + \\ & \left. + H1 \left( \sin(\omega t_n) + 1 \sin \left( 2\omega t_n + \frac{\pi}{2} \right) \right) \right] \end{aligned} \quad (13)$$

Izmantojot MathCAD programmatūru, ir veikts aprēķins un iegūts rezultātu grafiks (skat. Att. 15.).

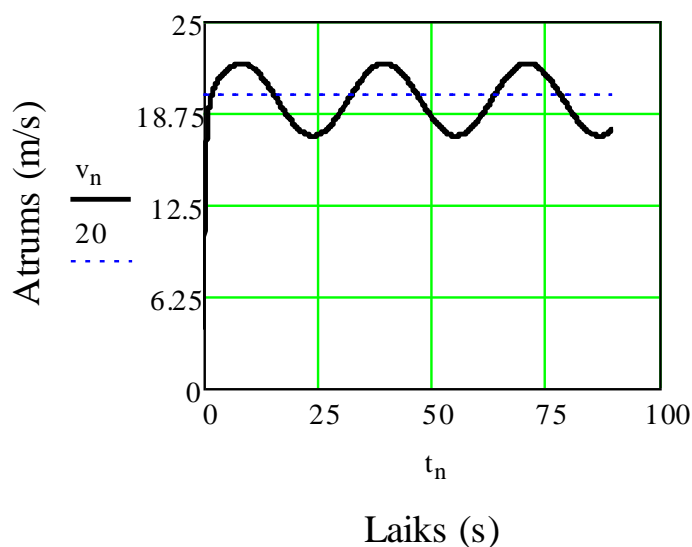


Attēls 15. Ātrums kā laika funkcija intervālā 20 – 30 m/s

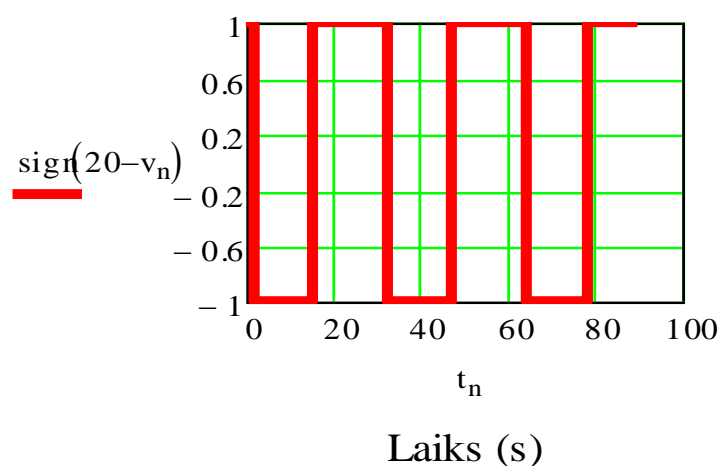
Lineārā vadība šeit ir normēta, lai nav jāraksta konkrētā automobiļa masa u.c. lielumi. Lineārā vadība izmanto tikai vienu atgriezenisko koeficientu  $C$ , kā starpību no noteiktā 20 m/s ātruma un pašreizējā ātruma  $v_n$ .

$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x_n + sv_n \\ v_n + s[-b_0 \text{sign}(v_n) - b_1 v_n - b_2 (v_n)^2 \text{sign}(v_n) - b_3 (v_n)^3 + (-H_0 + H_1 \sin(\omega t_n)) + C(20 - v_n)] \end{bmatrix} \quad (14)$$

Veikts aprēķins un iegūts rezultātu grafiks (skat. Att. 16., 17.).



Attēls 16. Ātrums kā laika funkcija pie noteiktā 20 m/s un pašreizējā ātruma

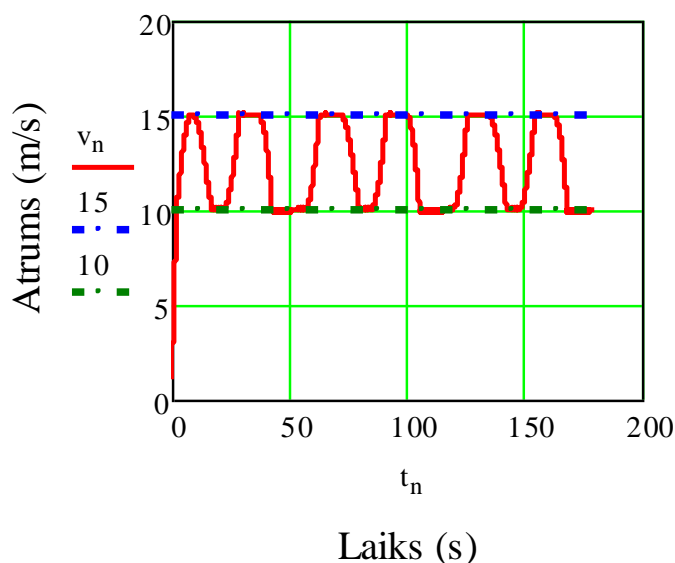


Attēls 17. „Bang-Bang” vadības darbība laika posmā pie noteiktā 20 m/s un pašreizējā ātruma

*Plakanā (Flat) vadība.* Vadība šajā gadījumā ir normēta, lai nebūtu jāraksta konkrētā automobiļa masa u.c. lielumi. Šajā gadījumā modelētā automobiļa kustība ir ar biharmonisku gadījuma amplitūdas ierosmi, vadība ir stabila. Vadība darbojas tikai diapazonā no 10 līdz 15 m/s.

$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} = \left[ \begin{array}{l} v_n + s[-b_0 \text{sign}(v_n) - b_1 v_n - b_2 (v_n)^2 \text{sign}(v_n) - b_3 (v_n)^3 + \\ x_n + s v_n \\ + [H_0(0,5 - 0,5 \text{sign}(10 - v_n))(1) - H_2(0,5 - 0,5 \text{sign}(15 - v_n)) + \\ + H_1(1 + \text{rnd}(10)) \left( \sin(\omega t_n) + 2 \sin\left(2\omega t_n + \frac{\pi}{2}\right) \right)] + 0 \end{array} \right] \quad (15)$$

Veikts aprēķins un iegūts rezultātu grafiks (skat. Att. 18.).



Attēls 18. Ātrums kā laika funkcija intervālā 10 – 15 m/s

Izstrādāto modeļu analīze liecina, ka "sprādziena - sprādziena" („Bang – Bang”) vadība dod labus rezultātus ārpus stacionāras kustības kontroles, jo kontrolieri un pievadi var strādāt slēdža režīmā ar ļoti augstām frekvencēm.

Iegūtos rezultātus, var pielietot arī citu vadāmu objektu kustības sintēzē, piemēram, niršanas ierīcēs, robotikā, zemūdens robotos u.c.

**Septītā nodaļa** – apskatīts augsti efektīvas metodikas pielietojums (Janushevskis u.c. (2010); Янушевский у.с. (2011)) automobiļu kontroles mērinstrumentu paneļa (KMP) korpusa elementu formas optimizācijai, kuram jānodrošina tādas prasības – kā stiprība, nepārsniedzot pieļaujamo spriegumu līmeni, stingums, atbilstoši svāra un precizitātes raksturojumi, kā arī jābūt ar minimālu ietekmi uz apkārtējo vidi. Izstrādāts KMP trīsdimensiju modelis, kurš ir uzskatāmi parādīts Att. 19., aprēķināti statistiskie un dinamiskie raksturlielumi, kā arī tā ietekme uz apkārtējo vidi kā summārais enerģijas patēriņš, oglekļa dioksīda un skābju izmeši atmosfērā, eutrofikācija. Izmantojot dažādus rādītāju kritērijus, ir iespējams iegūt attiecīgos optimālos risinājumus KMP korpusa formām.



Attēls 19. Uzņēmuma Merpro kontroles mērinstrumenta paneļa (KMP) dizains, kas projektēts AMO PLANT un 3D ģeometriskais modelis

Tā kā visa objekta modelis ir pietiekoši sarežģīts un aprēķini darbietilpīgi, tad pie optimizācijas konstrukciju modeļu vietā tiek izmantoti to metamodeļi, kuru izveidošanai pielieto eksperimenta plānošanas metodi (Auzins un Janushevskis (2007)). Metamodeļu pielietošana ļauj veikt objekta daudzkritēriālo optimizāciju ar stohastisko globālās meklēšanas procedūru (Janushevskis uc. (2004)).

Problēma tiek formulēta sekojoši:

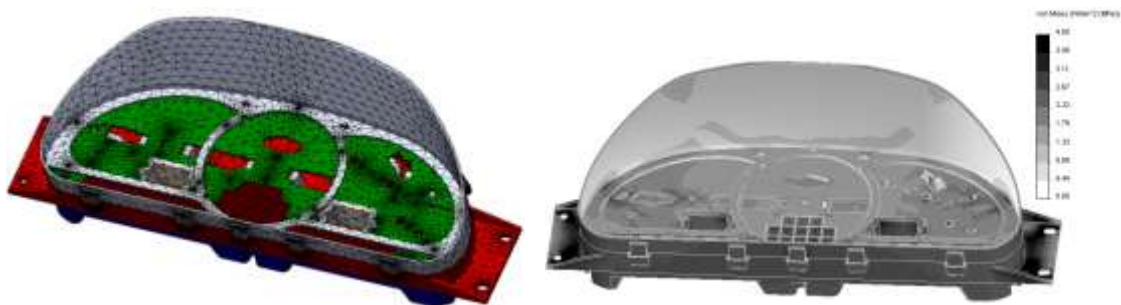
$$\min_x F(x) = [F_1(x), F_2(x), \dots, F_k(x)]^T \quad (16)$$

ja  $g_j(x) \leq 0, j=1, 2, \dots, m$ , un  $h_l(x) = 0, l=1, 2, \dots, e$ ;

kur:  $k$  – kvalitātes rādītāju  $F_i$  skaits,  $m$  – ierobežojumu nevienādību veidā skaits,  $e$  – ierobežojumu vienādību veidā skaits,  $x \in E$  –  $n$  optimizācijas parametru vektors.

KMP konstrukcijas tiek pārbaudītas uz speciāliem vibro stendiem, pakļaujot dažādām dinamiskām slodzēm. Piemēram, KMP vibronoturību pārbauda frekvenču diapazonā no 10 līdz 250 Hz. KMP arī pārbauda uz vibro triecienu noturību pie paātrinājuma līmeņa  $a = 10g$ .

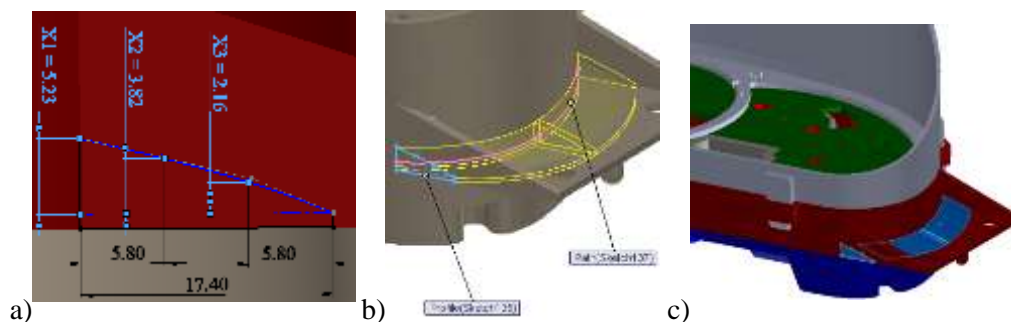
Ar programmu SolidWorks (SW) ir izveidots 3D KMP aprēķinu modelis, kas parādīts Att. 20, un veikti stiprības aprēķini. Tas sastāv no 18 komponentēm: 6 deformējamiem ķermeņiem un 12 standarta komplektējošām daļām, kas tiek traktētas kā cieti ķermeņi ar zināmām inerciālajām īpašībām.



Attēls 20. GEM diskretizācija 3D modelim un Mizesa spriegumu sadalījums sākuma konstrukcijā

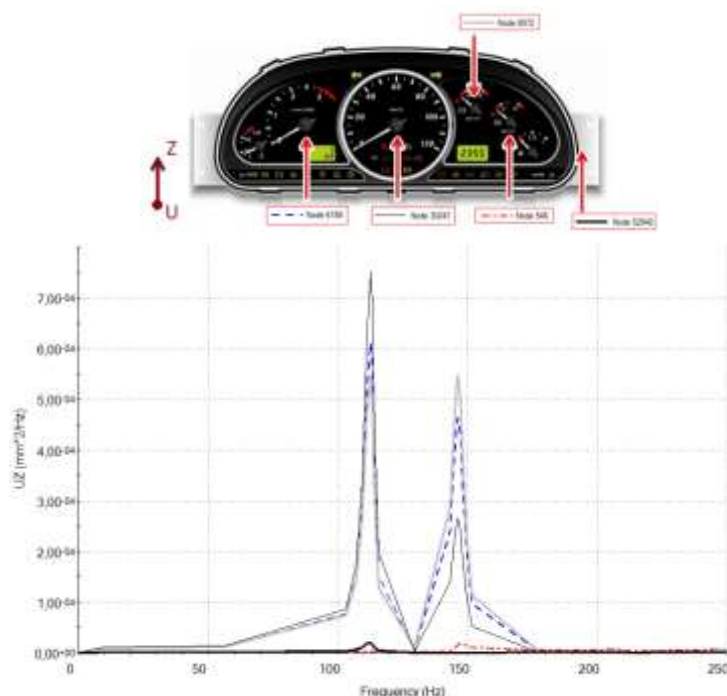
Atbilstoši metodikai kronšteina šķērsriezuma forma tiek uzdota ar B splaina trijiem mezglu punktiem, kas uzskatāmi ir parādīts Att. 21. Par optimizācijas parametriem kalpo atbalsta punktu koordinātes, kas tiek variētas

sekojošos diapazonos:  $3 \leq X1 \leq 6$ ;  $2 \leq X2 \leq 5$ ;  $0 \leq X3 \leq 3$ . Telpiskā kronšteina forma tiek veidota izmantojot līklīnijas trajektoriju, kura ir redzama Att. 21. b). Analogiska forma tiek veidota arī otrajam simetriski izvietotajam kronšteinam. Maksimālo ekvivalento spriegumu minimizācijas rezultātā pie kopējā materiāla apjoma ierobežojuma ( $v < 665200mm^3$ ) kontrolmērinstrumentu panelim ir iegūta kronšteina forma, kas parādīta Att. 21. c).



Attēls 21. Kronšteina formas uzdošana: a) šķērsriezuma forma; b) 3D formas iegūšana, izmantojot līklīnijas trajektoriju; c) iegūtā kronšteina forma

Optimālie risinājumi, kas iegūti ar metamodeļu izmantošanu, tiek pārbaudīti uz pilniem GEM modeļiem, kā pie determinētām tā arī gadījuma ierosmēm. Att. 22. ir parādītas vertikālo pārvietojumu spektrālā blīvuma funkcijas raksturīgajos KMP punktos, ko rada gadījuma ierosmes, kas pieliktas KMP korpusa stiprināšanas vietās pie transportlīdzekļa korpusa.



Attēls 22. Vertikālo pārvietojumu spektrālie blīvumi KMP raksturpunktos

Sadarbībā ar SIA „Merpro” tika veikta arī kontroles mērinstrumentu paneļa (KMP) dizaina izstrāde, tika izveidoti daži vizuāli paraugi (skat. Att. 23.), izmantojot SW Photoview360 programmatūru.



Attēls 23. Sadarbībā ar SIA „Merpro” izstrādātais KMP

## SECINĀJUMI

1. Promocijas darbā veikta vispusīga literatūras analīze par Pareto novērtējumu un izplūdušo „Fuzzy” elementu metodes pielietojumu inženierzinātnēs un vadības teorijā.
2. Tika veikta vairāku argumentu kritērija optimizācijas metodes izstrāde veselas gammas dažādu automobiļu marku novērtēšanā.
3. Tika pielietota Pareto optimizācijas metode divu parametru kompromisa apgabala izstrādei.
4. Pirmo reizi Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnieku aprindās realizēts Fuzzy elementu pielietojums objekta (automobiļa) kustības vadības metodes izstrādāšanā.
5. Izstrādāta pilnīgi jauna metodika objekta (automobiļa kontroles mērinstrumentu paneļa) formas atrašanai ar parametrisko optimizācijas metodi, kuras teorija uzsākta izstrādāt RTU MMDZPL (Mašīnu un mehānismu dinamikas problēmu ZP laboratorijā).
6. Lietotas mūsdienīgas analīzes un datu apstrādes metodes:
  - a. pie parametru optimizācijas pielietota mazāko kvadrātu metode, lineārā un nelineārā metode, kā arī izplūdušo (Fuzzy) elementu metode;
  - b. parametru normēšana;
  - c. adaptīvās elektromehāniskas vadības sistēmas sintēze, izmantojot MathCAD programmatūru;
  - d. metamodeļu pielietošana, kuru izveidošanai izmantotas eksperimentu plānošanas un analīzes metodes;
  - e. ietekme uz apkārtējo vidi kā summārais enerģijas patēriņš, oglekļa dioksīda un skābju izmeši atmosfērā, eitrofikācija izmantojot SolidWorks programmatūru.

## PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

1. Geriņa-Ancāne A. Preču dizaina novērtēšanas metodiku analīze // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 29. sēj. (2008), 89.-94. lpp.
2. Geriņa-Ancāne A. Lēmumu pieņemšanas iespējas dizaina procesos // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 31. sēj. (2009), 79.-83. lpp.
3. Šulcs A., Geriņa-Ancāne A. Pareto novērtējums skaitliskā sistēmā // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 33. sēj. (2010), 66.-69. lpp.
4. Geriņa-Ancāne A. Possibilities for Optimal Assessment of Engineering Design // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. Вып.41.: Донецкий Национальный Технический университет, ISSN 2073-3216, 2011. - 3.-9. lpp.
5. Januševskis A., Meļņikovs A., Auziņš J., Geriņa-Ancāne A., Klimass H. Simulation of Behavior of Vehicle Gage Panel // 10th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Proceedings. Vol.10, ISSN 1691-3043 Latvia, Jelgava, 26.-27. May, 2011. - pp 162-167.
6. Vība J., Geriņa-Ancāne A., Kuļikovskis G., Fiorini P., Poriņa L. Analysis of Transport Speed Control Based on Fuzzy Logics Elements // 10th International Scientific Conference Engineering for Rural Development: Proceedings. Vol.10, ISSN 1691-3043, Latvia, Jelgava, 26.-27. May, 2011. - pp 470-475.
7. Januševskis A., Meļņikovs A., Auziņš J., Boiko A., Geriņa-Ancāne A. Designing of Automotive Vehicle Gage Panel // AMST'11 Advanced Manufacturing Systems and Technology: 9th International Conference on Advanced Manufacturing Systems and Technology Proceedings, ISBN – 978-953-6326-64-8, Horvātija, Mali Lošinj, 16.-17. jūnijs, 2011. - 507.-518. lpp.
8. Januševskis A., Auziņš J., Meļņikovs A., Geriņa-Ancāne A., Vība J. Multiobjective Optimization of Automotive Vehicle Gage Panel // Vibration Problems (ICOVP 2011): The 10th International Conference, ISBN 978-80-7372-759-8, Czech Republic, Prague, 5.-8. September, 2011. - pp 180-185.
9. Januševskis A., Meļņikovs A., Geriņa-Ancāne A. Проектирование корпуса автомобильного приборного щитка // Труды VI международной научно-технической конференции "Современные проблемы машиностроения", Кривия, Томск, 28.сентября-2. октябрь, 2011. - 316.-323. lpp.
10. Januševskis A., Januševskis J., Meļņikovs A., Geriņa-Ancāne A. Plānsienu konstrukciju formas optimizācijas metodika // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 34. sēj. (2011), 1.-5. lpp.
11. Geriņa-Ancāne A., Priedītis R., Kuļikovskis G., Vība J., Tipāns I. Use of Fuzzy Control Elements in Robot System Synthesis // 11th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, ISSN 1691-5976, Latvia, Jelgava, 24.-25. May, 2012. - pp 438-442.
12. Januševskis A., Meļņikovs A., Geriņa-Ancāne A., Januševskis J. Dynamic Analysis of Automotive Gage Panel // 15th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM15): Abstracts, Portugāle, Porto, 22.jūlijs-27. jūlijs, 2012. - 13.pp.

Zinātniskā monogrāfija

1. Januševskis A., Auziņš J., Meļņikovs A., Geriņa-Ancāne A. Shape Optimization of Mechanical Components of Measurement Systems. Advanced Topics in Measurements, Edited by Md. Zahurul Haq, Croatia: InTech 2012. – pp 243-262. (Chapter 12. in Advanced Topics in Measurements – 400 p. ISBN 978-953-51-0128-4)

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- Auzins, J. and Janushevskis, A. (2007). Design of Experiments and Analysis. Riga: RTU, 255 p.
- Belmane, I. (2004). publikācija „Eko-dizaina situācijas analīze Latvijā” [http://www.videsvt.lv/files/Eco-design%20in%20the%20Baltics\\_dec1412lv.pdf](http://www.videsvt.lv/files/Eco-design%20in%20the%20Baltics_dec1412lv.pdf) –
- Borja de Mozota, B. (2003). Design Management. Using design to build brand value and corporate innovation, Alworth Press, New York, 289 p.
- Dieter, G. E. and Schmidt L. C. (2009). Engineering Design, McGRAV – HILL Fourth Edition, International Edition, 827 p.
- Janushevskis, A., Akintiev. T., Auzins. J. and Boyko. A. (2004) A comparative analysis of global search procedures. In: Proc. Estonia Acad. Sci. Eng., Vol.10, No.4, p. 235 – 250.
- Janushevskis, A., Melnikovs, A. and Boyko, A. (2010). Shape Optimization of Mounting Disk of Railway Vehicle Measurement System. Vibromechanika. Journal of Vibroengineering. ISSN 1392-8716. Volume 12, Issue 4, December 2010. p. 436 – 443.
- Kung, H. T., Luccio, F. and Preparata, F. P. (1975). On finding the maxima of a set of vectors. *Journal of the ACM* **22** (4), 469-476 p.
- Mollerup Designlab A/S. (2004). Design for Latvia, Final report, 160 p.
- Parke, G., Ryan, S. and Jarek, G. (2006). Algorithms and Analyses for Maximal Vector Computation. VLDB Journal **16**, 5-28 p.
- Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. (2008). Product Design and Development, McGRAV – HILL Fourth Edition, International Edition, 368 p.
- Viba, J. and Lavendelis, E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. - 5th International DAAAM Conference "Industrial Engineering - Innovation as Competitive Edge for SME", 20 - 22th April 2006, Tallinn, Estonia, 95 – 98 p.
- Ward, A. C., Liker, J. K., Sobek, D. K. and Cristiano, J. J. (1994). Set - based concurrent engineering and Toyota. In Design Theory and Methodology - DTM `94, - volume DE68, ASME, 79-90 p.
- Zakrzhevsky, M. (2008). New Concepts of Nonlinear Dynamics: Complete Bifurcation Groups, Protuberances, Unstable Periodic Infinitiums and Rare Attractors // Journal of Vibroengineering. - Vol.10, Iss.4. pp. 421-441.
- Zimmermann, H.-J. (1999). Practical Applications of Fuzzy Technologies, The Handbooks of Fuzzy Sets Series, Kluwer Academic Publishers, Boston, 667 p.
- A. В. Янушевскис, А. Г. Мельников, И. Д. Кактабулис (2011). Методика оптимизации формы элементов механических систем. Известия Томского политехнического университета, ISSN 1684-8519. – Т. 319. – № 2. Математика и механика. Физика, стр. 21-25.

П. Б. Слиде, В. О. Эглайс (1997). О постановке многокритериальных задач оптимизации // Вопросы динамики и прочности Вып.34.: Нелинейные задачи механики сплошных сред и колебательных систем. „Зинатне”. Рига. стр.. 6 – 21