

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 darbs

Zinātniskie vadītāji

Dr. sc. ing., profesors

A.JANUŠEVSKIS

Dr. habil. sc. ing., profesors

J.VĪBA

Rīga 2012

Rīgas Tehniskā universitāte
Transporta un mašīnzinību fakultāte
Mehānikas institūts



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

Gerīņa-Ancāne, A.

Pareto principa pielietojums inženiertehnisko izstrādājumu konstrukciju un dizaina novērtēšanā. Promocijas darbs. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2012. – 118 lpp.

Application of Pareto Principle in Engineering Product Design and Design Assessment. Doctoral thesis. Riga: Riga Technical University, 2012. – 118 pp.

© Gerina-Ancane, A., 2012

ANOTĀCIJA

Promocijas darbs „Pareto principa pielietojums inženiertehnisko izstrādājumu konstrukciju un dizaina novērtēšanā” veltīts inovatīvai objekta metodikas izstrādei, lai atvieglotu jaunu inovatīvu inženiertehnisko izstrādājumu radīšanas procesu un to dizaina novērtēšanu. Tā nolūkam tiek pilnveidotas matemātiskās objektu analīzes, optimizācijas un sintēzes metodikas, modernizējot tās ar Pareto un Fuzzy vadības elementiem.

Pirmajā nodaļā ir veikts literatūras apskats par dizaina lomu inženiertehniskajos risinājumos. Noskaidrota dizaina nozīmība Latvijas uzņēmumos, kā arī noskaidroti šķēršļi jaunu produktu izstrādei Latvijā. Ir apskatīts objekta dizaina projektēšanas pozitīvs piemērs.

Otrajā nodaļā ir parādīts, ka izstrādājot jaunus produktus, jāņem vērā ne tikai produkta inovativitāte, patērētāju vēlmes, bet arī ražotāja tehnoloģiskās iespējas. Iegūtie literatūras apskata materiāli parāda, ka pasaulē ir izstrādāts milzums daudz metodoloģiju, pēc kurām vadīties, dizaina objekta novērtēšanā.

Trešajā nodaļā ir komentēti un apspriesti: izplūdušās projektēšanas metodika, tās algoritmi, lēmumu pieņemšanas teorija un aspekti, reālu objektu analīzes un sintēzes uzdevumi ar faktoru analīzi.

Ceturtajā nodaļā 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.

Piektajā nodaļā izmantojot PC Crash automobiļu datubāzi, izstrādāta metodika automobiļu ekspertīzes veikšanai no pircēja viedokļa. Pielietota matemātiska novērtēšana (ranžēšana), lietojot normēšanu.

Sestajā nodaļā izmantojot izplūdušos (Fuzzy) vadības elementus, ir izstrādāta jauna metodika, ko var izmantot dažādu veidu transporta sistēmu vadības sintēzei reālās ceļu situācijās.

Septītajā nodaļā ir izstrādāta jauna metodika objektu formas optimizācijai, pielietojot diskrētus formas parametrus. Iegūti pirmie rezultāti transportlīdzekļu KMP (kontroles mērinstrumentu paneļa) modelēšanā un komponentu formas optimizācijā. Piedāvāti daži KMP dizaina risinājumi.

Izdarīti secinājumi par izstrādāto metožu augstu efektivitāti.

ANNOTATION

Promotion thesis “Application of Pareto Principle in Engineering Product Design and Design Assessment” is dedicated to the development of an innovative object method in order to facilitate the creation process of new innovative engineering products and the evaluation of their design. For this purpose mathematical object analyses, optimisation and synthesis methods are improved, complementing them with Pareto and Fuzzy Management elements.

In Chapter One a survey of literature regarding the role of design in engineering solutions is carried out. The significance of design in Latvian enterprises, as well as obstacles for the development of new products in Latvia are ascertained. A positive example of object designing is considered.

Chapter Two shows that in developing new products not only the innovative nature of products, but also technological possibilities of manufacturers should be taken into account. The materials obtained from the survey of literature show that very many methodologies have been developed in the world, which may be used as guidance in evaluating a design object.

The following is commented upon and discussed in Chapter Three: fuzzy design method, its algorithms, decision-making theory and aspects, tasks of real object analysis and synthesis including factor analysis.

In Chapter Four methodology for the evaluation of commercial transport automobiles is developed on the basis of statistical data base, which does not necessitate expert mistakes in determining prices. It is shown that Fuzzy curves coincide well with the conditions of Pareto boundary.

In Chapter Five methodology for the performance of an expert-examination of automobiles from the point of view of buyer, using data base of PC Crash automobiles, is developed. Mathematical evaluation (ranking), using rating, is applied.

In Chapter Six a new methodology is developed, using Fuzzy Management elements, which may be used for synthesis of management of different transport system types in actual road situations.

In Chapter Seven a new method for optimization of object form is developed, applying discrete parameters of form. First results in automotive vehicle gage panel (GP) modelling and optimization of the component form are obtained. Different solutions for the design of dashboard are offered.

Conclusions regarding high efficiency of the developed methods are drawn.

PATEICĪBAS

Es vēlētos pateikties cilvēkiem, kas man ir palīdzējuši un atbalstījuši mani visā studiju laikā un īpaši promocijas darba izstrādes posmā.

Vispirms vēlos pateikties promocijas darba vadītājiem, *Dr. sc. ing.*, prof. Aleksandram Januševskim par dotajiem padomiem, ieteikumiem un rekomendācijām un nesavtīgo atbalstu promocijas darba iestrādē, kā arī *Dr. habil. sc. ing.*, prof. Jānim Vībam par spožajām idejām izstrādājot promocijas darba praktisko daļu. Par ticību, ka viss ir paveicams.

Ļoti lielu paldies vēlos pateikt savam vīram Arnim Ancānam un meitai Paulai, par sapratni, pacietību un atņemto laiku viņiem promocijas darba izstrādes periodā. Bet vislielākais paldies ir jāpasaka manam dēlam Elanam, kurš vēl atrodies puncī neprotestēja pret pavadītajām garajām stundām pie datora.

Īpašu pateicību izsaku arī savam tēvam *Dr. sc. ing. prof.* Ērikam Geriņam un mātei Lilijai par sniegto atbalstu šo gadu laikā.

SATURS

ATTĒLU SARAKSTS	8
TABULU SARAKSTS	11
IEVADS	12
1. DIZAINA VĒSTURE UN LITERATŪRAS APSKATS PAR DIZAINA LOMU PROJEKTĒŠANAS IESTĀDĒS UN RAŽOŠANAS UZŅĒMUMOS	14
1.1 Dizaina vēsture	14
1.2 Dizaina nozīmīgums	16
1.3 Dizaina loma ražošanas uzņēmumos	17
1.4 Objekta dizaina projektēšanas pozitīvs piemērs	19
1.5 Šķēršļi jaunu produktu izstrādei Latvijā	22
1.6 Nodaļas secinājumi	22
2. LITERATŪRAS APSKATS PAR PARETO NOVĒRTĒJUMU	24
2.2 Pareto efektivitāte un robeža	24
2.2.1 Pareto robeža	26
2.2.2 Nepieciešamie un pietiekamie nosacījumi	27
2.2.3 Efektivitāte un pārsvars	28
2.2.4 Kompromisa risinājums.....	29
2.3 Problēmu risināšana.....	30
2.4 Nodaļas secinājumi.....	33
3. LITERATŪRAS APSKATS PAR IZPLŪDUŠO (FUZZY) ELEMENTU METODES PIELIETOJUMU INŽENIERZINĀTNĒS UN VADĪBAS TEORIJĀ	34
3.1 Neprecizitātes (nenoteiktības) metode.....	34
3.1.1 Ievads.....	34
3.1.2 Pārskats par neprecizitātes metodi.....	35
3.1.3 Pamatjēdzienu definīcijas	36
3.1.4 Agregācija (apkopošana)	37
3.1.5 Neprecizitāte.....	39
3.1.6 Aprēķinu veikšana, algoritmi	41
3.2 Izplūdušās projektēšanas metode	43
3.2.1 Jomas zināšanu bāze.....	44
3.2.2 Prasību modelis	47
3.2.3 Izplūdušās projektēšanas algoritms	51
3.2.4 Evolūcijas stratēģiju un izplūdušās DLP pielietošana izplūdušajā projektēšanā	59
3.3 Lēmumu pieņemšanas teorija	60

3.3.1 Lēmumu pieņemšanas uzvedības aspekti	60
3.3.2 Lēmumu pieņemšanas teorijas izstrāde	63
3.3.3 Lēmumu metodes izvēloties attiecīgo koncepciju.....	64
3.3.4 Analīze un sintēze.....	65
3.3.5 Faktoru analīze	66
3.4 Nodaļas secinājumi.....	68
4. DIVU PARAMETRU KRITĒRIJA UZDEVUMA OPTIMIZĀCIJAS PARETO METODIKA VIEGLO AUTOMOBILU VĒRTĪBAS IZPĒTĒ (CENA UN KALPOŠANAS LAIKS)	70
4.1 Ievads.....	70
4.2 Aprēķins izmantojot mazāko kvadrātu metodi	71
4.3 Aprēķins izmantojot lineāro metodi	75
4.4 Aprēķins izmantojot nelineāro metodi	77
4.5 Nodaļas secinājumi.....	80
5. KOMERCIĀLĀ TRANSPORTA VAIRĀKU TEHNISKO PARAMETRU NOVĒRTĒŠANAS METODE	81
5.1 Nodaļas secinājumi.....	93
6. IZPLŪDUŠĀS (FUZZY) METODES IZSTRĀDE DINAMISKU SISTĒMU VADĪBAS ADAPTĪVAI SINTĒZEI.....	94
6.1 Ievads.....	94
6.2 Aprēķins izmantojot optimālo vadību	98
6.3 Aprēķins izmantojot lineāro vadību	100
6.4 Aprēķins izmantojot plakano (Flat) vadību	102
6.5 Nodaļas secinājumi.....	105
7. AUTOMOBILU KONTROLES MĒRINSTRUMENTU PANEĻA PARAMETRISKĀ OPTIMIZĀCIJA	106
7.1 Ievads.....	106
7.2 Kontroles mērinstrumentu paneļa (KMP) optimizācijas uzdevuma formulējums	106
7.3 KMP stiprības aprēķins	107
7.4 KMP frekvenču analīze	108
7.5 KMP konstrukcijas ietekme uz apkārtējo vidi.....	108
7.6 KMP korpusa kronšteina formas optimizācija	109
7.7 Nodaļas secinājumi.....	112
SECINĀJUMI.....	113
LITERATŪRA	114
APZĪMĒJUMI UN SAĪSINĀJUMI.....	118

ATTĒLU SARAKSTS

Attēls 1.1 Nacionālā dizaina politikas mērķi.....	14
Attēls 1.2 Uzņēmējdarbības funkcijas	15
Attēls 1.3 Investīciju atmaksāšanās produktu izstrādes un ražošanas procesu posmos	18
Attēls 1.4 KMP uzbūve	20
Attēls 1.5 „Mazda” KODO.....	21
Attēls 1.6 „Mazda” KODO KMP	21
Attēls 1.7 „Mazda” KODO automobiļa salons.....	22
Attēls 2.1 Pareto robeža.....	26
Attēls 2.2 Pareto diagramma	31
Attēls 2.3 Ierīce plastmasas pudeļu utilizācijai	31
Attēls 2.4 Izstrādājuma variantu izvēles shēma.....	31
Attēls 2.5 Izstrādājumu novērtēšanas kritēriju Pareto diagramma	32
Attēls 3.1 Katras konstrukcijas secīga izvērtēšana	35
Attēls 3.2 Konstrukciju izvērtēšanas kopas	35
Attēls 3.3 Neprecīzas funkcionālās prasības piemērs.....	37
Attēls 3.4 Zadē paplašināšanas princips (Zadeh (1965)).....	40
Attēls 3.5 Izplūdušās projektēšanas metode (Zimmermann (1999)).....	43
Attēls 3.6 Izplūdušās preferences mainīgajam x_i	46
Attēls 3.7 Divdimensiju piederības funkcija (Zimmermann (1997)).....	47
Attēls 3.8 Agregācijas (apkopošanas) koka piemērs	49
Attēls 3.9 α griezumi trīs optimizācijas parametru gadījumā.....	52
Attēls 3.10 Divpunktu interpolācija.....	55
Attēls 3.11 LIA algoritms 1	56
Attēls 3.12 LIA ⁻¹ algoritms.....	58
Attēls 3.13 Evolūcijas algoritms ar izplūdušu pielāgošanas (fitness) novērtējumu (Zimmermann (1999))	59
Attēls 3.14 Pamata sastāvdaļas un to aizvietotāji	61
Attēls 3.15 Zaudējumu tabula attiecībā uz lēmumiem par materiālu izvēli	64
Attēls 3.16 Idealizēta melnā kaste ar d ieejām uz vienu no izeju.....	67
Attēls 4.1 Pareto efektivitāte	70
Attēls 4.2 Lietotu komerciālo transportlīdzekļu Renault Kangoo gadu un cenu salīdzinājums	72
Attēls 4.3 Viena kompromisa līkne ar mazāko kvadrātu metodi	74
Attēls 4.4 Viena kompromisa līkne ar mazāko kvadrātu metodi un Fuzzy vadības kontroli...	75
Attēls 4.5 Viena kompromisa līkne ar lineāro metodi.....	76

Attēls 4.6 Viena kompromisa līkne ar lineāro metodi un Fuzzy vadības kontroli (Fuzzy Pareto robežas grafiks).....	77
Attēls 4.7 Viena kompromisa līkne ar eksponenta funkciju.....	79
Attēls 4.8 Viena kompromisa līkne ar eksponenta funkciju un Fuzzy vadības kontroli.....	80
Attēls 5.1 Punkta noteikšana ar trijām koordinātēm (x, y, z) 3D Eiklīda telpā.....	81
Attēls 5.2 Pareto robeža.....	81
Attēls 5.3 Komerctransporta automobiļu normēšanas grafiks 3D Eiklīda telpā.....	93
Attēls 6.1 Automobiļa kustība pa noteiktu trajektoriju.....	94
Attēls 6.2 Automobiļa kustības grafiks.....	95
Attēls 6.3 PID kontroliera blokshēma.....	96
Attēls 6.4 Procesa mainīgā (PV) diagramma no laika ar trijām K_p vērtībām, kur K_i un K_d ir konstanti.....	97
Attēls 6.5 Ātrums kā laika funkcija intervālā 20 – 30 m/s.....	98
Attēls 6.6 Pretestības spēks kā laika funkcija.....	99
Attēls 6.7 Dzinēja spēks kā laika funkcija.....	99
Attēls 6.8 Harmonisks spēks kā laika funkcija.....	100
Attēls 6.9 Biharmoniska smaguma komponente.....	100
Attēls 6.10 Ātrums kā laika funkcija pie limitētā ātruma 20m/s.....	101
Attēls 6.11 Pretestības spēks kā laika funkcija.....	101
Attēls 6.12 Biharmoniska smaguma komponente.....	102
Attēls 6.13 Lineārās vadības komponente.....	102
Attēls 6.14 „Bang-Bang” vadības darbība laika posmā.....	102
Attēls 6.15 Ātrums kā laika funkcija intervālā no 10 – 15 m/s.....	103
Attēls 6.16 Vienotā plakanā (Flat) vadība no laika.....	104
Attēls 6.17 Pretestības spēks kā laika funkcija.....	104
Attēls 6.18 Biharmoniska smaguma komponente.....	105
Attēls 6.19 Gadījuma (Random) vadības darbība laika posmā.....	105
Attēls 7.1 Uzņēmuma Merpro kontroles mērinstrumenta paneļa (KMP) dizains, kas projektēts AMO PLANT un 3D ģeometriskais modelis.....	106
Attēls 7.2 GEM diskretizācija 3D modelim un Mizesa spriegumu sadalījums sākuma konstrukcijā.....	107
Attēls 7.3 KMP svārstību formas četrām zemākajām pašfrekvencēm.....	108
Attēls 7.4 Izmešu daudzums apkārtējā vidē no KMP korpusa, tā visas dzīves cikla laikā....	109
Attēls 7.5 Kronšteina formas uzdošana: a) šķērsriezuma forma; b) 3D formas iegūšana, izmantojot līklīnijas trajektoriju; c) iegūtā kronšteina forma.....	109
Attēls 7.6 Mizesa spriegumu sadalījums kronšteina šķērsgriezumā: a) sākuma konstrukcijai un b) optimizētajai KMP konstrukcijai.....	110
Attēls 7.7 Mizesa spriegumi kronšteina kontrolpunktos.....	110

Attēls 7.8 Vertikālo pārvietojumu spektrālie blīvumi KMP raksturpunktos.....	111
Attēls 7.9 Sadarbībā ar SIA „Merpro” izstrādātais KMP	112

TABULU SARAKSTS

Tabula 1.1 Dizaina novērtēšanas parametri (Ulrich un Eppinger (2008))	18
Tabula 4.1 Lietotu komerciālo transportu Renault Kangoo galvenie parametri pie automobiļu tirdzniecības.....	71
Tabula 4.2 Komerciālā transportlīdzekļa Renault Kangoo sākuma parametri.....	78
Tabula 5.1 Izvēlēto tehnisko parametru pamatojums.....	82
Tabula 5.2 Izvēlēto tehnisko parametru normēšanas princips sekojošiem parametriem: a) izcelsmes valsts; b) būvēts no līdz; c) tonnāža; d) jauda; e) dzinēja tips; f) svars; g) tilpums; h) maksimālais ātrums; i) apg.min. pie max. jaudas; j) max. motora griezes moments; k) apgr. min pie max. griezes momenta; l) paātrinājums.....	84
Tabula 5.3 Izvēlēta tehniskā parametra - krāsa normēšanas princips.....	87
Tabula 5.4 Komerciālā transporta tehniskie parametri pēc normēšanas	88
Tabula 5.4 a) Komerciālā transporta tehniskie parametri pēc normēšanas	89
Tabula 5.4 b) Komerciālā transporta tehniskie parametri pēc normēšanas.....	91
Tabula 5.5 Komerctransporta automobiļu rezultāti pēc normēšanas	92

IEVADS

Vairums mūsu valsts ražotāju diemžēl neapzinās rūpnieciskā dizaina nozīmi un to pievienoto vērtību, ko produktam var dot dizainera darba piesaiste. Kopš padomju iekārtas sabrukuma šai jomai arī netika pievērsta pietiekama uzmanība. Jāteic, ka padomju rūpniecības recesija arī iznīcināja daudzas nozares, kurās veiksmīgi tika izmantoti šo mākslinieku pakalpojumi.

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. Jo produkts ir pievilcīgāks, jo tas iekaro lielāku tirgu.

Rūpnieciskā dizaina darbību varam redzēt visos tirgus produktos, kā, piemēram, kaut vai parastajā skrūvgriezī, zāgī, dakšiņā, vēstuļpapīrā, ūdens krāna uzmavā un tā joprojām. 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)).

Promocijas darba pētījumu aktualitāte un nozīmība

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

Promocijas darba galvenais mērķis

Darba galvenais mērķis ir Pareto 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 metodikas, modernizējot tās ar Pareto un Fuzzy vadības elementiem.

Tā nolūkam tiek atrisināti šādi uzdevumi:

1. Izpēta dizaina vēsture un veikts literatūras apskats par dizaina lomu projektēšanas iestādēs un ražošanas uzņēmumos.
2. Veikts literatūras apskats par Pareto novērtējumu
3. Veikts literatūras apskats par Izplūdušo (Fuzzy) elementu metodikas pielietojumu inženierzinātnēs un procesu vadības teorijā.
4. Pilnveidota Pareto metodika divu parametru kritērija uzdevuma optimizācijai vieglo automobiļu vērtības izpētē (cena un kalpošanas laiks).
5. Izstrādāta metodika komerciālā transporta vairāku tehnisko parametru novērtēšanas kritērijam.
6. Izstrādāta izplūdušā (Fuzzy) metodika dinamisku sistēmu vadības adaptīvai sintēzei.
7. Pilnveidota objekta formas parametriskās optimizācijas metodika uz automobiļa kontroles mērinstrumentu paneļa bāzes.

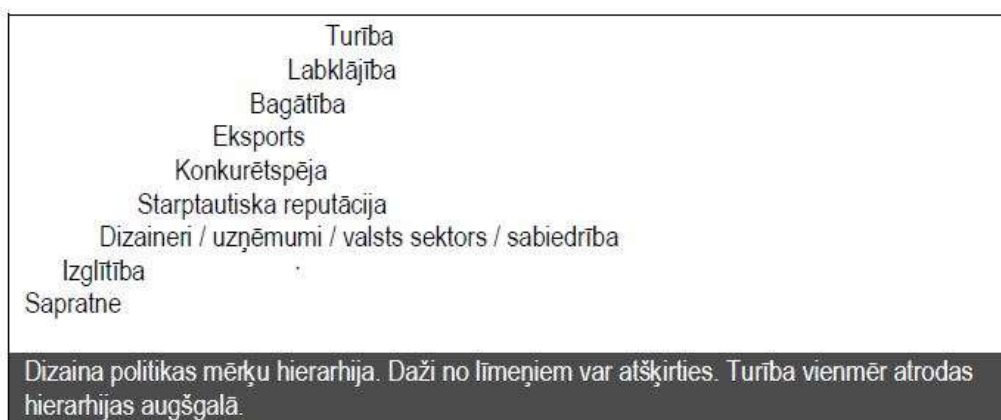
1. DIZAINA VĒSTURE UN LITERATŪRAS APSKATS PAR DIZAINA LOMU PROJEKTĒŠANAS IESTĀDĒS UN RAŽOŠANAS UZŅĒMUMOS

1.1 Dizaina vēsture

Vārds dizains ir cēlies no Latīņu vārda *designare*, kurš tulkojumā nozīmē *norādīt* vai *izcelt*. Skaidrojošās vārdnīcās var atrast dažādus skaidrojumus vārdam dizains. Pats piemērotākais apzīmējums ir uzskicēt, uzplānot, vai plānot pasākumu vai darbu... iecerēt, izgudrot, izdomāt (Norton (2006)). Dizains sniedz ieguldījumu ekonomiskā attīstībā, uzlabojot uzņēmumu preces un pakalpojumus. Efektīva dizaina izmantošana attiecas gan uz rezultātu, gan uz procesu. Tas ir svarīgs process, kas ved pie noteikta rezultāta (LIAA (2008)).

Galvenais dizaina uzdevums ir darīt lietas labāk, uzlabot situāciju, veikt pozitīvas izmaiņas. Dizaina loma uzņēmumā ir radīt vērtību. Uzņēmums var izmantot dizaina procesu, lai pievienotu vērtību precēm, pakalpojumiem un pašai organizācijai. Labi projektēts produkts, pakalpojums vai organizācija ir vērtīgāka, nekā prece, pakalpojums vai organizācija, kas nav labi projektēta. 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 (Mollerup Designlab A/S (2004)).

Citas valstis piedāvā citus mērķus, kas ir pakārtoti konkurētspējas un turības sasniegšanai. Labākiem dizaina profesionāļiem būtu jārada augstāka konkurētspēja. Tai savukārt būtu jārada augstāka nodarbinātība, kas radītu lielāku bagātību, labklājību, un – ar laiku – lielāku turību. Mērķi, kas tiek minēti nacionālajās dizaina politikās, ir hierarhiski saistīti savā starpā. Vairumā gadījumu visi mērķi – izņemot „turību” – ir līdzekļi augstāka līmeņa mērķu sasniegšanai, ko var redzēt Att. 1.1 (Mollerup Designlab A/S (2004)).



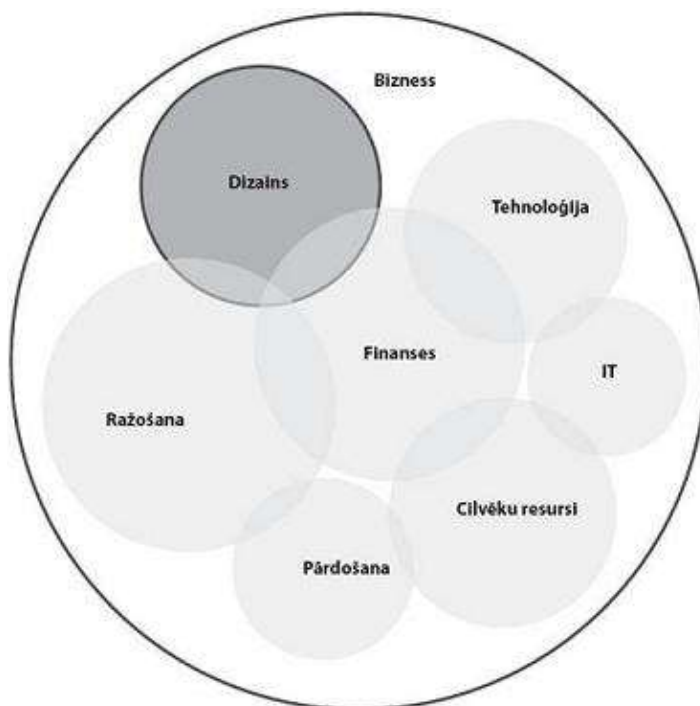
Attēls 1.1 Nacionālā dizaina politikas mērķi

Daudzas preces šodien sasniedz augstu tehniskās kvalitātes līmeni. Augsta tehniskā kvalitāte vairs nav izšķirošais faktors. Tā 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. Citos gadījumos, preču un pakalpojumu tehniskā kvalitāte nav nozīmīgs faktors pircēju lēmumos. Pircēji izraugās preces emocionālu iemeslu dēļ.

Pastāv arī citi skaidrojumi vārdam dizains, kuri vairāk ir vispārināti. Piemēram:

Dizains ir fundamentāla uzņēmējdarbības funkcija, kas saskaņoti saslēdzas ar pārējām uzņēmējdarbības funkcijām, kuras uzskatāmi parādītas Att. 1.2. Dizains ir gan māksla, gan zinātne.



Attēls 1.2 Uzņēmējdarbības funkcijas

Dizains rada produkta intensitāti. Tas ir tas, kāpēc starptautiskam dizainam un produktiem ir seja, kas izceļas. Veiksmīgi sadarbojoties uzņēmējiem un dizaineriem, tiek radīti unikāli produkti, kas apvieno sevī kā funkcionalitāti tā estētikas vērtības.

Ar dizainu saprot produkta radīšanas procesu, kam raksturīgi.

- a) radošums – dizaina uzdevums ir radīt ko tādu, kas nav bijis līdz šim;

- b) komplicētība – dizainam ir jāveic lēmumu pieņemšana starp dažādiem parametriem un mainīgiem lielumiem;
- c) kompromiss – dizainam ir jālīdzsvaro dažreiz pretrunīgas prasības kā izmaksas un realizācija, estētisko un viegli lietojamo aspektu, materiālu un izturības komponenti;
- d) izvēle – dizainam ir jāizdara izvēle starp daudziem iespējamiem problēmas risinājumiem tā visos līmeņos sākot no pamatkonceptijas līdz produkta detaļai, krāsai vai formai (Borja de Mozota (2003)).

1.2 Dizaina nozīmīgums

Septiņpadsmit gadu pēc valstiskās neatkarības atjaunošanas 2007. gadā pirmo reizi valstiskā līmenī ir ne tikai sākts domāt, bet arī reāli darīts, lai atbalstītu rūpnieciskā dizaina attīstību un aicinātu uzņēmējus pievērsties dizaina problēmām un līdz ar to paaugstināt savu konkurētspēju.

Latvijas Investīciju un attīstības aģentūra (LIAA) pēc Ekonomikas ministrijas pasūtījuma 2007. gada nogalē sāka īstenot programmu *Dizaina attīstības atbalsts komersantiem* (Komersanta vēstnesis (KV) (2008)). Projekta galvenais uzdevums bija sekmēt Latvijas mazo un vidējo komersantu konkurentsipēju, veicinot jaunu produktu ar dizaina pievienoto vērtību izstrādi, kā arī motivēt uzņēmējus sadarboties ar dizaineriem, īstenojot arvien jaunas un perspektīvas idejas. Pirmajā posmā 15 dažādu nozaru mazajos un vidējos uzņēmumos (tekstila, kokapstrādes, metālapstrādes, poligrāfijas, pārtikas un biotehnoloģijas ražotnēs) šīs jomas profesionāļi, kuri apvienojušies dizaina laboratorijā H2E, veica dizaina auditu un konsultācijas. Audits tika veikts, lai noskaidrotu dizaina pakalpojumu aktualitāti ražošanas sektorā un ražotāju un dizaineru sadarbības iespējas. Šis bija problēmu identifikācijas, nevis to novēršanas pasākums, ko apmaksāja valsts.

Auditori 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.

Kopš 2007.gada. 6. jūnija mūsu valstī ir vēl viens instruments, kas stiprinās saikni starp ražotājiem un dizaineriem, - Latvijas industriālā dizaina portāls DesignLatvia. Portāla mērķis ir radīt ērtu un patīkamu vidi, kur ikviens interesents var iegūt informāciju par aktuālajām

norisēm dizaina sektorā Latvijā un pasaulē. Ar šā portāla starpniecību LIAA vēlas sekmēt ražotāju un dizaineru komunikāciju un rosināt tālāku, produktīvu projektu veidošanu.

Uzlabojumi kādas valsts dizaina nozarē rada tai ekonomiskas priekšrocības makroekonomiskā līmenī. Lai izmantotu šīs priekšrocības, nepieciešams izstrādāt un ieviest nacionālo dizaina politiku, kas veicinātu dizaina efektīvu pielietojumu dažādās jomās (Mollerup Designlab A/S (2004)).

1.3 Dizaina loma ražošanas uzņēmumos

Dizaina loma uzņēmumā ir radīt vērtību. Uzņēmums var izmantot dizaina procesu, lai pievienotu vērtību precēm, pakalpojumiem vai pašai organizācijai. Labi projektēts produkts, pakalpojums vai organizācija ir vērtīgāka nekā tas, kas nav labi projektēts. Dažādi LIAA ziņojumi, kur tika pētītas inovācijas un jaunu produktu attīstība Latvijā, uzsver, ka inovāciju un jaunu produktu attīstība Latvijā ir ļoti zemā līmenī (Belmane (2004)).

Lielākā daļa uzņēmumu jaunu produktu attīstībai izmanto savu iekšējo kompetenci. Ja uzņēmums strādā kā apakšuzņēmēji citiem klientiem, tad klients palīdz ar saviem resursiem. Konsultanti un izglītības un zinātnes iestādes reti tiek izmantotas kā kompetences resurss jaunu produktu attīstībai. Papildus resursi tiek iegūti no starptautisko kompāniju mātes uzņēmumiem, dalības izstādēs, informācijas no piegādātājiem par izejvielām, sadarbība ar citiem uzņēmumiem.

Rodas jautājums, vai dizains uzņēmējam atmaksājas. It kā to apgalvo daudzi, bet tajā pašā laikā to ir grūti apstiprināt. Tomēr pēdējos gados dizaina vadības pētnieku uzkrātās liecības sāk veidot pārliecinošu argumentu tam, ka dizaina izmantošana ir pelņu nesoša investīcija (Mollerup Designlab A/S (2004)).

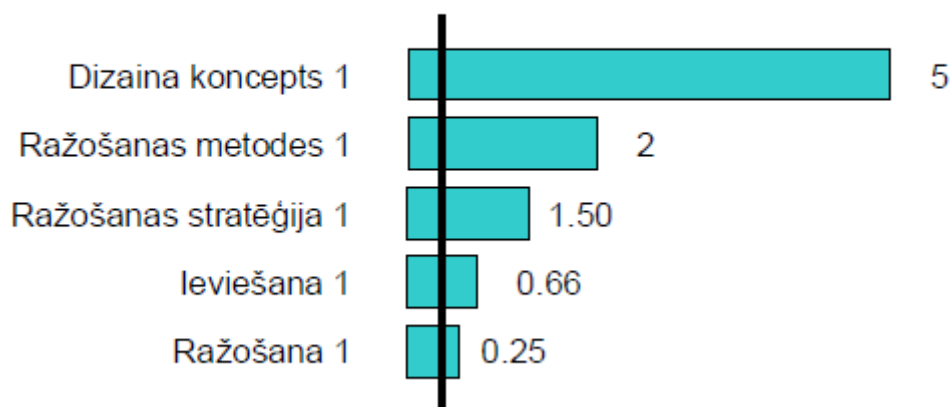
Inovāciju pētījumi Latvijā ļauj secināt, ka starp rūpniecību un zinātni/pētniecību ir ļoti vāja sadarbība. Šo faktu var uzskatīt par vienu no lielākajiem inovāciju un jaunu dizaina produktu attīstības šķēršļiem Latvijā (Belmane (2004)).

Dizains pats par sevi ir proporcionāli „lēts” – ar zemāku riska pakāpi un nodrošina augstu pievienoto vērtību galaproduktam. Pareizi pielietots, tas būtiski palielina uzņēmuma konkurētspēju, samazina izmaksas, palielina gan peļņu, gan uzņēmuma tirgus daļu un tā vērtību.

Dizaina fāze – tas ir no idejas līdz gatavam prototipam – prasa mazāk nekā 15% no kopējā ieguldījuma, līdz brīdim, kamēr tiek uzsāktas investīcijas aprīkojumā un izejmateriālos un uzsākta produkta ražošana. Tomēr attiecībā pret kopējo ieguldījumu veiksmīgs dizains

savukārt pievieno aptuveni 85% no preces vērtības tirgū, kur uzskatāmi parādīts Att. 1.3. Šāda proporcija nav absolūta visos tirgos, bet gan raksturīga Eiropā (LIAA (2008)).

INVESTĪCIJAS / ATMAKSĀŠANĀS



Attēls 1.3 Investīciju atmaksāšanās produktu izstrādes un ražošanas procesu posmos

ASV ir izstrādāti 26 novērtēšanas parametri (skat. Tab. 1.1), pēc kuriem tiek novērtēts katrs jaunais dizaina produkts (Ulrich un Eppinger (2008)), toties Latvijā nav vienotu pamatprincipu un metodiku, kā veiksmīgāk noteikt labāko. Bieži vien acīm redzamais neliecina par to, ka šis dizaina produkts ir vislabākais salīdzinot ar citu, kurš vizuāli šķiet neatbilstošāks, tomēr pielietojot kaut vai ASV metodiku, var secināt, ka tieši ne tik ļoti vizuāli pievilcīgais produkts ir pats labākais. Labākais nenozīmē tikai vizuāli skaistākais vai ergonomiskākais, bet ir jāņem daudzi aspekti kā izturība, materiālu kvalitāte u.c. parametri.

Tabula 1.1 Dizaina novērtēšanas parametri (Ulrich un Eppinger (2008))

1. Funkcionalitāte	14. Troksnis
2. Stiprība/spriegums	15. Stils
3. Deformācija/izliece/cietība	16. Forma
4. Nolietojums	17. Lielums
5. Korozija	18. Vadāmība
6. Drošība	19. Siltumizturība
7. Izturība	20. Virsmas īpašības
8. Ražotspēja	21. Eļļošana
9. Lietderība	22. Noiets (tirgus)
10. Izmaksas	23. Uzturēšana
11. Berze	24. Tilpums
12. Svars	25. Tendence
13. Kalpošanas laiks	26. Otrreizējā pārstrāde / resursu atgūšana

Jau no 1967.gada ASV izstrādāja dizaina novērtēšana metodes, lai palīdzētu ražotāju dizaineru komandai izveidot jaunus produktus:

- *lietderība* - nosaka intuitīvi vai cilvēkam šis produkts ir drošs, viegli lietojams. Katrai detaļai jābūt tādai, lai cilvēkam būtu viegli saprotama tā nozīme;
- *izskats* - forma, līnija, proporcijas un krāsa ir lietota, lai izveidotu vienreizīgu un neatkārtojamu produktu;
- *viegli lietojams* – produktam vajadzētu saturēt lietošanas un salabošanas informāciju;
- *zemas izmaksas* – forma un izskats ir saistīti ar lielām produkta apstrādes izmaksām, kuras vajadzētu apsvērt ražotāju komandai;
- *informācija* – produkta kvalitātei vajadzētu atspoguļot dizaineru radīto attiecīgā produkta tēlu (Ulrich un Eppinger (2008)).

Ievērojot šos kritērijus pirms ražošanas procesa, saražotais produkts tiek novērtēts, pieaicinot neatkarīgus ekspertus pēc šādām vērtēšanas metodēm.

Dizaina novērtēšanas metodes:

- ārējais novērtējums;
- produkta vienreizība;
- intuīcija;
- balsošanas princips;
- plusi un mīnusi;
- prototips un testēšana;
- īpašību matricas novērtējums (Ulrich un Eppinger (2008)).

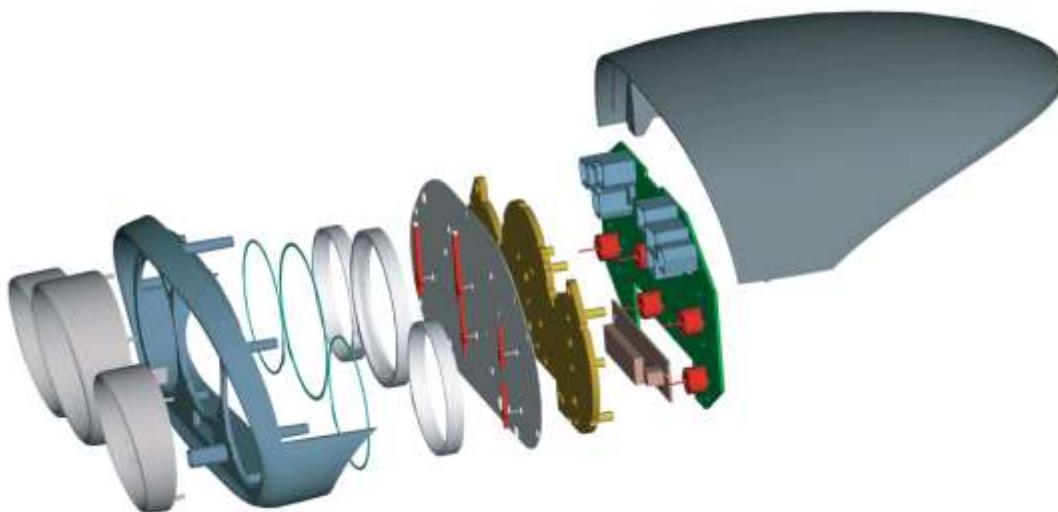
Tostarp ASV izceļ vispārīgās novērtēšanas metodes, kuras ir vērts izmantot visas vienlaicīgi. Tas varbūt nebūtu īsti pareizi, jo vieglāk ir izstrādāt vienu konkrētu metodiku, kas ietvertu sevī atsevišķo metodiku galvenās īpašības.

1.4 Objekta dizaina projektēšanas pozitīvs piemērs

Galvenā problēma pie kontroles mērinstrumentu paneļa (KMP) vizuālās izstrādes ir tāda, ka nav zināms, kam tiks paredzēts attiecīgais KMP, nav zināms šī transporta līdzekļa virsbūves un salona dizains. Lai pilnvērtīgi izstrādātu KMP dizainu, tas ir jāizstrādā vienlaicīgi ar transporta līdzekļa virsbūves un salona dizainu. Ir nepareizi strādāt atsevišķi pie vienas komponentes, neņemot vērā visu kopumu, ko arī pierāda lielie transporta līdzekļu ražotāji.

Izstrādājot jaunu KMP inženieri strādā pie:

- automobiļa elektronikas dizaina
- automobiļa programmatūras izstrādes
- elektromehāniskā dizaina
- mehāniskās montāžas un plastmasas konstrukcijas
- transportlīdzekļa apgaismojuma izstrādes
- grafiskā noformējuma un atveidojuma
- ražošanas rīku pielāgošanas
- prototipu izveides un gatavu detaļas izgatavošanas (skat. Att, 1.4)



Attēls 1.4 KMP uzbūve

Kā spilgts piemērs tiks aplūkota „Mazda” dizaina koncepcijas pamatojums, un šīs koncepcijas pielietojums izstrādājot inovatīvu automobiļa dizainu kopumā.

Jau vēsturiski ”Mazda” savu automobiļu dizainā ir vēlējusies atspoguļot kustības sajūtu. „Mazda” koncepcija – jaunā dizaina valoda KODO, kura turpina šo virzienu, pievienojot kustībai arī spēku, kuru ikviens var saskatīt dabā. Šāds spēks ir, piemēram, dzīvniekā pirms lēciena vai kendo zobena cirtienā. KODO atspoguļo spēku, kas izlaužas uz āru, un skaistumu tieši kustības sākuma brīdī. Šis dizains automobili padara par jaunās paaudzes transportlīdzekli, apveltītu ar dvēseli. Šī dizaina pamatelementi ir ātrums, kas vilina braukt, muskuļu spēks kustībai un izsmalcināta pievilcība. KODO ir kustība visā savā vienkāršībā, papildīta ar dzīvību un kaislību, simbolizē braukšanas sajūtas virsotni, iemiesojot automobiļa ātrumu, kustību un dvēseli (skat. Att. 1.5).



Attēls 1.5 „Mazda” KODO

Mazda izstrādātais KMP atspoguļo, gan viņu izveidoto koncepciju, gan arī automobiļa virsbūves pamatlīnijas (skat. Att. 1.6).



Attēls 1.6 „Mazda” KODO KMP

Tāpat arī neatdalot nevienu komponenti, ir izstrādāts vienotā dizainā pats automobiļa salons (skat. Att. 1.7).



Attēls 1.7 „Mazda” KODO automobiļa salons

Izvērtējot ”Mazda” koncepciju pie automobiļa dizaina izstrādes, svarīgi ir zināt visas automobiļa komponentes, lai veiksmīgi, vienlaicīgi visam automobilim izstrādātu tā dizainu. Visi vadošie automobiļu ražotāji strādā pēc šāda veida koncepcijām, izmantojot vairāku dizaineru kopdarbu.

1.5 Šķēršļi jaunu produktu izstrādei Latvijā

Pēc LIAA pasūtījuma uzņēmums Mollerup veica izpēti Latvijas uzņēmumos, secinot, ka Latvijā ir sekojoši šķēršļi jaunu produktu attīstībai un inovācijām”

- a) nepietiekoša informācija par tirgiem;
- b) vietējā tirgus ierobežojumi (pārāk mazs, zema pirktspēja)
- c) augstas jaunu produktu attīstības izmaksas un tām nepieciešamo finansēšanas līdzekļu nepietiekamība
- d) uzņēmumi attīsta jaunas tehnoloģijas un produktus, uzņemoties pilnībā ar to saistītos riskus, lai gan bieži trūkst nepieciešamās kompetences;
- e) ārējā atbalsta trūkums inovāciju (apmācības, padomdevēja funkcija) attīstībai;
- f) nav finansiālo vai citu atbalsta instrumentu, kas nepieciešami, lai veidotu un attīstītu projektus inovācijas un jaunus produktus un tehnoloģiju attīstībai, veiktu nepieciešamos pētījumus;
- g) nav pietiekamas informācijas par modernajām tendencēm un inovācijām pasaulē (Belmane (2004)).

1.6 Nodaļas secinājumi

1. Ir 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.
2. Noskaidrots, ka vislielāko atzinību ir izpelnījušies tie uzņēmumi (vai personas), kas piedāvā jaunus un neordinārus risinājumus produktu izstrādē, pierādot savas spējas vietējos un starptautiskos konkursos un izstādēs (neizmantojot valsts atbalstu). Šādi entuziasti nes slavu arī valstij kopumā, un kā redzams pēc dažāda veida uzvarām konkursos, Latvijā ir ļoti talantīgi, radoši, cilvēki.
 3. 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.
 4. Promocijas darbā jāpievērš uzmanība pareizai koncepcijas izstrādei pie inovatīvu produktu izveides procesa. Tas 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.

2. LITERATŪRAS APSKATS PAR PARETO NOVĒRTĒJUMU

2.1 Pareto princips

Itāļu ekonomists Vilfredo Pareto (1848 – 1923) 1906. gadā npublicēja matemātisku sakarību par bagātību sadalījumu starp viņa valsts iedzīvotājiem, no kuras sekoja, ka 80 procentu bagātību pieder 20 procentiem valsts iedzīvotāju (Rushton u.c. (2000)). 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 inženiertehnikas izstrādājumiem, var teikt, ka 80 procentus no visiem inženiertehnikas izstrādājumiem ir radījuši 20 procenti pasaules dizaineru. To var attiecināt uz daudzām citām līdzīgām parādībām.

Pareto principa pielietojuma analīzes rezultāti tiek atspoguļoti grafiski ar Pareto diagrammu (*Pareto chart*). Būtībā tā ir stabiņu diagramma (bar chart), kuras stabiņi sakārtoti dilstošā secībā. Katra stabiņa augstums raksturo attiecīgā lieluma biežuma vērtību līdzīgi kā histogrammā. Visaugstākais stabiņš tiek attēlots diagrammas kreisajā un viszemākais – labajā pusē. 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. 2.5).

2.2 Pareto efektivitāte un robeža

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.

Amerikas Inženieru profesionālās attīstības padome (*ECPD, ABET* priekštece) ir sniegusi šādu „inženierzinātņu” definīciju: radoša zinātnes principu piemērošana, lai projektētu vai izstrādātu konstrukcijas, iekārtas, aparātus vai ražošanas procesus, vai veiktu darbus, kuros tie tiek izmantoti atsevišķi vai kopumā, vai lai konstruētu vai ekspluatētu iepriekš minēto, pilnībā pārzinot to konstrukciju, vai lai paredzētu to uzvedību noteiktos darbības apstākļos, visās minētajās darbībās ņemot vērā paredzēto funkciju, ekspluatācijas ekonomiskumu un drošību dzīvībai un īpašumam (*The Engineers (1990); Engineers (1999)*).

Pastāvot vairākām iespējām, inženieri apsver dažādas dizaina variantu priekšrocības un izvēlas risinājumu, kas vislabāk atbilst prasībām. Inženiera svarīgākais un unikālais uzdevums ir identificēt, izprast un interpretēt dizaina parametru ierobežojumus, lai panāktu

veiksmīgu rezultātu. Ar to parasti nepietiek, lai izveidotu tehniski veiksmīgu produktu. Tam ir jāatbilst vēl citām prasībām.

Pie ierobežojumiem ir pieskaitāmi pieejamie resursi, fiziski, radoši vai tehniski ierobežojumi, pietiekama elastība izmaiņu un papildinājumu veikšanai nākotnē un citi faktori, piemēram, izmaksu, drošības, produkta spējas un apkalpojamības prasības. Izprotot ierobežojumus, inženieri konkretizē ierobežojumus, kuru ietvaros var ražot un ekspluatēt dzīvotspējīgu objektu vai sistēmu.

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.

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

$$f: R^n \rightarrow R^m \quad (2.1)$$

ir funkcija, kas katram objekta telpas punktam x piešķir kritēriju telpas punktu $f(x)$. Tas ir veids, kā izvērtēt objektus. Pastāv iespēja, ka daži objekti ir nerealizējami, tāpēc pieņemsim, ka X ir realizējamu dizainu kopums R^n , kam jābūt kompaktam kopumam. Tad kopums, kas norāda realizējamus kritērija punktus, ir $f(X)$, kopuma X atveidojums darbības f ietvaros. To var nodēvēt par atveidojumu Y .

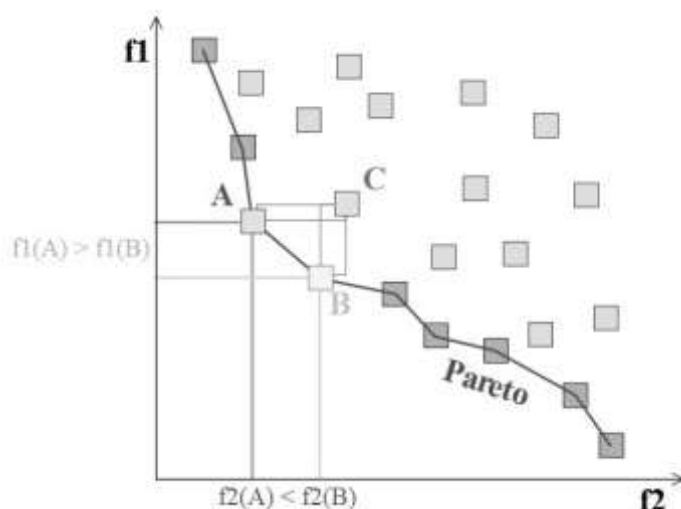
Tagad ir iespējams veidot Pareto robežu kā Y apakškopu, realizējamus kritērija punktus. Var pieņemt, ka katra kritērija vēlamās vērtības ir mazākās vērtības, tādējādi samazinot visas kritēriju vektora vērtības. Tālāk veicot šādu kritēriju vektoru salīdzinājumu: viens kritērija vektors Y *izteikti dominē* („tam tiek dota priekšroka” vai preference) pār vektoru Y^* , ja neviens Y parametrs nav lielāks kā atbilstošais Y^* parametrs un vismaz viens parametrs ir izteikti mazāks, proti, katram i un

$$Y_i \leq Y_i^* \quad (2.2)$$

dažiem i . To izsaka kā:

$$Y > Y^* \quad (2.3)$$

lai parādītu, ka Y izteikti dominē pār Y^* . Tad Pareto robeža ir punktu kopums no Y , attiecībā uz kuriem nav konstatējams, ka pār tiem izteikti dominē cits punkts Y (Rushton u.c. (2000); Ward u.c. (1994)).



Attēls 2.1 Pareto robeža

Pareto robežas piemērs ir parādīts Att. 2.1. 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)).

2.2.1 Pareto robeža

Atšķirībā no vienkritēriju optimizācijas daudzkritēriju problēmas risinājums drīzāk ir koncepcija, nevis definīcija. Parasti nav viena globāla risinājuma, un bieži vien ir jānosaka punktu kopa, visiem punktiem atbilstot iepriekš noteiktai optimālās vērtības definīcijai. Galvenais princips optimālā punkta definēšanā ir *Pareto robeža* (Pareto (1906)), kuras definīcija ir šāda:

1. definīcija. *Pareto robeža: punkts $x^* \in X$ ir Pareto robeža, ja nav cita punkta $x \in X$, kurā $F(x) \leq F(x^*)$ un $F_i(x) < F_i(x^*)$ vismaz vienai funkcijai.*

Visi Pareto robežpunkti atrodas uz iespējamās kritērija telpas Z robežas (Athans un Papalambros (1996); Chen u.c. (2000)). Bieži vien algoritmi sniedz risinājumus, kas nevar būt Pareto robeža, tomēr var atbilst citiem kritērijiem, padarot tos nozīmīgus citiem praktiska pielietojuma veidiem.

2. definīcija. *Vāji Pareto optimāls: punkts $x^* \in X$ ir vāji Pareto optimāls, ja nav cita punkta $x \in X$, kurā $F(x) < F(x^*)$.*

Punkts ir vāji Pareto robežā, ja nav cita punkta, kas uzlabo *visas* mērķa funkcijas vienlaikus. Savukārt punkts ir Pareto robežā, ja nav neviena cita punkta, kas uzlabo *vismaz vienu* mērķa funkciju, neradot negatīvu ietekmi uz citu funkciju. Pareto robežpunkti ir vāji Pareto robežā, savukārt vāji Pareto robežpunkti nav Pareto robežā.

Visus Pareto robežpunktus var klasificēt kā *atbilstošus* vai *neatbilstošus*. *Atbilstošas Pareto robežas* ideja un tās saistība ar noteiktiem algoritmiem ir aplūkota vairākos literatūras avotos (Geoffrion (1968); Yu (1985); Miettinen (1999)).

3. definīcija. *Atbilstošs Pareto robežā: punkts $x^* \in X$ ir atbilstošs Pareto optimāls (Džefriona izpratnē), ja tas ir Pareto robežā un ir tāds reāls skaitlis $M > 0$, kas katram $F_i(x)$ un katram $x \in X$ apmierina $F_i(x) < F_i(x^*)$, pastāv vismaz viens $F_j(x)$, kurā $F_j(x^*) < F_j(x)$ un $\frac{F_i(x^*) - F_i(x)}{F_j(x) - F_j(x^*)} \leq M$. Ja Pareto robežpunkts nav atbilstošs, tad tas ir neatbilstošs.*

Koeficientu dēvē par *kompromisa darījumu*, un tas atspoguļo pieaugumu mērķa funkcijā j , kas izriet no samazinājuma mērķa funkcijā i . Saskaņā ar 2.2.2 apakšnodaļā norādīto 1.teorēmu, lai punkts varētu būt atbilstošs Pareto robežā, ir jābūt kompromisam starp katru funkciju un *vismaz vienu* citu funkciju.

Metodes, lai noteiktu, vai punkts ir vai nav Pareto robežā, ir norādītas vairākos literatūras avotos (Benson (1978); Brosowski un da Silva (1994)). Somu profesores (Miettinen (1999)) publikācijā Benson (1978) darbs ir apkopots ar šādu vienkāršu x^* punkta testu:

Minimizēt

$$\underset{x \in X, \delta \geq 0}{\text{Minimizēt}} \sum_{i=1}^k \delta_i \quad (2.4)$$

kam piemērojams $F_i(x) + \delta_i = F_i(x^*)$, $i = 1, 2, \dots, k$.

Ja visi δ_i ir nulle, tad x^* ir Pareto robežpunkts.

Attiecībā uz jebkuru konkrētu problēmu var būt bezgalīgs Pareto robežpunktu skaits, kas veido *Pareto robežu kopu*. Tāpēc ir jānošķir metodikas, kas attiecas uz Pareto robežu kopu vai atsevišķu minētās kopas daļu, un metodikas, ar kuru palīdzību tiek meklēts viens galīgais punkts. Tālāk tiks aplūkotas abas pieejas.

2.2.2 Nepieciešamie un pietiekamie nosacījumi

Neatkarīgi no tā, vai konkrēta daudzkritēriju optimizācijas formulējuma risināšana ir nepieciešams un/vai pietiekams nosacījums Pareto robežai, tai ir galvenā loma tā veikspējā. Tomēr minētie parametri var nedaudz atšķirties attiecībā uz to nozīmi vienmērķa

optimizācijas ziņā. Ja formulējums nodrošina nepieciešamo nosacījumu, tad punktam ir jābūt minētā formulējuma risinājumam, lai tā būtu Pareto robeža. Rezultātā visi Pareto robežpunkti ir sasniedzami, veicot pielāgojumus metodikas parametros (eksponente, svars u.tml.). Ja punkts ir sasniedzams, izmantojot konkrētu formulējumu, tiek uzskatīts, ka formulējumā ir *notverts* attiecīgais punkts. Tomēr atsevišķi risinājumi, kas rasti, izmantojot šo formulējumu, var nebūt Pareto robeža. No otras puses, ja formulējums nodrošina pietiekamo nosacījumu, tad tā risinājums vienmēr būs Pareto robeža, lai gan noteikti Pareto robežpunkti var būt nesasniedzami. Daudzi autori ir aplūkojuši teorētiskos nepieciešamos un pietiekamos nosacījumus kā līdzekli Pareto robežas klasificēšanai, un ir pieejami pētījumi par šiem nosacījumiem (Vincent un Grantham (1981); Miettinen (1999)). Tomēr šajā konkrētajā gadījumā termini „nepieciešams” un „pietiekams” ir izmantoti praktiskākā nozīmē, lai raksturotu metodikas/formulējuma spēju nodrošināt Pareto robežpunktus.

Globālā kritērija F_g ziņā Stedlers (Standler (1988)) apraksta šādu Pareto robežpunkta pietiekamības nosacījumu, kas noder skalarizācijas metodikas efektivitātes novērtēšanai:

1. teorēma. *Ļaut $F \in Z$, $x^* \in X$ un $F^* = F(x^*)$. Ļaut skalāram globālam kritērijam $F_g(F): Z \rightarrow R^1$ būt diferencējamam ar $\nabla_F F_g(F) > 0 \forall F \in Z$. Pieņemt, ka $F_g(F^*) = \min\{F_g(F) < F \in Z\}$. Tad x^* ir Pareto robeža.*

Pirmā teorēma rosina uzskatīt, ka ir pietiekami minimizēt globālo funkciju $F_g(F)$, lai iegūtu Pareto robežu, ja $F_g(F)$, monotoni pieaug attiecībā uz katru mērķa funkciju. Turklāt, ja x^* ir Pareto robežpunkts, tad pastāv funkcija $F_g(F)$, kas atbilst pirmajai teorēmai un notver x^* (Messac u.c. (2000a)). Ja $F_g(F)$ minimizēšana nodrošina Pareto robežai nepieciešamo nosacījumu, $F_g(F)$, Hesiānam (Hessian) attiecībā uz F jābūt negatīvai noteiktai vērtībai (Athan un Papalambros (1996)).

2.2.3 Efektivitāte un pārsvars

Efektivitāte, kuras pamatā ir tāda pati ideja kā *pieņemamībai* un *līdzvērtībai* (Steuer (1989)), ir vēl viens pamatjēdziens daudzkritēriju optimizācijas jomā, un tās definīcija ir šāda:

4. definīcija. *Efektīvs un neefektīvs: punkts $x^* \in X$ ir efektīvs, ja nepastāv cits punkts $x \in X$, kurā $F(x) \leq F(x^*)$ ar vismaz vienu $F_i(x) < F_i(x^*)$. Pretējā gadījumā x^* ir neefektīvs.*

5. definīcija. *Efektīva robeža: visu efektīvo punktu kopu dēvē par efektīvo robežu.*

Štojers (Steuer) norāda arī šādu nedominējošu un dominējošu punktu definīciju:

6. definīcija. *Nedominējoši un dominējoši punkti:* mērķa funkciju vektors $F(x^*) \in Z$ ir nedominējošs, ja nepastāv cits vektors $F(x) \in Z$, kurā $F(x) \leq F(x^*)$ ar vismaz vienu $F_i(x) < F_i(x^*)$. Pretējā gadījumā $F(x^*)$ ir dominējošs.

Praktiskā pielietojuma ziņā 4. un 6. definīcijas ir vienādas. Tomēr efektivitāte parasti tiek attiecināta uz projektēšanas mainīgo vektoru projektēšanas telpā, savukārt pārsvars jeb dominēšana tiek attiecināta uz funkciju vektoru kritēriju telpā.

Pareto robežas definīcija ir līdzīga efektivitātes definīcijai, un bieži vien tiek uzskatīts, ka Pareto robežpunkts kritērija telpā ir tāds pats kā nedominējošais punkts. Tomēr sākotnēji efektivitātei un pārsvaram (dominēšanai) bija izstrādātas mazāk pazīstamas definīcijas *dominēšanas struktūru* un *izliektu konusu* veidā (Yu (1974); Yu un Leitmann (1974)). Pareto robeža ir īpašs efektivitātes gadījums ar specifiskām niansēm, bet šīs nianse nav būtiskas praktisku pielietojumu ziņā.

2.2.4 Kompromisa risinājums

Pareto robežas un efektivitātes, kas piedāvā vienu risinājuma punktu, idejas alternatīva ir *kompromisa risinājuma* alternatīva (Salukvadze (1971a), (1971b)). Tā ietver atšķirības mazināšanu starp potenciālo robežpunktu un *utopisko punktu* (arī dēvētu par *ideālo punktu*) (Слиеде un Эглайс (1997)), kura definīcija ir šāda (Vincent un Grantham (1981)):

7. definīcija. *Utopiskais punkts:* punkts $F^\circ \in Z^k$ ir utopisks punkts, ja katram $i = 1, 2, \dots, k$, $F_i^\circ = \text{minimum}_x \{F_i(x) | x \in X\}$.

Kopumā F° ir nerasniedzams. Iespējamā piemērojamā pieeja ir risinājums, kas ir pēc iespējas tuvāks utopiskajam punktam. Šādu risinājumu dēvē par kompromisa risinājumu, un tā ir Pareto robeža. Grūtības attiecībā uz kompromisa risinājuma ideju rada vārda „tuvs” definīcija. Termins „tuvs” parasti nozīmē, ka tiek samazināts Eiklīda attālums $N(x)$, kura definīcija ir šāda:

$$N(x) = |F(x) - F^\circ| = \left\{ \sum_1^k [F_i(x) - F_i^\circ]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Tomēr tuvums nav jāaprobežo tikai ar Eiklīda normas gadījumu (Vincent (1983)). Papildus, ja dažādām mērķa funkcijām ir dažādas vienības, ar Eiklīda normu vai jebkuras pakāpes normu nepietiek, lai atspoguļotu tuvumu matemātiskā veidā. Līdz ar to mērķa funkcijas ir jāpārveido tā, lai tām nebūtu dimensiju.

2.3 Problēmu risināšana

Inženieri izmanto savas zināšanas dažādās tehniskajās, ekonomikas uc. jomās un attiecīgo uzkrāto pieredzi, lai rastu atbilstošus problēmu risinājumus. Atbilstoša problēmas matemātiska modeļa izveidošana dod viņiem iespēju veikt tā analīzi (reizēm ļoti precīzi) un pārbaudīt iespējamus risinājumus.

Parasti pastāv vairāki saprātīgi risinājumi, tāpēc inženieriem ir jāizvērtē dažādi dizaina varianti pēc to īpašībām un jāizvēlas risinājums, kas vislabāk atbilst prasībām. Apkopojis statistiku par ievērojamu patentu skaitu, Henrihs Altšullers (*Genrikh Altshuller*) izteica pieņēmumu, ka „zema līmeņa” inženierprojektēšanas pamatā ir kompromiss, savukārt augstākajā līmenī tieši labākais dizains likvidē galveno pretrunu, kas ir problēmas izraisītāja (Ogot un Kremer (2004)).

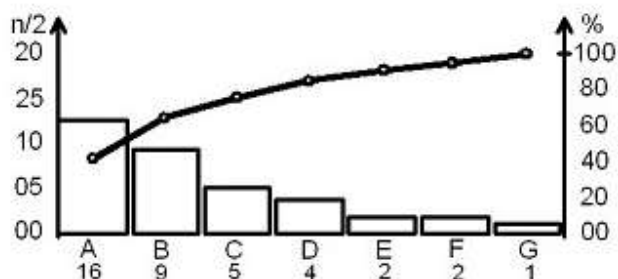
Inženieri parasti mēģina prognozēt, cik lielā mērā viņu izstrādātais objekts funkcionēs atbilstoši specifikācijām vēl pirms tā laišanas apgrozībā. Viņi, cita starpā, izmanto: prototipus, mērogā darinātus modeļus, simulācijas, sagraujošās pārbaudes, nesagraujošās pārbaudes un stiprības pārbaudes. Pārbaudīšana nodrošina, ka produkts funkcionēs iepriekš paredzētajā veidā.

Inženieri kā profesionāļi nopietni uztver savu atbildību par tādu objekta radīšanu, kas darbosies paredzētajā veidā un nekaitēs sabiedrībai kopumā. Inženieri parasti iekļauj savos objektos drošības faktoru, lai mazinātu neparedzētas atteices risku. Tomēr jo augstāks drošības koeficients, jo mazāka var būt objekta efektivitāte.

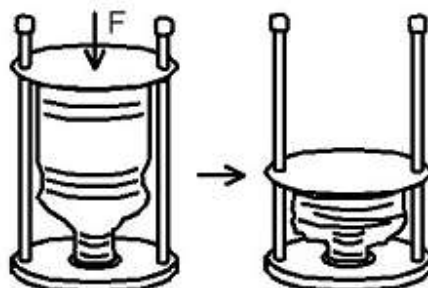
Projektējot rūpnieciskus izstrādājumus ir ļoti svarīgi apzināties, kādiem tirgus sektoriem tie būs paredzēti. Latvijas tirgus sektori ir samērā viegli pārskatāmi, mums ir sektori, kuru zinātniski pētniecisko un inženierdarbu izpildes potenciāls atļauj pretendēt uz izstrādājumiem ar nelieliem izmēriem, masu, bet augstu pievienoto vērtību. Ja sadala 3 gadu laika izstrādātos studiju darbos piedāvātos inženiertehniskos objektus (inženierdarbus) 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 diagramma (skat. Att. 2.2) atspoguļo studentu piedāvājumu sadalījumu, Att. 2.3 parādīts viens no piedāvātiem mājsaimniecības objektiem – ierīces skice plastmasas pudeļu pārstrādei – placināšanai.



Attēls 2.2 Pareto diagramma



Attēls 2.3 Ierīce plastmasas pudeļu utilizācijai

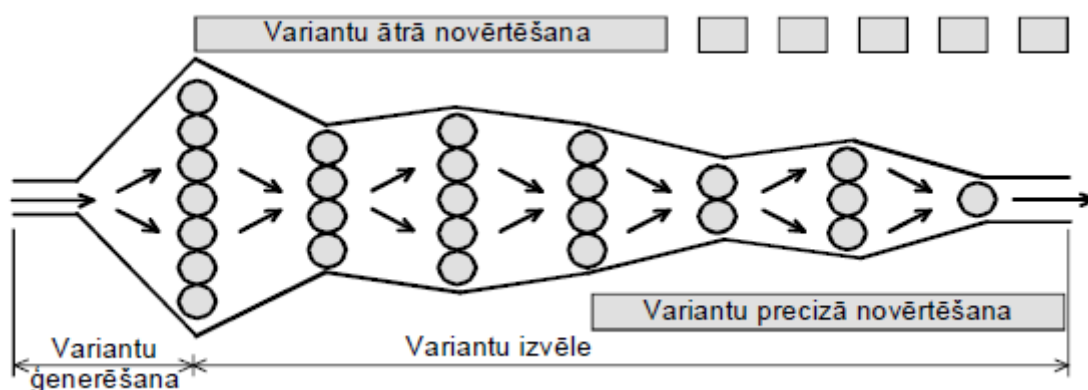
BALTECH programmas ietvaros 9 studentu uzdevums bija izstrādāt PET pudeļu smalcināšanas ierīci, kuru varētu izmantot mājsaimniecībā. Tā kā tika piedāvāti vairāki varianti, tad bija jāpieņem lēmums par labākās smalcināšanas ierīces virzību uz ražošanu.

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

Iepriekš apskatītajā Att. 2.3 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.

Par labāko, objektīvāko tiek uzskatīta lēmumu matricas metode (Engineers (1999)), kuras realizācijas shēma parādīta Att. 2.4.



Attēls 2.4 Izstrādājuma variantu izvēles shēma

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 izskaitļot varianta novērtējumu kā novērtēšanas punktu summu,

$$S_j = \sum_{i=1}^n r_{ij}w_i, \quad (2.6)$$

kur:

S_j - punktu skaits variantam j ;

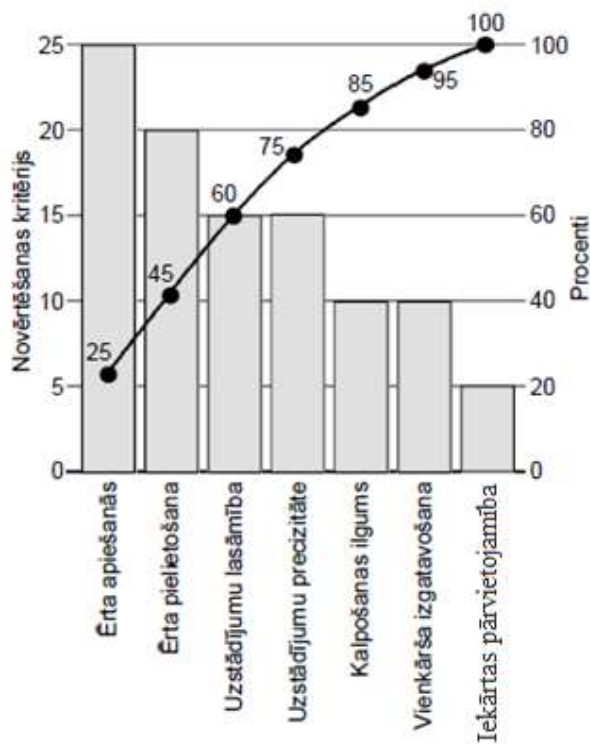
r_{ij} - i kritērija novērtējums variantam j ;

w_i - svara koeficients i kritērijam;

n – kritēriju skaits.

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

Att. 2.5 parādīta Pareto diagramma viena izmēra sadzīves tehnikas (skat. Att. 2.3) izvēles kritēriju ekspertu novērtējumam.



Attēls 2.5 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; to variantu izvēlē lietderīgi ievērtēt izplūdušās loģikas (Zimmermann (2001)) (Fuzzy logic) matemātiskā aparāta palīdzību.

Izstrādājumu variantu izvēlē jāizmanto izplūdušās loģikas matemātiskā aparāta iespējas.

2.4 Nodaļas secinājumi

1. Darbā parādīts, ka izstrādājot jaunus produktus, jāņem vērā ne tikai produkta inovativitāte, 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).
2. No promocijas darba materiāliem ir redzams, ka pasaulē ir izstrādāts milzum 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).
3. 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.

3. LITERATŪRAS APSKATS PAR IZPLŪDUŠO (FUZZY) ELEMENTU METODES PIELIETOJUMU INŽENIERZINĀTNĒS UN VADĪBAS TEORIJĀ

3.1 Neprecizitātes (nenoteiktības) metode

3.1.1 Ievads

Neprecizitāte jeb sākotnējam, nepilnīgam aprakstam raksturīga nenoteiktība ir neatņemama inženierprojektēšanas procesa daļa. Nereti iegūt *precīzu* informāciju, uz kuras balstīt lēmumus, ir grūti vai neiespējami, tomēr ir svarīgi panākt, lai pirmajiem pieņemtajiem inženierprojektēšanas lēmumiem ir uzticams un pareizs pamatojums (Zimmermann (1999)).

Tehnisko risinājumu koncepciju izstrādes posmā konstruējamā objekta apraksts lielā mērā ir nenoteikts vai neprecīzs (izplūdis). Minētā neprecizitāte tiek mazināta objekta izstrādes procesā, līdz beidzot galīgais apraksts ir precīzs (skaidri izteikts, definēts jeb strikts), izņemot pieļaujamās gadījuma novirzes, kas atspoguļo ražošanā nodrošinātās pielaižu robežvērtības un materiālu īpašību fluktuācijas.

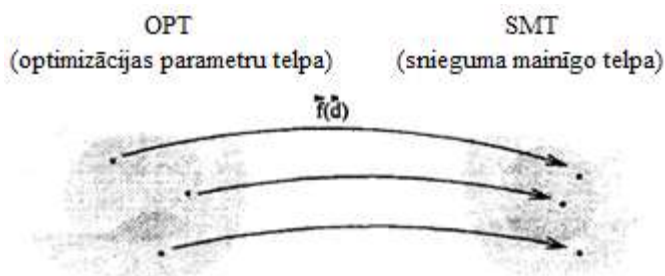
Metodoloģija neprecizitātes atspoguļošanai ir visvairāk nepieciešama inženierprojektēšanas sākuma posmos, kad projektētājam ir vismazākā skaidrība par galīgajiem izmēriem un formu, materiāliem un īpašībām, kā arī pabeigtā projektējamā objekta patiesajiem ekspluatācijas rādītājiem (sniegumu). Veiktie pētījumi liecina ne tikai par to, ka neprecizitāte ir klātesoša visā inženierprojektēšanas procesā, bet to var atspoguļot, pielietojot metodes, kuru pamatā ir kopas (Ward u.c. (1994)). Turklāt svarīgākie lēmumi, kuriem ir vislielākā ietekme uz vispārējām izmaksām, tiek pieņemti tieši šajos projektēšanas sākuma posmos (Ulrich un Pearson (1993)).

Pēdējo divdesmit gadu laikā Kalifornijas Tehnoloģiskā institūta pētnieku uzmanības centrā ir bijusi tādu metožu izstrāde, kas atspoguļo un ļauj manipulēt ar neprecīziem konstrukciju aprakstiem, lai konstruktors varētu salīdzināt alternatīvas projekta sākotnējā izstrādes posma laikā. Tā kā projektējamā objekta neprecizitāte ir saistīta ar tā optimizējamo parametru vērtību izvēli, kuras raksturo radāmo objektu vai procesu, tad preferences (izvēlētās priekšrocības) 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).

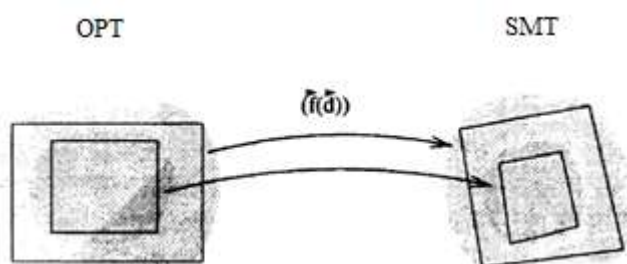
Tālāk tiks sniegts pārskats par to, kā NM tiek pielietota, lai atvieglotu lēmumu pieņemšanas procesu inženierprojektēšanā, un atbilstošo eksistējošo aprēķina algoritmu un metožu apraksts.

3.1.2 Pārskats par neprecizitātes metodi

Neprecizitātes metodes (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 jāsastopas arī ar neprecīzu snieguma rādītāju specifiskāciju aprakstu, kuru var iegūt no pasūtītājiem, veicot tirgus aptaujas u.tml. Pēc tam neprecīzos (izplūdušos) optimizācijas parametrus *inducē* snieguma mainīgo telpā (SMT), izmantojot tālāk aprakstīto algoritmu. Inženierpraksē var lietot tradicionālo „punktu pa punktam” pieeju, kas atspoguļota Att. 3.1. Taču var rīkoties arī šādi: snieguma rādītājos inducētās objekta preferences var salīdzināt ar specifiskācijām. 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. 3.2.



Attēls 3.1 Katras konstrukcijas secīga izvērtēšana



Attēls 3.2 Konstrukciju izvērtēšanas kopas

3.1.3 Pamatjēdzienu definīcijas

Neprecīzs mainīgais ir mainīgais, kuram var būt jebkura vērtība no noteikta iespējamā diapazona, jo projektētājam iepriekš nav zināma galīgā vērtība, kas tiks pieņemta projektēšanas procesa noslēgumā. Lai gan projektētājs nav pārliecināts par to, kuru vērtību noteikt, atsevišķām vērtībām tiks dota priekšroka - preference attiecībā pret citām. Šo preferenci, kurai ir iespējami objektīvi cēloņi (piemēram, sastāvdaļu izmaksas vai pieejamība), izmanto, lai kvantētu neprecizitāti, kas saistīta ar optimizācijas parametru. Tādējādi objekta izvērtējumā tiek iekļauta projektētāja pieredze un vērtējums (Zimmermann (1999)).

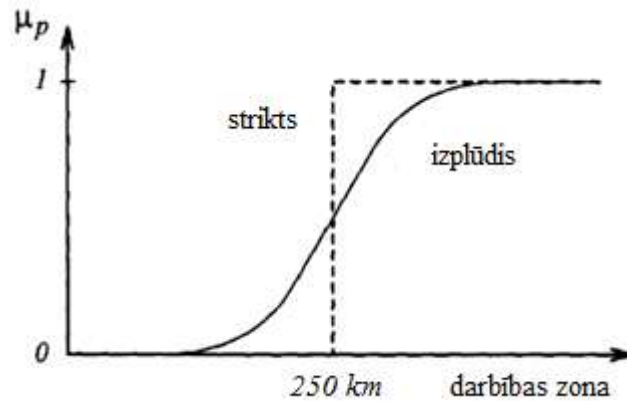
Optimizācijas parametri ir mainīgie, kuriem projektētājs var brīvi izvēlēties vērtības, mēģinot pēc iespējas labāk izpildīt potenciālā pasūtītāja prasības un snieguma rādītājus. Tie tiek apzīmēti ar d_i , kur i var būt no 1 līdz n . Visa optimizācijas parametru kopa katrai objekta alternatīvai ir n izmēra vektors, \vec{d} , kas ir optimizācijas parametru *telpas* (*OPT*) elements. Pieņemamās (derīgās) optimizācijas parametru vērtības *OPT* veido apakškopu X . Pieņemamo vērtību kopu d_i apzīmē ar X_i .

Projektētāja doto preferenci d_i vērtībām apraksta ar preferences funkciju X , kas tiek dēvēta par *objekta preferenci*:

$$\mu_{d_i}(d_i): X_i \rightarrow [0,1] \subset R, \quad (3.1)$$

kur tiek pieņemts, ka X_i ir kompakts. $\mu_{d_i}(d_i)$ norāda objekta preferences apjomu attiecībā uz d_i vērtībām un atšķiras no tradicionālās piederības funkcijas izplūdušajā kopā, kas nosaka to, cik lielā mērā vērtības pieder kopai.

Specifikācijas un prasības arī ietver neprecizitāti, lai gan vairums šo specifiku un prasību ir izstrādātas tā, lai tās būtu striktas, piemēram: „Šīs ierīces darbības zonai ir jābūt vismaz 250 km.” Šāda prasība liecina, ka gadījumā, ja ir divi ļoti līdzīgi objekti un vienam no tiem darbības zona ir nedaudz lielāka kā 250 km, savukārt otram – nedaudz mazāka, tad ir pieņemams pirmais, nevis otrais variants, kā to parāda pārtrauktā līnija Att. 3.3. Savukārt specifiku un prasības reālajā pasaulē parasti ir izplūdušas. Projektētājam bieži vien ir jāuzdod jautājumi, lai noteiktu pamatā esošo izplūdušo ierobežojumu, lai galīgais objekta variants atbilstu pasūtītāja faktiskajām prasībām, pat ja tas neatbilst sākotnēji norādītajam striktajam ierobežojumam. Gan ierobežojumu, gan sākotnējo optimizācijas parametru neskaidrība ir projektēšanas neprecizitātes veidi, un tiem ir iespējams vienāds attēlojums. Nepārtrauktā līnija Att. 3.3 parāda izplūdušu funkcionālo prasību vai specifiku.



Attēls 3.3 Neprecīzas funkcionālās prasības piemērs

Snieguma rādītāji (atbildes). Mainīgos, kuriem pasūtītājs uzdod preferenci, apzīmē ar p_j , kur j var būt no 1 līdz q . Katru snieguma rādītāju (atbildi) p_j nosaka ar projicēšanu f_j kā $p_j = f_j(\vec{d})$. Projicēšana f_j var būt jebkurš aprēķins vai procedūra, ko izmanto objekta snieguma rādītāju noteikšanai, tostarp analītiskas formulas, iteratīvas un heuristiskas metodes, „melnās kastes” funkcijas, eksperimenti un pasūtītāju novērtējumi. Snieguma rādītāju kopa katrai objekta alternatīvai ir q izmēra vektors $\vec{p} = \vec{f}(\vec{d})$, kas ir *snieguma rādītāju telpas (SRT)* elements. Derīgo (pieļaujamo) snieguma rādītāju vērtību Y apakškopu projicē no X , un derīgo (pieļaujamo) p_j vērtību kopu apzīmē ar Y_j .

Pasūtītāja preferenci attiecībā uz p_j vērtībām (j -to snieguma rādītāju) atspoguļo preferences funkcija uz Y , ko dēvē par *funkcionālo prasību*:

$$\mu_{p_j}(p_j): Y_j \rightarrow [0,1] \subset R, \quad (3.2)$$

Pielikumā ir dots NM izmantoto apzīmējumu apkopojums.

3.1.4 Agregācija (apkopošana)

Lai novērtētu objektu $\vec{d} \in OPT$, ir jākombinē vai jāapkopo dažādās atsevišķās preferences, lai iegūtu vienotu, vispārēju mērījumu. Šādai apkopošanai jeb agregācijai faktiski ir divi posmi. Pirmajā posmā atsevišķas objekta preferences μ_{d_i} tiek apkopotas kombinētā objekta preferencē μ_d ar P_d , un pasūtītāja individuālās preferences (funkcionālās prasības) μ_{p_j} tiek apkopotas kombinētā funkcionālā prasībā μ_p ar P_p . Savukārt otrajā posmā, tiklīdz katra optimizācijas parametra ($\mu_d(\vec{d})$) neprecizitāte ir inducēta SRT, inducētās preferences kombinē ar funkcionālajām prasībām ($\mu_p(\vec{p})$), izmantojot P_c , kurā ir apvienotas visas preferences, lai iegūtu *vispārējo preferenci* ($\mu_o(\vec{p})$) no vienādojuma:

$$\begin{aligned}\mu_o &= P_c[\mu_d, \mu_p] \\ &= P_c[P_d(\mu_{d_1}, \dots, \mu_{d_n}), P_p(\mu_{p_1}, \dots, \mu_{p_q})]\end{aligned}\quad (3.3)$$

Agregācijas funkcijai P ir jāatbilst šādām četrām aksiomām, lai to varētu uzskatīt par atbilstīgu inženierprojektēšanai (Otto, 1992):

Monotonums

$$\begin{aligned}P(\mu_1, \dots, \mu_k, \dots, \mu_{p+q}) &\leq P(\mu_1, \dots, \mu'_k, \dots, \mu_{p+q}) \\ &\text{Ja } \mu_k \leq \mu'_k \quad \forall k\end{aligned}\quad (3.4)$$

Nepārtrauktība

$$\begin{aligned}P(\mu_1, \dots, \mu_k, \dots, \mu_{p+q}) &= \\ \lim_{\mu'_k \rightarrow \mu_k} P(\mu_1, \dots, \mu'_k, \dots, \mu_{p+q}) &\quad \forall k\end{aligned}\quad (3.5)$$

Anihilācija

$$P(\mu_1, \dots, 0, \dots, \mu_{p+q})\quad (3.6)$$

Idepotence

$$P(\mu, \dots, \mu) = \mu\quad (3.7)$$

Agregācijas funkcijas P_c , P_d un P_p atspoguļo katra apkopojuma kompromisa stratēģijas, kas formāli nosaka, kuras objekta konkurējošās īpašības var nomainīt ar citām (Scott un Antonsson (1998)). Tā kā funkcionālās prasības un objekta preferences var veidot kā izplūdušo kopu piederības funkcijas, preferenču apkopošana ir izplūdušo kopu agregācijas uzdevums. Atbilstošo projektēšanas stratēģiju (agregāciju) parasti nosaka pati projektēšanas problēma, un šajā ziņā projektētājam nav dota iespēja to brīvi izvēlēties. Parasti projektēšanas problēmas risināšanai ir nepieciešams izveidot dažādu kompromisa stratēģiju hierarhiju, kurā būs attiecīgā kārtībā apkopotas objekta īpašības (atribūti).

Nekompensējošā agregācija. Apskatīsim, piemēram, sistēmu, kurā vienas komponentes atteice jeb kļūme izraisa visa mezgla – kopējās sistēmas atteici. Augsto preferenci, kurai atbilst vienas komponentes ilgais darbības laiks, līdz iestājas atteice, nevar kompensēt ar zemu preferenci, kurai atbilst citas komponentes īsāks darbības laiks, līdz iestājas atteice. Šajā gadījumā ir nepieciešama *nekompensējoša* kompromisa stratēģija, kurā agregācijas funkcijai ir minimums P_{min} :

$$\mu_o(\vec{d}) = \min(\mu_{d_1}, \dots, \mu_{d_n}, \mu_{p_1}, \dots, \mu_{p_q})\quad (3.8)$$

Kompensējošā agregācija. Tagad apskatīsim parastas elektro baterijas snieguma rādītājus – enerģijas uzglabāšanas ilglaicīgumu un vienības izmaksas. Baterijas vienības zemās izmaksas var daļēji kompensēt ar baterijas īso mūžu, un ilgs baterijas mūžs var daļēji kompensēt

baterijas vienības augstas izmaksas. Šīs abas īpašības tiek atbilstoši apvienotas, pielietojot *kompensējošo* kompromisa stratēģiju, kurā agregācijas funkcijai ir ģeometriskā vidējā svērtā vērtība vai rādītāju reizinājums P_{Π} :

$$\mu_0(\vec{d}) = \left(\prod_{i=1}^n \mu_{d_i} \prod_{j=1}^q \mu_{p_j} \right)^{\frac{1}{n+q}} \quad (3.9)$$

Agregācijas funkcijas P_{min} un P_{Π} ir tikai divi kompromisa līmeņu piemēri, kurus var pielietot NM (neprecizitātes metodē). Ir iespējami arī agregācijas starplīmeņi, un katrai īpašībai jeb atribūtam var noteikt savu svarīgumu (Scott un Antonsson (1995)). Vienas atsevišķas projektēšanas problēmas ietvaros var rasties nepieciešamība dažādām atribūtu grupām, piemērot dažādas kompromisa stratēģijas. Vispār uz atsevišķiem atribūtiem jeb īpašībām attiecināmās preferences būs nepieciešams apvienot, ievērojot noteiktu secību dažādu kompromisa stratēģiju hierarhijā.

Punkts vai punkti ar augstāko preferenci atbilst vispārējam visvēlamākajam objekta sniegunam. Projektēšanas uzdevums ir atrast atbilstošo optimizācijas parametru kopu (\vec{d}^*), kas nodrošina maksimālo vispārējo preferenci ($\mu_o^*(\vec{d}^*)$). Gadījumā, ja nepastāv apgrieztais projicēšanas operators ($f^{-1}: Y \rightarrow X$), ($\mu_o(\vec{d})$), tad tik un tā var iegūt risinājumu punktu pa punktam (Law un Antonsson (1994)). Visaugstākā vispārējā preference μ_o^* kopā X ir vienāda ar visaugstāko vispārējo preferenci kopā Y (Otto u.c. (1993b)).

Iterācijas. Neprecizitātes metode ir iteratīva. Preferences tiek precizētas (mainītas), veicot aizvien jaunu neprecīza objekta alternatīvu novērtēšanu. Tomēr šajā gadījumā nav runa par tradicionālajām „punkts pa punktam” objekta iterācijām: NM metodoloģijā tiek izmantotas izplūdušas kopas, kurās ir atspoguļotas preferences attiecībā uz daudziem objektiem, sniedzot pilnīgāku informāciju projektēšanas procesa agrīnajās stadijās. Šo informāciju var izplatīt sasaistītajām inženieru grupām, atvieglojot paralēlo projektēšanu, kas bāzējas uz izplūdušām kopām. Uz kopām bāzēta paralēlā projektēšana (Ward u.c. (1994)) ir spēcīga paradigma, ko uzlabo izplūdušo kopu pielietošana.

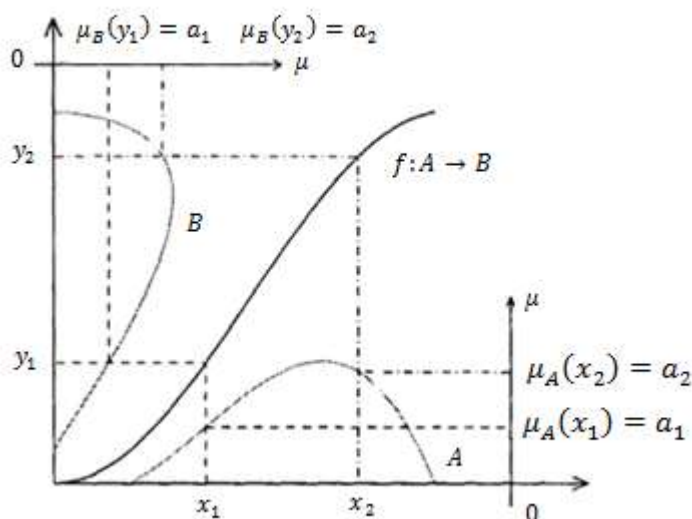
3.1.5 Neprecizitāte

Kvantitatīvā neprecizitāte. Lietderības un izvairīšanās no riska kvantitāti nosaka lietderības teorijā, pielietojot loterijas metodi (Keeney un Raiffa (1993)). Diemžēl nav izstrādāta formāla metode preferences noskaidrošanai (Bandemer (1993)). Tomēr inženieriem, kas darbojas attiecīgajā nozarē, no pieredzes ir zināmas mainīgo vērtību

pieņemamās robežas (Ward u.c. (1994)). Šādas pieņemamās robežas atbilst intervāliem, kuros preference ir lielāka par 0. Tas liecina, ka tā vietā, lai noteiktu preferenci μ_d katrai d vērtībai varētu būt dabiskāk (loģiskāk) to noteikt d intervāliem, kurus dēvē par α griezumumiem un kuros μ_d ir vienāds vai pārsniedz noteiktās preferences vērtības α . Intervālu lietošana veicina objekta informācijas, kuras pamatā ir kopa, nodošanu projektā iesaistīto inženieru vidū jau agrīnā projektēšanas procesa stadijā (Ward u.c. (1994)) un ļauj savlaicīgi paziņot iespējamās objekta datu kopas nākamajai inženieru grupai un nodot precīzāku projektēšanas informāciju. Šai pieejai ir daudz priekšrocību salīdzinājumā ar tradicionālo „punkts pa punktam” iterāciju projektēšanu. NM ļauj paplašināt uz kopām bāzēto paralēlo projektēšanu, sniedzot preferences informāciju attiecībā uz objekta iespējamo datu apgabalu.

Neprecizitātes aprēķini. Pēc tam, kad ir noteiktas optimizācijas parametru μ_{d_i} preferences uz X_i un prasības vai specifikācijas attiecībā uz mainīgo rādītāju sniegumu $\mu_{p_j}(p_j)$ kopā Y_j (un identificēta atbilstošā agregācijas funkcija (Scott un Antonsson (1995))), pirmais solis ir apkopot atsevišķos μ_{d_i} , lai iegūtu μ_d jeb kombinēto objekta preferenci. Tā kā optimizācijas parametrus var izvēlēties neatkarīgi citu no cita, tos apvieno ar *min*.

Tālāk μ_{d_i} inducē uz Y , pielietojot *Zadē paplašināšanas principu* (Zadeh (1965)):



Attēls 3.4 *Zadē paplašināšanas princips* (Zadeh (1965))

$$\mu_d(\vec{p}) = \sup_{\vec{d}: \vec{p} = \vec{f}(\vec{d})} [\mu_d(\vec{d})], \quad (3.10)$$

kur suprēms attiecībā pret tukšo kopu tiek noteikts kā nulle. $\mu_d(\vec{d})$ ir kombinētā objekta preference uz X , kas atšķiras no $\mu_d(\vec{p})$ – kombinētās objekta preferences, kura inducēta uz Y . $\mu_d(\vec{p})$ iegūst, projicējot (vai inducējot) $\mu_d(\vec{d})$ uz *SRT*.

Vienkāršs Zadē paplašināšanas principa viendimensijas piemērs ir parādīts Att. 3.4. Katrai optimizācijas parametra vērtībai d panākto snieguma rādītāju p nosaka funkcija f , kas šajā vienkāršajā piemērā ir attēlota kā līkne. Atbilstošo $\mu_a(d)$ var projicēt uz p , iegūstot $\mu_a(p)$, kas ir snieguma rādītāju telpā projicēta objekta preference (Att. 3.4 to atspoguļo pārtrauktās līnijas). Daudzdimensionālu projektēšanas uzdevumu gadījumā katrs p būs daudzu d funkcija, un katra funkcija f būs hipervirsmas.

Zadē paplašināšanas principa izskaitļošanai (un tādējādi $\mu_a(\vec{p})$ aprēķināšanai) tiek lietots *līmeņu intervāla algoritms* (LIA), ko pirmo reizi piedāvāja Dongs un Šahs 1987. gada publikācijā un Dongs un Vongs (arī 1987. gada publikācijā), nosaucot to par „izplūdušo vidējo svērto (IVS)” algoritmu, dēvētu arī par „virsošnes metodi”. Var izmantot arī nemonotonas un diskrētas funkcijas, kuras minētas šādos rakstos: Otto u.c. (1993a); Wood u.c. (1992), un ir aplūkotas tālāk.

3.1.6 Aprēķinu veikšana, algoritmi

Saskaņā ar iepriekš minēto viens no procedūras galvenajiem elementiem attiecībā uz neprecizitātes norādīšanu un manipulēšanu ar to inženierprojektēšanas jomā ir algoritms, lai inducētu preferences no neatkarīgiem mainīgiem atkarīgos mainīgajos.

Līmeņa intervāla algoritms (LIA) Literatūrā ir aprakstītas daudzas analītiskas metodes paplašinātu darbību veikšanai ar izplūdušajām kopām (vai izplūdušajiem skaitļiem). Izplūdušais vidējais svērtais (IVS) algoritms (Dong un Shah (1987); Dong un Wong (1987)) ir vienkāršs un efektīvs algoritms, kas nodar projektēšanas aprēķinu veikšanai. Minētais algoritms tālāk ir paplašināts, attiecinot to uz vispārinātām reālām funkcijām ar izplūdušiem mainīgajiem. Šo paplašināto formu dēvē par *līmeņa intervāla algoritmu* (LIA). LIA ievērojami vienkāršo aprēķinu procesu, proti diskretizējot funkcijas aprēķinu, ievadot izplūdušo skaitļu vērtības iepriekšnoteiktā α griezumam skaitā. Veicot intervālu analīzi katram α griezumam un apvienojot iegūtos intervālus, tiek iegūta diskretizēta izplūduši kopa – ievadāmo preferences funkciju snieguma parametru rezultāts projekta aprēķina gadījumam. Dongs un Vongs iekļauj arī kombinatorisku intervāla analīzes metodi, lai izvairītos no parametru vairākkārtējas parādīšanās problēmām dalīšanas un reizināšanas darbību veikšanai algebriskos vienādojumos.

Ir nosacījumi, kuriem jābūt izpildītiem, lai varētu piemērot algoritmu: preferences funkcijām ir jāizpilda normalitātes nosacījumi, jābūt izliktām, kā arī jābūt nepārtrauktām attiecībā uz optimizācijas parametriem \vec{d} ; attiecībā uz \vec{d} preferences funkcijās nedrīkst

parādīties singularitāte (t.i., nedrīkst būt darbība, kurā, piemēram, jādala ar nulli, $f_j(\vec{d})$ nedrīkst parādīties, piemēram, nulles argumenti rēķinot naturālos logaritmus, negatīvas izteiksmju vērtības zem kvadrātsaknes un tml.).

LIA paplašināšana iekšēju ekstrēmu gadījumos. LIA ir pielietojams tikai attiecībā uz reālas vērtības funkcijām f un atbilstošiem intervāla paplašinājumiem $F(X_0)$, kas neietver ierobežotu *ekstremumu vērtības* tekošā intervāla iekšpusē $X \in X_0$. Tas ir tāpēc, ka skaitļojot tiek izmantoti tikai ievadāmo parametru d_i $i = 1, \dots, n$ malējie punkti dotajā α griezumā. LIA paplašinājumu ieviesa Antonsons un Otto 1997. gadā, lai noteiktu pareizos ierobežojumus $P^{\alpha_j}(\vec{D}^{\alpha_j})$ noteiktam α griezumam α_j .

Šis paplašinātais LIA algoritms nerada pārrāvumus rezultāta preferencē, ko var izraisīt punkti ar neviennozīmīgu atbildi.

Optimizācija. Viens no būtiskākajiem LIA ierobežojumiem izriet no pieņēmuma, ka f_j ekstremālās vērtības parādīsies D_{α_k} n -kuba izgriezuma stūra punktos (Law un Antonsson (1995)). Algoritmu var uzlabot, mazinot šī pieņēmuma stingrību. Citādi formulētās problēmas mērķis ir atrast:

$$\begin{aligned} p_{j_{min}}^{\alpha_k} &= \min\{p_j = f_j(\vec{d}) \mid \vec{d} \in D_{\alpha_k}\} \\ p_{j_{max}}^{\alpha_k} &= \min\{p_j = f_j(\vec{d}) \mid \vec{d} \in D_{\alpha_k}\} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Ekstremālo vērtību atrašana apakštelpā ir optimizācijas uzdevums ar ierobežojumiem.

Kad mainīgo telpas D katrai dimensijai ir reālas vērtības, kuras ir tikai ierobežotas ar apakšējo un augšējo robežu, tad atbilstošo optimizācijas problēmu sauc par vienkārši ierobežotu nepārtrauktu optimizācijas uzdevumu. Dažkārt šos uzdevumus pieskaita optimizācijas uzdevumu klasei bez ierobežojumiem, jo tiem risināšanas algoritmi ir līdzīgi. Pārējie uzdevumi, kuriem nav tikai triviāli ierobežojumi, bet ir arī sarežģītāki, pieder pie optimizācijas uzdevumu klases ar ierobežojumiem.

Lēmumu pieņemšanas uzdevumi parasti ir uzdoti ar ierobežojumu kopumu, un tiek meklēts pieļaujama atrisinājums, kurš apmierina visus ierobežojumus. Nepārtraukto lēmumu pieņemšanas uzdevumu nav daudz. Pārsvārā ir jārisina NP-grūtie diskrētie lēmumu pieņemšanas uzdevumi. Kibernētikā tos sauc par *Ierobežojumu apmierināšanas uzdevumiem* (IAU). Tie tiek plaši pētīti arī resursu kalendārā plānošanā u.c. Izpildāmības uzdevumā visi ierobežojumi ir stingrie. Izšķir vēl nestingros ierobežojumus.

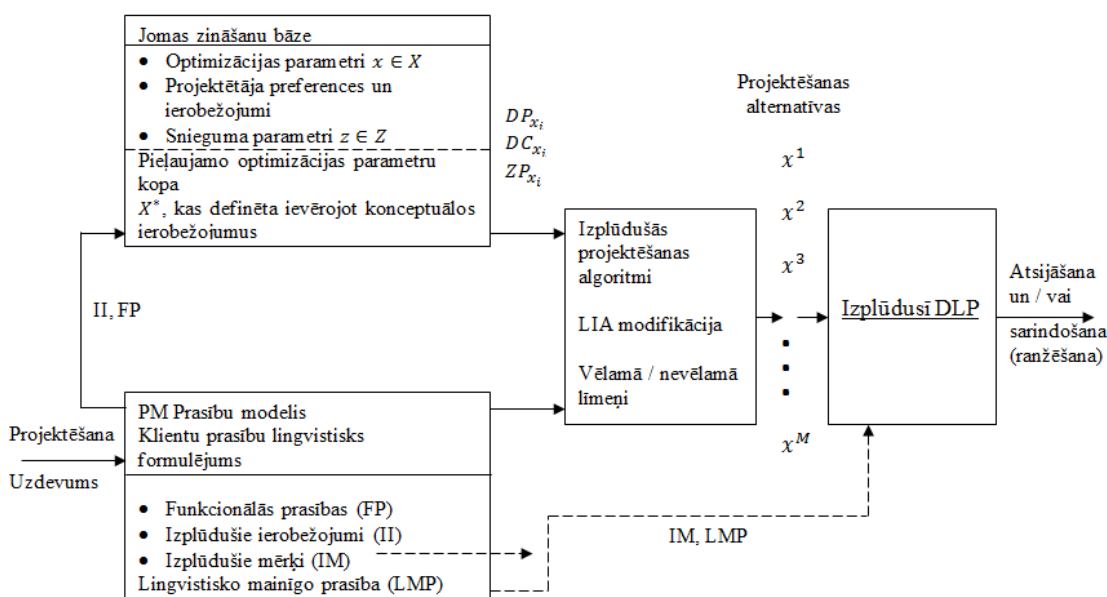
Tradicionālais izmantotais gradientu optimizācijas algoritms ir, piemēram, Pauela metode, kurā pēc katras iterācijas heuristiski tiek noteikts, vai ir jāaizstāj maksimālā

samazinājuma virziens ar rezultējošo virzienu, pa kuru pārvietojās pēdējās iterācijas laikā (Adby un Dempster (1974)).

Optimizācijas parametru noteikšanai var izmantot arī citas metodes, tai skaitā eksperimentu plānošanas metodi un atbildes virsmu metodi (Montgomery (2005); Auzinš un Januševskis (2007)).

3.2 Izplūdušās projektēšanas metode

Nodaļā 3.1 raksturotā NM ne tikai formalizē neprecizitāti tradicionālā pieejā projektēšanai, bet arī maina visu projektēšanas procesu, izmantojot izplūdušās kopas. Minētās kopas, kuras raksturo $\mu_{d_i}(d_i)$, $i = 1, \dots, n$ un $\mu_{p_j}(p_j)$, $j = 1, \dots, q$, veido pamatu vispārējās preferences noteikšanai, izmantojot operatoru P (dēvētu par agregācijas (apkopošanas) funkciju). No aprēķinu viedokļa efektīva Zadē paplašināšanas principa (paplašināta LIA) īstenošana tiek izmantota, lai veiktu skaitliskos aprēķinus ar mērķi inducēt projektētāja preferences snieguma telpā pirms agregācijas. Šeit pielietosim dažus galvenos NM aspektus un pievienosim vairākus citus, lai ilustrētu vēl vienu izplūdušās projektēšanas metodi.



Attēls 3.5 Izplūdušās projektēšanas metode (Zimmermann (1999))

- Tihs apskatīta optimizācijas parametru telpa X , un ir iespējama papildus ierobežojumu pievienošana, lai noteiktu pieļaujamo projektēšanas objektu apakškopu X^* .
- Projektētāju un pasūtītāju preferences var attiecīgi formulēt, izmantojot lingvistiskus mainīgos. Tādējādi tiek nodrošināts neprecīzs lingvistiskais lietotāju interfeiss, lai formulētu funkcionālās prasības, mērķus un ierobežojumus.

- c) Tā vietā, lai izmantotu funkciju (operatoru) P kombinācijas, kuras īsteno visu preferenču (kas noteiktas ar NM) agregāciju, tiek izmantoti sniegumu vēlamie (aspiration) un nevēlamie (reservation) līmeņi, lai atlasītu pieļaujamo projektēšanas alternatīvu kopu. Minētie līmeņi var būt precīzi skaitļi vai lingvistiski termini, kas noteikti ar attiecīgo izplūdušo kopu starpniecību. Attēlā 3.5 parādīta izplūdušās projektēšanas metodes (IPM) vispārējā arhitektūra (Zimmermann (2001)).

Zināšanu bāzi iedala:

- a) jomas zināšanu bāzē un
- b) lietotāja prasību zināšanu bāzē.

Jomas zināšanu bāzē tiek atspoguļots vispārējs mums aktuālās jomas modelis.

Piemēram, ir „automobiļu” zināšanu bāze, kuru veido taksonomijas (hierarhiskās klasifikācijas), optimizācijas parametri, snieguma parametri un ierobežojumi. Prasību modelis ir arī dzan vispārējs tipveida modelis, kas iepriekš nosaka visas iespējamās pasūtītāju prasības attiecībā uz aktuālo apskatāmo jomu. Proti, iepriekš tiek noteikts ierobežots FP, II, IM un LMP kopums.

Tālāk lietotājs formulē projektēšanas uzdevumus, izvēloties prasības no ierobežotā kopuma. Tad sistēma spēj veidot uzdevuma projektēšanas modeli, ģenerējot jomas zināšanu modeļa un prasību modeļa eksemplārus.

Šis modelis tiek izmantots izplūdušās projektēšanas algoritmā, kas ir LIA pieejas modifikācija un vairāku vēlamā un nevēlamā līmeņu tipu kombinācija, kas iegūti, izmantojot prasības modeļa eksemplāru. Rezultātā tiek iegūta pieļaujamo projektēšanas alternatīvu kopa, kas tālāk tiek transformēta izplūdušajā DLP, lai veiktu atsijāšanu un/vai sarindošanu (ranžēšanu). Izplūdušajā DLP tiek izmantots arī izplūdušais mērķis un lingvistisko mainīgo prasības. Agregācija tiek veikta ar izplūdušo DLP, nevis ar izplūdušās projektēšanas algoritmu.

Tālāk tiek sniegta detalizētāka informācija par:

- a) jomas zināšanu bāzi;
- b) prasību modeli;
- c) izplūdušās projektēšanas algoritmu;
- d) DLP metodēm.

3.2.1 Jomas zināšanu bāze

Projektējamus objektus raksturo n optimizācijas parametri x_i , $i = 1, \dots, n$. $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ apzīmē projektēšanas vektoru, kur x_i raksturo reālu skaitli (precīzo jeb strikto

gadījumu), izplūdušu kopu vai lingvistisku mainīgo. Tiek pieņemts, ka $x_i \in X_i$ un $X, x \in X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, apzīmē optimizācijas parametru telpu (OPT). Pastāv projektēšanas objektu hierarhija, ko nosaka konkretizācija (*ir*) un uzbūves sakarības (sastāv no daļām, *ir daļa no*).

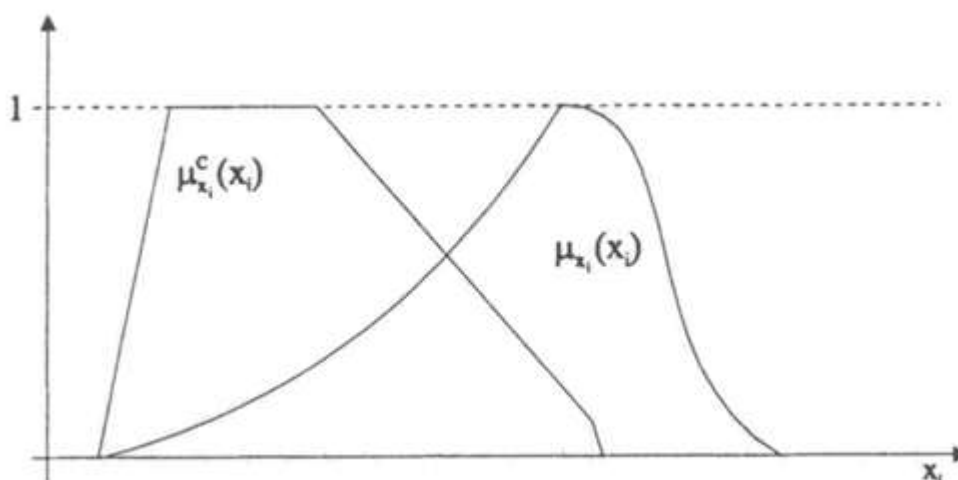
Piemēram, ja nav noteikts neviens no parametriem x_i , x apzīmē vispārēju objektu (klasi), bet, ja visiem parametriem x_i piešķir konkrētu vērtību no kopas X_i , tad objekts ir eksemplārs (indivīds). Turklāt pastāv iespēja, ka ir formulēti ierobežojumi uz optimizācijas parametriem x_i , kurus dēvē par konceptuālajiem ierobežojumiem, jo tos nosaka konceptuālā (vispārējās klases) līmenī. Minētie ierobežojumi nosaka pieļaujamo projektēšanas objektu apakškopu $X^* \subseteq X$. Savukārt katram objektam ir zināma pieļaujamības pakāpe. (Te netiek aplūkoti šī tipa izplūdušie ierobežojumi.) Tagad pieņemsim, ka x_i ir vai nu precīzs reāls parametrs vai arī lingvistisks mainīgais. Tādā gadījumā, izmantojot izplūdušās kopas, var modelēt preferences un ierobežojumus šādi (Zimmermann (2001)):

- a) $PP_{x_i} = \left\{ \left(x_i, \mu_{x_i}(x_i) \right) \mid x_i \in X_i \right\}$ ir izplūduši kopa, kas nosaka projektētāju preferenci uz x_i .
- b) $PI_{x_i} = \left\{ \left(x_i, \mu_{x_i}^C(x_i) \right) \mid x_i \in X_i \right\}$ ir izplūduši kopa, kas nosaka ierobežojumu uz x_i .

Att. 3.6 ir parādītas abas izplūdušās kopas reāla parametra x_i gadījumā.

Prasības PP_{x_i} un PI_{x_i} ir jāmodelē, izmantojot atbilstošu „un” loģisko operatoru (Zimmermann un Sebastian (1994)).

Snieguma parametrus apzīmē ar $z_j, j = 1, 2, \dots, m$, kur $z_j \in Z_j$ ir reāli skaitļi, izplūdušās kopas vai lingvistiski mainīgie. Z_j ir iespējamo snieguma vērtību kopa. z_j mēra projektēšanas objektu sniegumu jeb atbildi (kvalitāti). Ja ar x tiek apzīmēts projektēšanas objekts, tad katram j ir skaidri definēta funkcija f_j , kurā attiecīgi $z_j = f_j(x)$, un ar f_j var realizēt unikālu projicēšanu no X uz Z_j . Projektējamā objekta vispārējo sniegumu raksturo vektors $z = (z_1, z_2, \dots, z_m) \in Z = Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_m$. Z tiek saukts par snieguma rādītāju (atbilžu) telpu (SRT).



Attēls 3.6 Izplūdušās preferences mainīgajam x_i

Vienkāršā ilustratīvā piemērā izmantosim divus snieguma parametrus ar reālām vērtībām:

$z_1 = ms$ ir maksimālais automobiļa ātrums

$z_2 = t(0,100)$ ir laiks, kas automobilim nepieciešams, lai sasniegtu ātrumu no 0 līdz 100 km/h.

Projektējamie objekti $x \in X$ ir automobiļi, kurus raksturo konkrētai automobiļu kopai X piederošu optimizācijas parametru x vektori. Izvēlamies $Z_1 = [0,300km/h]$ un $Z_2 = [0,20sek.]$. Protams, var izvēlēties parametrus z_1, z_2 arī kā snieguma parametrus.

Tomēr nespeciālisti vai cilvēki, kas vēlas izmantot neprecīzus nosacījumus, formulējot snieguma prasības, drīzāk izvēlēsies pieprasīt ātru automobili, nevis precīzi noteikt z_1 un z_2 . Tāpēc nosakām izplūdušo kopu „ātrs automobilis” kā:

$$\text{Ātrs} - \text{automobilis} = \{(x, \mu(x)) \mid x \in X, \mu(x) = \mu_{FC}^*(ms, t(0, 100))\}$$

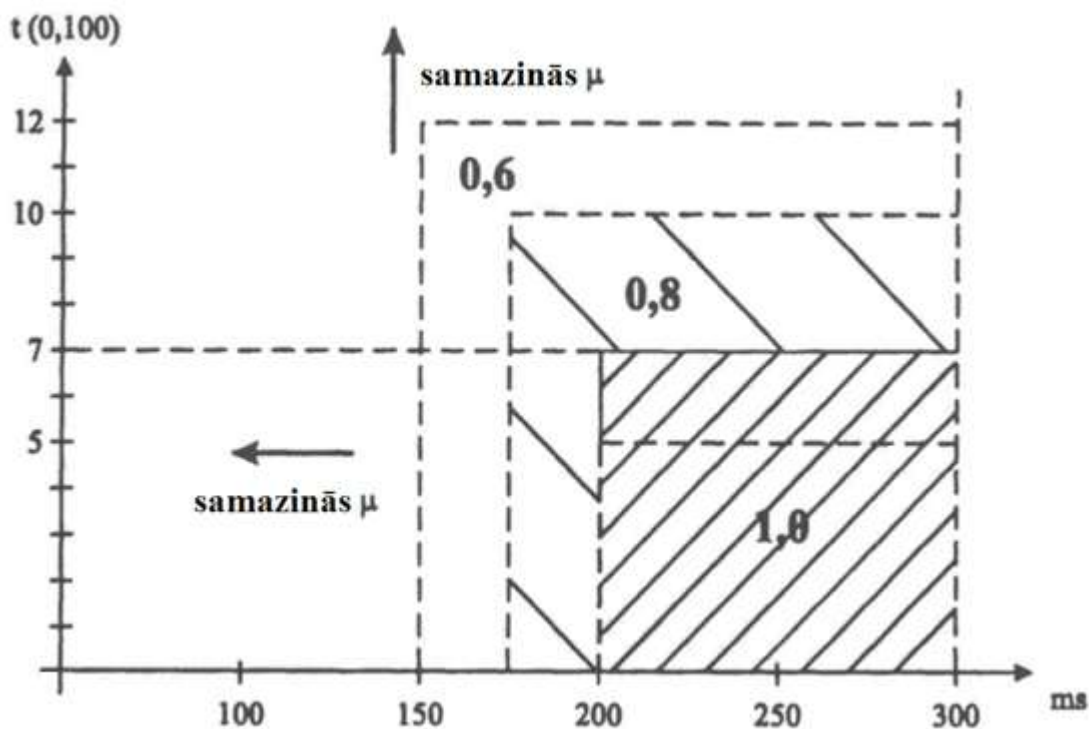
μ_{FC}^* apzīmē divdimensiju piederības funkciju, kuru varētu definēt, nezinot x , bet izskatot tikai abus parametrus ms un $t(0, 100)$. Bet, ja x ir dots kā pilnīgi noteikts vektors – eksemplārs, tad $ms(x) = f_1(x)$, $t(0, 100) = f_2(x)$ ir zināmi, un līdz ar to ir zināms arī $\mu(x)$. Att. 3.7 ir sniegts piemērs.

Līdzīgi neprecizitātes metodei, tiek ieviestas izplūdušās kopas, kuras atspoguļo klientu preferences attiecībā uz snieguma parametru:

$$ZP_{z_j} = \{(z_j, \mu_{z_j}(z_j)) \mid z_j \in Z_j\} \quad (3.12)$$

Šāda definīcija ir īpaši pamatota, ja z_j ir precīzs (strikts) parametrs ar reālu vērtību. Ja z_j ir lingvistisks parametrs, iespējams definēts ar terminiem: zems, vidējs, augsts (piemēram,

automobiļa cena), tad var ievest izplūdušo kopu, izsakot klienta preferenci automobiļa zemas, vidējas vai augstas cenas veidā, neapskatot reālo cenu mērogu.



Attēls 3.7 Divdimensiju piederības funkcija (Zimmermann (1997))

3.2.2 Prasību modelis

Iepriekš tika parādīts, kā izplūdušās kopas var izmantot, lai iegūtu neprecīzas lingvistiskas prasības no precīziem reāliem snieguma parametriem, lai panāktu cilvēkiem raksturīgāku veidu klienta projektēšanas prasību atspoguļošanai. Tomēr tādas izplūdušās kopas kā „ātrs automobilis”, „drošs automobilis”, „energoefektīva māja” u.tml. var izmantot, lai iegūtu funkcionālās prasības (FP), izplūdušos ierobežojumus (II), izplūdušos mērķus (IM) vai prasības, kuras tiek formulētas lingvistisko mainīgo (LMP) veidā.

1) Funkcionālās prasības

Nepietiek ar prasības (piemēram, ar projektēšanas objekta vēlamu funkciju saistītas prasības) raksturošanu, definējot izplūdušu kopu. Piemēram, „ātru automobili” vai „drošu automobili” var atspoguļot ar izplūdušu kopu starpniecību, izmantojot reālus snieguma parametrus precīzu pamatkopu raksturošanai. Tomēr „ātra automobiļa” vai „droša automobiļa” semantika ir saistīta arī ar noteiktām komponentēm (vai šādu komponentu specializāciju), kurām jāpiemīt projektēšanas objektam (automobilim). Piemēram, „drošs automobilis” papildus izplūdušās

kopas raksturojumam (izplūdušā kopa attiecībā uz X) nozīmē, ka automobilim jābūt aprīkotam, piemēram, ar komponentēm „divas neatkarīgas bremžu sistēmas”, „drošības jostas”, „labas riepas”, savukārt automobilim būtu jābūt aprīkotam ar vienu vai diviem drošības spilveniem, kuru „vēlamības pakāpe ir, piemēram, 0,8”. Vēl uz bremzēm varētu attiecināt specifisku prasību par ABS (bremžu pretbloķēšanas sistēma).

Mēs nosakām, ka trīs iepriekš minētie nosacījumi:

$$FR = (x \in FS, x \text{ ir komponentes, kas ir piederīgas } OC, X^{**} \in X^*)$$

ir izplūdušas projektēšanas prasība, kur:

- FS ir izplūdusi kopa, kas izteikta, balstoties uz reāliem snieguma parametriem, vai izplūdusi kopa, kas ir vienāda ar snieguma parametru,
- OC ir optimālo komponentu izplūdusi kopa, kur katrai komponentei ir noteikta piederības pakāpe projektēšanas objektam x , un
- X^{**} raksturo pieļaujamo projektējamā objektu X^* kopas apakškopu.

Šajā gadījumā x izmanto kā attiecīgā projektējamā objekta nosaukumu, tāpēc netiks izskatītas x komponentes.

Svarīgākais iepriekš ievestais izplūdušās projektēšanas prasību uzdevums ir modelēt atkarības pakāpi starp neprecīzu lingvistisku izteicienu, piemēram, „drošs automobilis”, un komponenti jeb specififikācijas struktūru, kas tiek pieprasīta ar šo izteicienu. Tomēr izplūdušu kopu var izmantot arī, lai modelētu pamatprasību, pielietojot izplūdušu ierobežojumu vai izplūdušu mērķi.

2) Izplūduši ierobežojumi un izplūduši mērķi

Atkal tiek apskatīts vienkāršais ilustratīvais piemērs, kur ms apzīmē snieguma parametru (rādītāju) „maksimālais ātrums” un $ms(x)$ nozīmē objekta automobilis, kas tiek apzīmēts ar x , maksimālo ātrumu. Jāapskata $ms(x)$ kopā ar neprecīzo lingvistisko izteicienu „ātrs automobilis”, lai izskaidrotu „ierobežojumu”.

Precīzu ierobežojumu var formulēt kā $ms(x) \geq 190 \text{ km/h}$

Izplūdis ierobežojums ir (saskaņā ar izplūdušo kopu „ātrs automobilis”) „ x ir pieļaujams ar pakāpi $\mu_{II}(ms)$ ” kur, piemēram:

$$\mu_{II}(ms) = \begin{cases} 0, & \text{ja } ms(x) \leq 170 \\ \in [0, 1], & \text{ja } 170 \leq ms(x) \leq 190 \\ 1, & \text{ja } ms(x) \geq 190 \end{cases} \quad (3.13)$$

Pielietojot šāda veida precīzās robežas 190 km/h relaksāciju starp pieļaujamo un nepieļaujamo, iegūstam gludu pāreju. Nosakām, ka izplūdušais ierobežojums (II) ir izplūdusi kopa (IK), kur piederības funkcija $\mu_{FC}(x)$, nozīmē projektējamā objekta x pieļaujamības

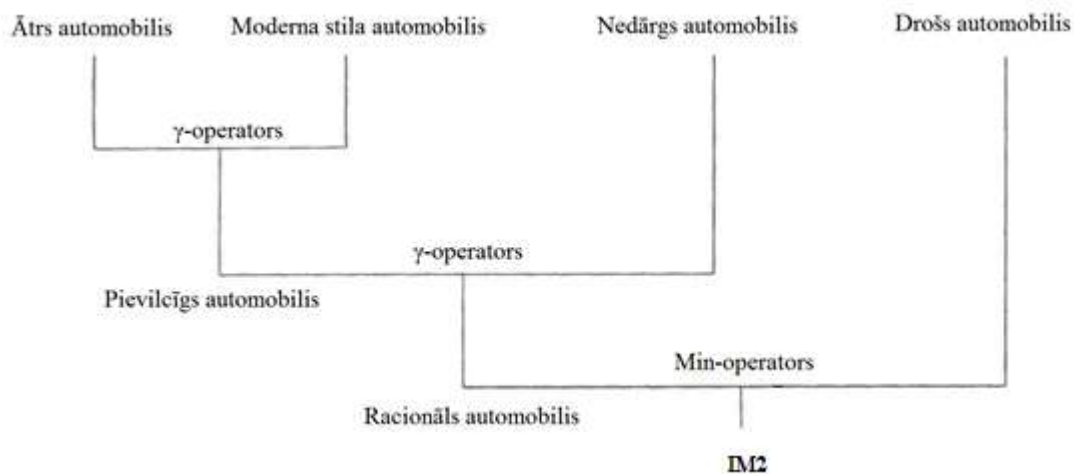
pakāpi. Vēl prasības var modelēt kā izplūdušos mērķus, un šajā gadījumā projektētājs vēlas maksimizēt reālu vērtību funkciju attiecībā pret X , ar ko tiek noteikts (mērīts) lietderīgums.

Vēlreiz apskatīsim neprecīzās prasības „ātrs automobilis”, „drošs automobilis”, „automobilis ar modernu dizainu” un „nedārgs automobilis”, ko atspoguļo izplūdušās kopas attiecībā pret automobiļu x pamatkopu X . Tālāk tiek raksturotas vairākas atšķirīgas pieejas, lai izmantotu šādas izplūdušās kopas izplūdušu mērķu modelēšanai.

- 1) Izplūdušo mērķi raksturo izplūdusi kopa. Jāveic īpašu izplūduma novēršanu (*defuzzification*) šādā veidā: atrast tādu $x \in X$, ka $\mu_{I_1}(x) \rightarrow \max$ ar $\mu_{I_1}(x)$ kā izplūdušās kopas piederības funkciju.

$IM_1 = \text{ātrs automobilis} \wedge \text{drošs automobilis} \wedge \text{automobilis ar modernu dizainu} \wedge \text{nedārgs automobilis}$
 piemēram, $\mu_{IM_1}(x) = \min(\mu_{\bar{A}-A}(x), \mu_{D-A}(x), \mu_{AAM-D}(x), \mu_{N-A}(x))$

Vēl viena iespēja ir apskatīt *agregācijas (apkopošanas) koku* (skat. Att. 3.8). Apkopojot „ātru” un „ar modernu dizainu”, iegūstam „pievilcīgumu”. „Pievilcīgums” un „ne-dārdzība” tiek apkopoti, lai iegūtu „racionalitāti”. Visbeidzot „racionalitāti” un „drošību” apkopo, lai definētu mērķi IM_2 . Minētajā apkopošanā tiek izmantots *kompensējošs operators* pirmajos divos līmeņos un *nekompensējošs operators* (min) pēdējā līmenī.



Attēls 3.8 Agregācijas (apkopošanas) koka piemērs

Izplūdušu mērķi (IM) definē ar atbilstošu izplūdušu kopu, kur tiek meklēts tāds $\hat{x} \in X^$, ar ko piederības funkcija sasniedz maksimālo līmeni:*

$$\mu_{IM}(\hat{x}) = \max_{x \in X^*} \mu_{IM}(x) \quad (3.14)$$

- 2) Vēl viena iespēja ir *lingvistiskā parametra* pieeja izplūdušo mērķu definēšanai (LPP 3.5. attēlā). Piemēram, „maksimālais ātrums” ir lingvistisks parametrs attiecībā uz terminiem (mazs, vidējs, liels, ļoti liels), savukārt izplūdušo mērķi var definēt pēc „vidējs V liels”. Arī šajā gadījumā izplūduma novēršanas rezultātā mēs maksimizējam

„vidējs V liels” dalības pakāpi attiecībā pret X , izmantojot izplūdušās kopas „maksimālais ātrums = vidējs” un „maksimālais ātrums = liels” (Sebastian (1996)).

3) Izplūdušās projektēšanas prasības modeļa noteikšana.

3.5. att. tika ilustrēta IPM arhitektūra un sniegts īss pārskats par prasību veidiem FP , II , IM un LMP . Aplūkojot jautājumu par prasību modeļa iegūšanu konkrētā gadījumā, tiek lietoti apzīmējumi:

- a) IPP_j – izplūdušās projektēšanas prasība j , kas definēta ar vārdiem, ir izplūdusi kopa, kura ietver papildus nepieciešamo komponentu kopu un specializēto objektu kopu,
- b) II_k – izplūdušais ierobežojums k , kur $k \in K$, un K ir rādītāju kopa. II_k ir izplūdusi kopa un μ_{FC_k} definē ar vērtībām x uzdota objekta „pieļaujamības pakāpi”,
- c) IM_l – izplūdušais mērķis l , kur $l \in L$, un L ir rādītāju kopa, IM_l ir izplūdusi kopa un μ_{FC_l} raksturo objekta ar vērtībām x „vēlamības pakāpi”.

Tiek pieņemts, ka kopas K un L ir zināmas. Tas nozīmē, ka visi iespējamie izplūdušo ierobežojumu vai izplūdušo mērķu kandidāti ir iepriekš jādefinē zināšanu bāzē. Visbeidzot modelēšanas atbalsta sistēma palīdz izlemt, kuri no kandidātiem tiks attiecīgi izmantoti kā izplūduši ierobežojumi vai izplūduši mērķi konkrētā gadījumā.

Tālāk tiek dots algoritms šīs koncepcijas īstenošanai.

Modeļa konfigurācija

Algoritms prasību modeļa (PM) veidošanai

1. Jāizvēlas mērķa sistēmu (piemēram, automobilis) no konceptuālās hierarhijas.
2. Jāizvēlas izplūdušās projektēšanas prasības IPP_j , proti, izplūdušās kopas F_j no visu mērķa sistēmas (objekta) īpašību kopuma konceptuālajā hierarhijā.
 - a) jādefinē J kā IPP_j rādītāju kopu, $j \in J$;
 - b) jānosaka papildu komponentu un specializēto objektu, kas saistīti ar IPP_j , kopu visiem $j \in J$. (Izmantojot konceptuālos ierobežojumus, jāmeklē neatbilstības un jārisina konfliktus.)
3. Jāizvēlas no visu īpašību kopas tādas lingvistiskus izteicienus, kas varētu kļūt par izplūdušiem ierobežojumiem vai izplūdušiem mērķiem. (Izmantojot iepriekš noteiktas kopas K un L . Arī F_j , $j \in J$ automātiski pretendē uz izplūdušu ierobežojumu vai izplūdušu mērķu statusu.) Sākotnējā modelī jānosaka izplūdušos ierobežojumus un izplūdušos mērķus II_k , $k \in K^* \subseteq K$ un IM_l , $l \in L^* \subseteq L$

3.2.3 Izplūdušās projektēšanas algoritms

Saskaņā ar Att. 3.5 ir vairāki veidi, kā formulēt dažādas izplūdušās projektēšanas algoritmu versijas atkarībā no attiecīgās ailes satura Att. 3.5.

1. LIA algoritma modifikācijas, pievienojot vēlmju/iebildumu līmeņus (ieeja: projektētāja un klienta preferences no zināšanu bāzes, vēlmju/iebildumu līmeņi no PM).
2. Belmana -Zadē jeb izplūduma mazināšanas (Defuzzification) pieejas (II un IM no PM un ierobežots projektēšanas alternatīvu kopums, kas ir pieļaujams attiecībā uz X^*) (Bellman un Zadeh (1970)).
3. Izplūdušā DLP (ieeja: ierobežots projektēšanas alternatīvu kopums no izplūdušās projektēšanas algoritma un IM/LMP no PM. Šajā pieejā tiek pieņemts, ka izplūdušās projektēšanas algoritma veidošanai kā ieejas tiek izmantoti tikai II, savukārt IM/LMP tiek izmantoti izplūdušajā DLP (Chen un Hwang (1992)).

LIA modifikācijas. Šeit piedāvāto LIA modifikāciju pamatā ir detalizēts projektēšanas objektu x apraksts, izmantojot optimizācijas parametru x_i no zināšanu bāzes, kur:

1. Visiem $i: x_i \in X_i, i = 1, 2, \dots, n$
 $X^* \subseteq X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ ir dots,

$\mu_{x_i}(x_i)$ apzīmē projektētāju preferenci attiecībā uz optimizācijas parametriem, kur x_i var būt reāls (ar reālu vērtību) vai lingvistisks ar terminu saistīts mainīgais.

2. $z_j = f_j(x)$ ir reāli snieguma parametri (rādītāji), $z_j \in Z_j \subseteq R^1, j = 1, 2, \dots, m$ un $J', J' \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$. J' apzīmē J apakškopu. f_j apzīmē projicēšanu no x uz $Z_j \subseteq R$. Ja ir paredzēts maksimizēt z_j , tad ir jāzin:
 - a) iebildumu līmenis r_j un
 - b) vēlmju līmenis a_j ,

kurus ir formulējuši klienti. Līmeņus nosaka šādi:

- a) iebildums: ja $z_j = f_j(x) < r_j$, tad x nav pieļaujams;
- b) vēlme: ja $z_j = f_j(x) \geq a_j$, tad klients ir pilnībā apmierināts.

Ja PM attiecībā uz z_j ir noteikts kā izplūdis ierobežojums, tad no šī ierobežojuma ir pietiekoši vienkārši noteikt vēlmju un iebildumu līmeņus.

Jāatzīmē, ka:

- a) Ir tādi optimizācijas parametri, kas neatspoguļo sniegumu, tomēr klientam varētu arīdzan būt preferences attiecībā uz šādu optimizācijas parametru. Tāpēc tiek

izmantots termins „projektētāju/klientu preferences” attiecībā uz optimizācijas parametriem.

- b) Te netiek apskatītas izplūdušas kopas, kas raksturo klientu preferences attiecībā uz snieguma parametriem. Tā vietā, lai pēc iespējas samazinātu darbietilpību, tiek izvēlētas tikai divas vērtības – r_j un a_j katram $j \in J' \subseteq J$.

Izplūdušās projektēšanas algoritma 1. variants. Tiek aprakstīts algoritms, kas ļauj iegūt ierobežotu projektēšanas alternatīvu kopu. 3.9. attēlā ir parādīts piemērs ar trīs optimizācijas parametriem, kas ilustrē α griezuma pieeju.

1. Inicializēšana:

$\alpha := 1$, jāizvēlas operatoru (min, reizinājums), jāizvēlas optimizācijas parametru apakškopu $I' \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$ ar augstāko prioritāti, jāizvēlas snieguma parametru (rādītāju) apakškopu $J \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$, kuru vēlmju un iebildumu līmenis ir atbilstoši a_j un r_j . Jāizvēlas vēlamo alternatīvu x skaitu N .

2. Jāaprēķina $S_{\alpha,i}$ visiem $i \in I$.

3. Jāatkārto, līdz visi $x'_i \in S_{\alpha,i'}$, $i' \in I'$ ir izskatīti vai ir sasniegts N .

Visiem $i' \in I'$ jāizvēlas $x_{i'}$, $x_{i'} \in S_{\alpha,i'}$.

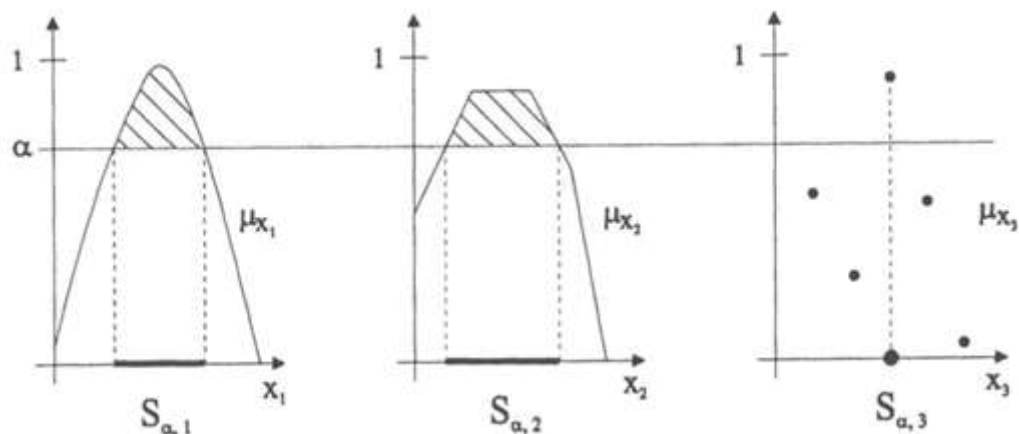
Jāaprēķina x_i visiem $i \in \{1, 2, \dots, n\} \setminus I'$, lai:

- a) $x_i \in S_{\alpha,i}$,

- b) $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X^*$ (pieļaujams),

- c) $z_j = f_j(x)$ īsteno vēlmju/iebildumu līmeņus visiem $j \in J'$, paplašinot ierobežojumus.

4. Ja $\sum_{\beta=1}^{\alpha} N_{\beta} < N$ un $\alpha > \min \alpha$, tad piešķir $\alpha := \alpha - \Delta \alpha$, un pāriet uz 2. soli vai pretējā gadījumā „jārāda rezultātus x ”.



Attēls 3.9 α griezumi trīs optimizācijas parametru gadījumā

Visi N_α risinājumi x , kas tiek atrasti cikla 3. solī ir pieļaujami un pieder optimizācijas parametru α griezumiem un izpilda vēlmju/iebildumu līmeņu ierobežojumus.

Šajā algoritmā tiek uzskatīts, ka f_j funkcijas ir precīzas (striktas). Šai algoritma pirmajā variantā netiek apskatītas inducētās optimizācijas parametru preferences snieguma telpā, izmantojot Zadē paplašinājuma principu. Tas tiks īstenots otrajā variantā.

Izplūdušās projektēšanas algoritma 2. variants. Galvenā ideja (Zimmermann (1999)) ir izveidot kopīgu projektētāja/klienta preferences funkciju, pielietojot ierobežotu LIA pieeju, sākot ar vēlmju/iebildumu līmeņiem. Tādējādi tiek pieņemts, ka katram snieguma parametram z_j klienta preference attiecībā uz z_j tiek uzdots ar izplūdušu kopu. Algoritma pirmajā variantā tiks veiktas šādas izmaiņas:

- 1) Jāizvēlas $I' = \{1, \dots, n\}$.
- 2) Jāaprēķina $S_{\alpha,1}, \dots, S_{\alpha,n}$ dažiem $\alpha, \alpha \in \{\alpha_0, \alpha_0 - \Delta\alpha, \dots, \min \alpha\}$.
- 3) Pirms izvēlas tādu x , kurā $x_i \in S_{\alpha,i}, i = 1, 2, \dots, n, x \in X'$ ir jāaprēķina inducētie α griezumi attiecībā uz snieguma preferencēm no projektētāja preferenču α griezumiem (attiecībā uz optimizācijas parametriem), pielietojot LIA vai paplašinātu LIA (skat. 3.1.7 nodaļu).

Apskatīsim atsevišķu šīs pieejas realizāciju, kuras aprēķinu sarežģītība nav augsta.

1. Ievedīsim apzīmējumus:
 - α^{**} vēlmju līmenis attiecībā uz projektētāju preferencēm un
 - α^* iebildumu līmenis attiecībā uz projektētāju preferencēm.

$$1 \geq \alpha^{**} > \alpha^* \geq \min \alpha$$

Šeit vēlmju/iebildumu līmeņus izvēlas kā piederības funkcijas vērtības, nevis snieguma vērtības, kuras tika apskatītas pirmajā algoritmā.

Jāizvēlas $S_{\alpha^{**},i}, S_{\alpha^*,i}; i = 1, 2, \dots, n$, kur $S_{\alpha^{**},i} \supseteq S_{\alpha^*,i}$.

2. Izmantojot LIA, tiek aprēķināti snieguma preferenču inducētie α griezumi no $S_{\alpha^{**},i}, S_{\alpha^*,i}$. Katram $j, j = 1, 2, \dots, m$ un $z_j = f_j(x) \in Z_j, Z_j \subseteq R$ iegūst:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_j^{\alpha^*} &= [z_{j,min}^{\alpha^*}, z_{j,max}^{\alpha^*}] \\ \tilde{P}_j^{\alpha^{**}} &= [z_{j,min}^{\alpha^{**}}, z_{j,max}^{\alpha^{**}}] \end{aligned} \quad (3.15)$$

3. Tiek pieņemts, ka katram z_j ir apakšintervāls Z_j ,

$$r_{j,\alpha^*} \leq z_j \leq a_{j,\alpha^{**}} \quad (3.16)$$

kur r_{j,α^*} apzīmē iebildumu vērtību līmenī α^* un $a_{j,\alpha^{**}}$ nozīmē vēlmju vērtību līmenī α^{**} .

Tad iegūst:

- kopīgos vēlmju/iebildumu līmeņus:

$$\begin{aligned} r_j &:= \max(r_{j,\alpha^*}, z_{j,\min}^{\alpha^*}) \\ a_j &:= \min(z_{j,\max}^{\alpha^*}, a_{j,\alpha^{**}}) \end{aligned} \quad (3.17)$$

un

- kopīgās preferences funkcijas intervālu:

$$\begin{aligned} r'_j &:= \min(r_{j,\alpha^*}, z_{j,\min}^{\alpha^*}) \\ a'_j &:= \max(z_{j,\max}^{\alpha^{**}}, a_{j,\alpha^{**}}) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Tālāk ir iespējamās divas pieejas:

1. Jāizvēlas apakškopu $J' \subseteq J$

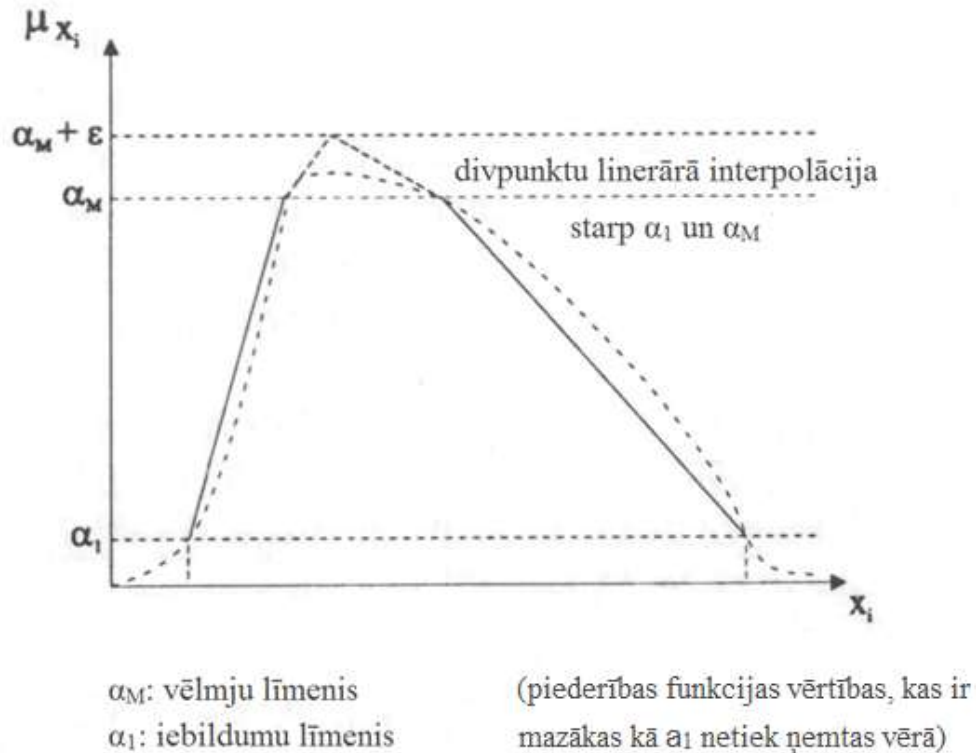
Jāatrod tādu x , ka:

- $x_i \in S_{\alpha^*,i}$, $i = 1, 2, \dots, n$
- $x \in X^*$,
- $r_j \leq f_j(x) \leq a_j$ attiecībā uz $j \in J'$

2. Jāaprēķina kopīgās piederības funkcijas $\mu_{z_j}^*(z_j)$ attiecībā uz $r'_j \leq z_j \leq a'_j$ priekš $j \in J'$, izmantojot operatoru (piemēram, „min” vai „reizinājuma” operatori). (Tas nodrošina $\alpha^* \leq \mu_{z_j}^*(z_j) \leq \alpha^{**}$ attiecībā uz $[r'_j, a'_j]$.)

Atrast tādu x , ka:

- $x_i \in S_{\alpha^*,i}$
- $x \in X^*$,
- $\mu_0^* = P\left(\mu_{z_{j_1}}^*(z_{j_1}), \dots, \mu_{z_{j_k}}^*(z_{j_k})\right) \rightarrow \max, J' = \{j_1, j_2, \dots, j_k\}$.

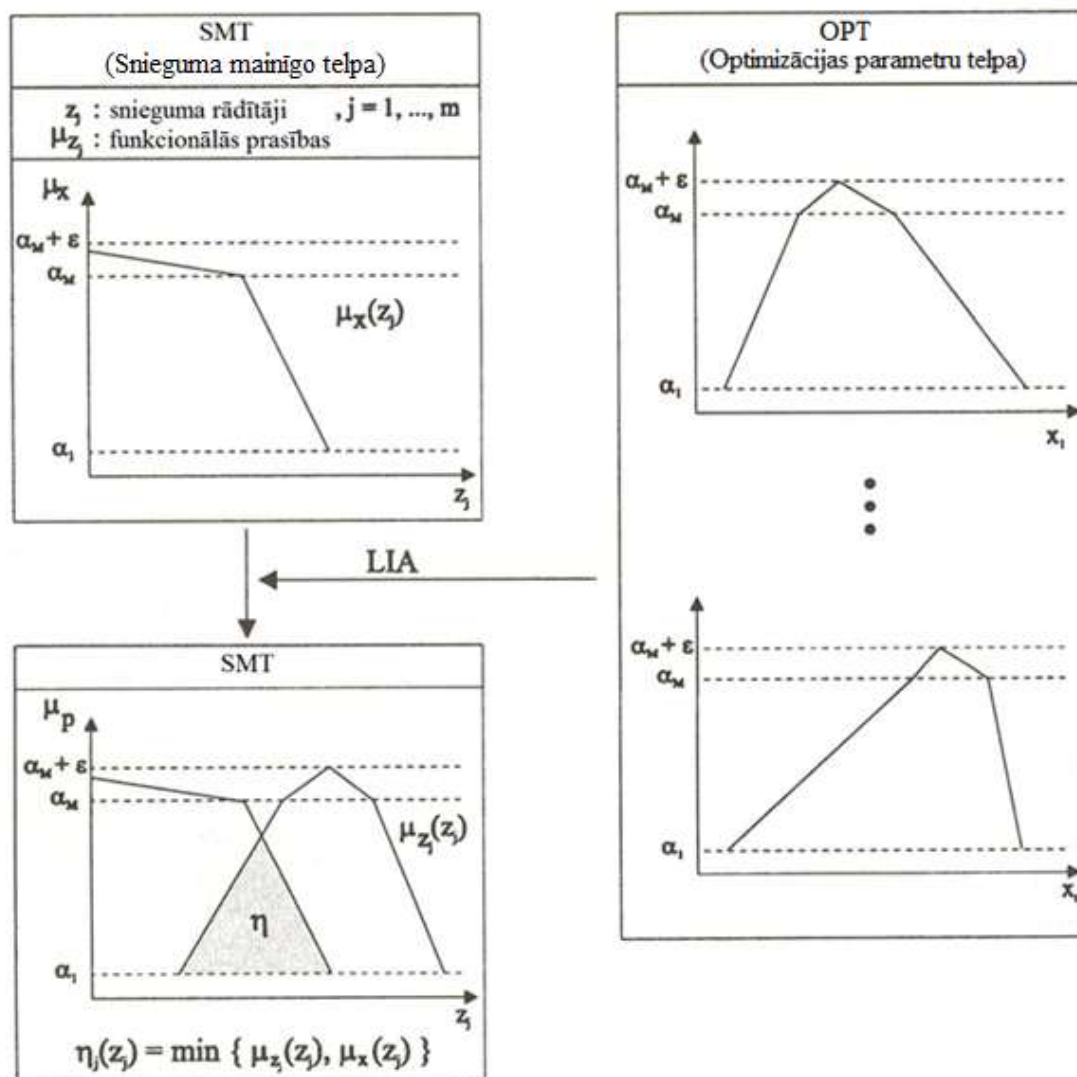


Attēls 3.10 Divpunktu interpolācija

Pirmā pieeja nozīmē, ka ir jārisina optimizācijas problēma ar striktu (precīzu) ierobežojumu. Šī problēma ir risināma kā ierobežojumu apmierināšanas problēmliķne. Otrā pieeja ir optimizācijas problēma (pēc kopējās piederības funkciju $\mu_{z_j}^*(z_j)$ aprēķināšanas attiecībā uz $[r'_j, a'_j]$). Tomēr problēmu ir iespējams modificēt tā, ka ir jāaprēķina n-labāko risinājumu kopa.

Izplūdušās projektēšanas algoritma 3. variants. To ir izstrādājis R. Brēms. Šis variants tiks īsi aprakstīts un paskaidrots vairākos attēlos, kuros tiks izklāstīta galvenā doma. Detalizēts apraksts ir sniegts Brēma publikācijā (Brehm (1997)). Tā ir iteratīva pieeja, kuras mērķis ir izveidot ierobežotu projektēšanas alternatīvu kopu. Tomēr pretēji abiem iepriekš aprakstītajiem variantiem tā nereducējas nedz uz ierobežojuma apmierināšanas uzdevumu, nedz uz optimizācijas problēmu. Tajā ir izmantots īpašs piederības funkcijas veids, lai būtu iespējams izmantot inverso LIA algoritmu – LIA^{-1} . Att. 3.10 ir parādīts projektētāju preferenču piederības funkcijas veids (divpunktu interpolācija) atkarībā no optimizācijas parametriem. Ievēdot $\epsilon > 0$, nedaudz mainītā piederības funkcija kļūst inversi unikāla.

Izmantojot LIA algoritmu, projektētāju preferenču interpolācija tiek projicēta snieguma rādītāju telpā (SRT). Turklāt, izmantojot minimizācijas operatoru, tiek noteikta kopēja inducētā preferences funkcija $\eta_j(z_j)$ (skat. Att. 3.11).



Attēls 3.11 LIA algoritms 1

Pēc piederības funkcijas $\eta_j(z_j)$, $j = 1, \dots, m$ izstrādes ir jāizvēlas līmeņus $\gamma_j \leq \alpha_M$ katram j tādā veidā, lai γ_j griezumi I_j , kas saistīti ar $\eta_j(z_j)$, nebūtu tukši. Izmantojot LIA^{-1} , šīs kopas tiek projicētas atpakaļ uz OPT, un tiek noteikti griezumi (šķēļumi) $S_i(\gamma_1, \dots, \gamma_m)$ (skat. Att. 3.12).

Ja kāda no kopām S_i ir tukša, tad γ_j ir pakāpeniski jāsamazina, līdz kamēr visi $S_i \neq \emptyset$ (3.12. attēls) (iterācija $k \rightarrow k + 1$). Tālāk tiek izvēlētas projektēšanas alternatīvas no kopām S_1, S_2, \dots, S_n , kur $x \in X^*$.

Belmana-Zadē un izplūduma mazināšanas pieeja. Iepriekšējās sadaļās tika apskatīts gadījums, kad snieguma un optimizācijas parametri ir ar reālu vērtību, savukārt šajā sadaļā tiks pievērsta uzmanība prasībām izplūdušo ierobežojumu un izplūdušo mērķu veidā. Pieņemsim, ka II_k un IM_l kopas K^* un L^* ir zināmas prasību modelēšanas rezultātā. Tad var izveidot „izplūdušu daudzkritēriju projektēšanas modeli”, izvēloties vienu no tālākminētajām pieejām:

1. *Belmana-Zadē modelis*

(ja $K^* \neq \emptyset \wedge L^* \neq \emptyset$)

Izplūdušo kopu F definē:

$$F = (AND II_k) AND (AND IM_l), k \in K^*, l \in L^*$$

2. *Izplūduma mazināšanas pieeja*

- Jāizvēlas $x \in X'$ ar maksimālo $\mu_F(x)$, (F , Belmana-Zadē modelis (1)) vai
- $II^* = AND II_k, k \in K^*$, kas noteikts ar izplūdušo kopu, pielietojot X' .

Definēt $II^* \alpha$ griezumu un nodēvējot $x \in X'$ par pieļaujamo, ja $\mu_{II^*}(x) \geq \alpha$;

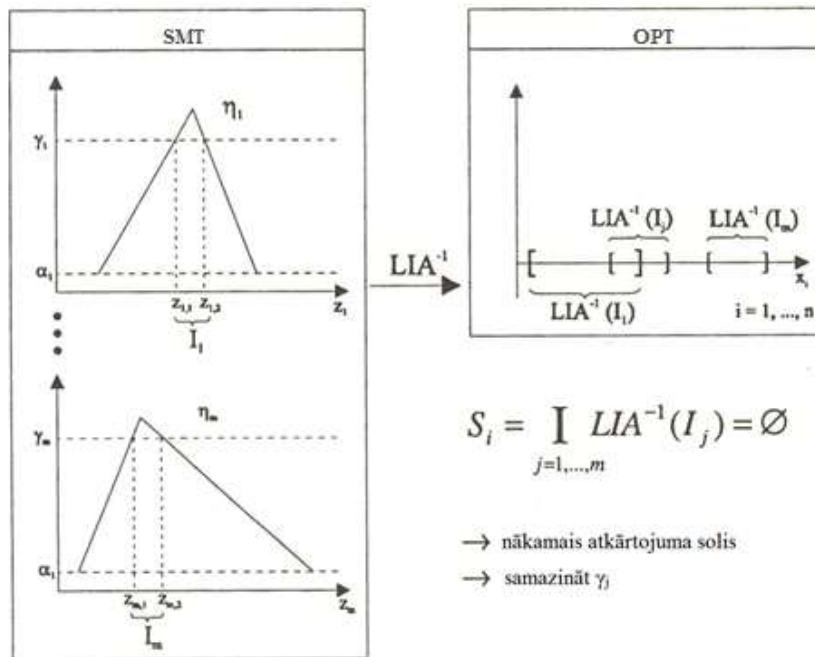
$$X = \{x | x \in X' \wedge \alpha - \text{pieļaujams}\}$$

Definēt FL^* ar $AND IM_l, l \in L^*$ vai *agregācijas koku* vairākos līmeņos. Nosauksim x par β optimālu, ja x pieder $FL^* \beta$ griezumam pa X (konkrētajā gadījumā $\beta = 1.0$).

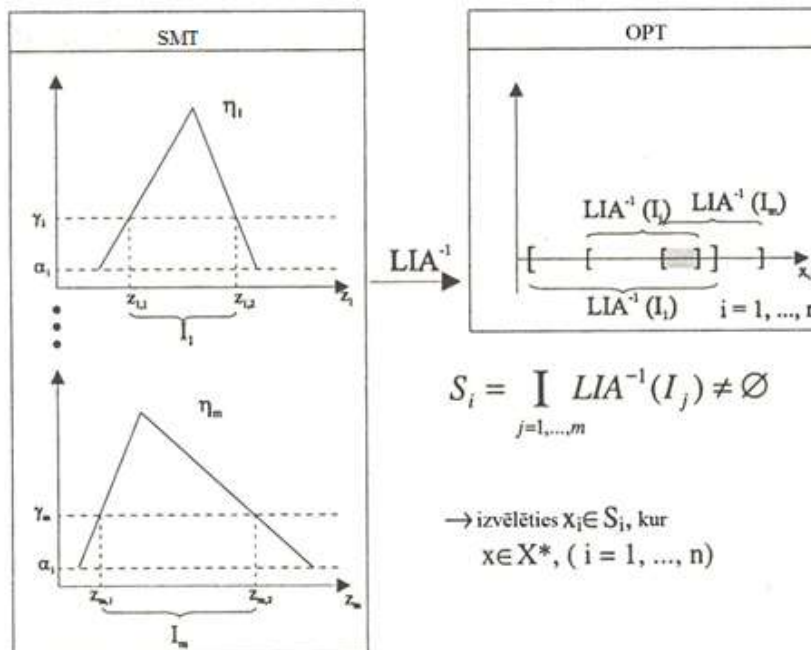
X' apzīmē ierobežotu pieļaujamo (attiecībā uz X^*) projektēšanas alternatīvu kopu, kas ir iegūstamas no jomas zināšanu bāzes. Protams, izvēloties Belmana-Zadē pieeju ($\mu_F(\hat{x}) = \max_{x \in X'} \mu_F(x)$), iegūst tikai vienu projektēšanas alternatīvu \hat{x} , ja „max” darbība ir unimodāla. Iegūstot vairākus maksimizējošus $\hat{x} \in X'$, ir lietderīgi pārcelt tos uz izplūdušo DLP moduli. Konkrēto uz α griezumu vērsto pieeju, kuras uzmanības centrā ir vispirms II un tad IM, ir vienkārši formalizēt, lai izstrādātu M projektēšanas alternatīvas, kas kļūs par ieejām izplūdušajai DLP. Tas ir saprātīgi, jo izplūdušo kopu agregācija ir izmantota vien daļēji.

Izplūdusī DLP. Literatūras avotos ir atrodamas dažādas metodes DLP problēmas risināšanai (Chen un Hwang (1992); Muller un Sebastian (1997)), jo, no vienas puses, pieejamie dati ir dažādi un, no otras puses, var atšķirties vēlamā risinājuma veids. Metodes var iedalīt divās grupās:

Īterācija k



Atkārtojums k+1



Attēls 3.12 LIA^{-1} algoritms

- atsijāšanas metodes (*screening methods*)
- sarindošanas jeb ranžēšanas metodes (*ranking methods*).

Atsijāšanas metodes izslēdz alternatīvas, kas neatbilst pieļaujamā un vēlamā risinājuma nosacījumiem. Pieļaujamā alternatīva tiek uzskatīta par nevēlamu, ja par to ir pārāka cita alternatīva vai arī tā nesasniedz noteiktu līmeni attiecībā uz vienu vai vairākām iezīmēm.

Atsijāšanas metodes ir, piemēram, pārsvara jeb dominances metode, vienojošā jeb konjunktīvā metode un disjunktīvā jeb izslēdzošā metode.

Sarindošanas metodes sakārto alternatīvas noteiktā secībā no labākās uz sliktāko. Piemēram:

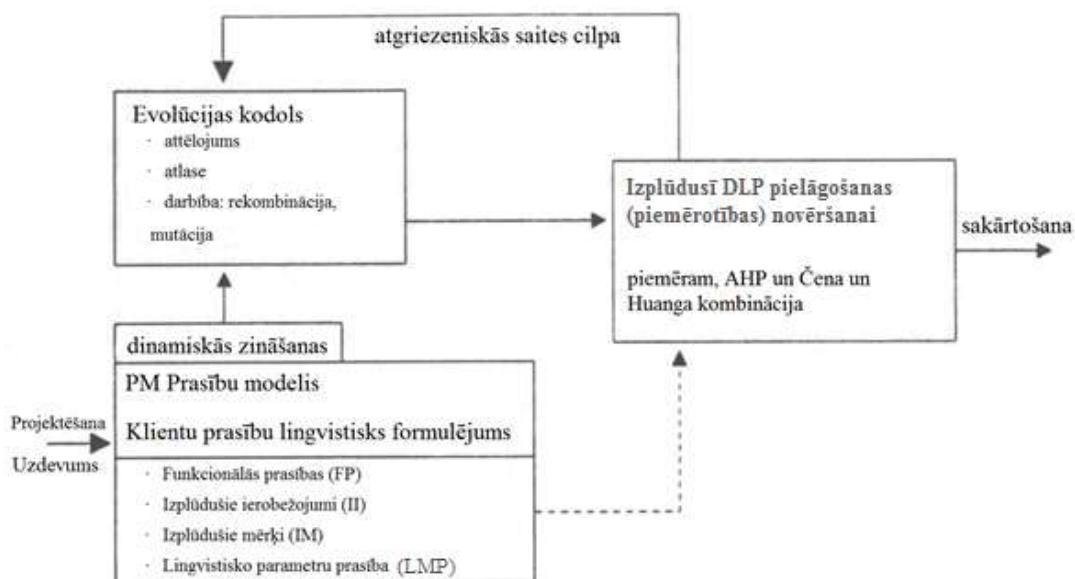
- a) vienkārša svērtā metode;
- b) svērtā reizinājuma metode;
- c) attāluma no mērķa metode u.c.

Iepriekšminētie DLP metožu piemēri ir precīzi tādā nozīmē, ka noteiktu alternatīvu ierobežotas kopas raksturojošās iezīmes ir precīzas (reāli skaitļi, precīzi lingvistiskie apzīmējumi). Ja visas vai atsevišķas alternatīvas ir neprecīzas, ir nepieciešamas izplūdušās DLP metodes.

3.2.4 Evolūcijas stratēģiju un izplūdušās DLP pielietošana izplūdušajā projektēšanā

Viens no Att. 3.5 parādītās IPM arhitektūras trūkumiem ir atgriezeniskās saites neesamība starp izplūdušo DLP un izplūdušās projektēšanas algoritmu (IPA). Neapšaubāmi IPA tiek pielietotas īpašības un to vēlmju/iebildumu līmeņi, ko pēc tam izmanto izplūdušajā DLP (detalizētākā līmenī), bet procedūra:

- 1) ļauj iegūt projektēšanas alternatīvas x^1, x^2, \dots, x^m ;
- 2) novērtēt, atsijāt un sarindot šīs alternatīvas.



Attēls 3.13 Evolūcijas algoritms ar izplūdušu pielāgošanas (fitness) novērtējumu (Zimmermann (1999))

Evolūcijas stratēģijas piedāvā elastīgāku pieeju. Pielietojot tās, ir arīdzan iespējams izstrādāt ierobežotu alternatīvu kopu (populāciju), bet šo populāciju pēc novērtēšanas un atlasē izmanto, lai radītu jaunu populāciju, izmantojot dažādus ģenētiskos operatorus (mutācija, rekombinācija). Būtībā mērķis ir daudzu tamlīdzīgu iterāciju rezultātā panākt populācijas kvalitātes uzlabojumu attiecībā uz pielāgošanas (piemērotības) novērtējumu. Kā redzams no Att. 3.13 algoritmā ir ieviesta atgriezeniskās saites cilpa.

Tādējādi statisko zināšanu bāze un izplūdušās projektēšanas algoritms tiek aizstāts ar evolūcijas stratēģiju, kura ietver projektēšanas objektu attēlojumu, kā arī darbības ar minētajiem attēlojumiem. Atgriezeniskās saites cilpa no „pielāgošanas (piemērotības) novērtējuma” uz „evolūcijas kodolu” (skat. Att. 3.13) ir ļoti svarīga (Brehm u.c. (1997)).

Tomēr projektēšanas objektu attēlojums, izmantojot vienkāršas datu struktūras, ir pietiekoši sarežģīts reālajos pielietojumos. Turklāt ir nepieciešami un svarīgi attēlot un nodrošināt projektēšanas alternatīvu saskaņotību evolūcijas algoritma laikā. Visbeidzot klienta projektēšanas prasību modelēšanas rezultātā tiek veikta izplūdušo daudzkritēriju pielāgojuma novērtēšana.

3.3 Lēmumu pieņemšanas teorija

Lēmumu pieņemšanas teorija tiek izmantota daudzās akadēmiskajās nozarēs, ietverot teorētisko matemātiku, mikro un makro ekonomiku, izziņas un uzvedības psiholoģiju, varbūtību teoriju un citas nozares. Piemēram, operāciju pētniecības nozarē, veicot svarīgu lēmumu pieņemšanu. Operāciju pētniecībā tika izveidota labākā darba grupa no Britu un Amerikāņu fiziķiem, matemātiķiem un inženieriem, kuri izmantoja savu tehnisko talantu, pieņemot labākos risinājumus Otrā pasaules kara laikā. Tas viss radās, pateicoties diskusijām un izvērtēšanas momentam, tā izvēloties būtiskāko starp alternatīvajām idejām (Dieter un Schmidt (2009)).

3.3.1 Lēmumu pieņemšanas uzvedības aspekti

Uzvedības psiholoģija palīdz izprast riska uzņemšanās ietekmi attiecībā uz personām un grupām (Keeney (1992)). Lēmuma pieņemšana ir satraucošs process vairumam cilvēku, jo nav iespējams būt pilnīgi pārliecinātam par informāciju par pagātņi vai nākotnes prognozēm. Šim psiholoģiskajam stresam ir vismaz divi avoti (Janis un Mann (1976)). Pirmkārt, lēmuma pieņēmēji uztraucas par materiālajiem un sociālajiem zaudējumiem, kas radīsies izvēlētajā rīcības veida rezultātā. Otrkārt, viņi apzinās, ka uz spēles ir likta viņu reputācija un pašcieņa.

Milzu psiholoģiskais stress, ko izraisa konflikti lēmumu pieņemšanas procesā, var kļūt par galveno kļūdas pieļaušanas iemeslu, pieņemot lēmumu. Ir pieci galvenie veidi, kā cilvēki tiek galā ar lēmuma pieņemšanas izaicinājumu.

1. *Bezierunu piekritība*: pieņem lēmumu par labu pašreizējai rīcībai un ignorē informāciju par zaudējumu risku
2. *Bezierunu izmaiņas*: nekritiski izvēlas visvairāk ieteikto rīcības veidu
3. *Aizsargizvairšanās*: izvairās no konflikta, vilcinoties, nododot atbildību kādam citam un neievērojot labojošu informāciju
4. *Pārmērīga piesardzība*: izmisīgi meklē tūlītēju problēmas risinājumu
5. *Piesardzība*: rūpīgi meklē attiecīgo informāciju, kas tiek objektīvi apkopota un rūpīgi izvērtēta pirms lēmuma pieņemšanas

Visiem minētajiem lēmuma pieņemšanas veidiem, izņemot pēdējo, piemīt trūkumi.

Lēmuma pieņemšanas kvalitāte nav atkarīga no situācijas specifiskajām iezīmēm; daudz lielākā mērā to ietekmē tas, kā norit lēmuma pieņemšanas process. Mūsu uzmanības centrā ir lēmuma pamatsastāvdaļas un to nozīme. Katra lēmuma pamatsastāvdaļas ir norādītas tabulā. Ja kāda no tām tiek aizstāta, tas nenozīmē, ka noteikti tiks pieņemts slikts lēmums, tomēr ir jāņem vērā, ka tādējādi tiks vājināts lēmums pamats (skat. Att. 3.14).

Pamata sastāvdaļas	Aizvietotāji
Fakti	Informācija
Zināšanas	Konsultācija
Pieredze	Eksperiments
Analīze	Intuīcija
Spriestspēja	Nav

Attēls 3.14 Pamata sastāvdaļas un to aizvietotāji

Lēmumu pieņem, balstoties uz pieejamajiem faktiem. Lielas pūles jāiegulda iespējamo aizspriedumu un faktu atbilstības novērtēšanā. Ir svarīgi uzdot pareizos jautājumus, lai konstatētu problēmu. Īpaši jācenšas nepieļaut, ka vispirms tiek atrasta pareizā atbilde un pēc tam uzdots nepareizs jautājums. Jāpatur prātā, ka vienu un to pašu faktu kopumu var interpretēt vairākos veidos. Protams, ir jāņem vērā kvalificētu speciālistu interpretācija, tomēr akla uzticēšanas speciālistiem var novest pie nepatikšanām.

Pirms lēmuma pieņemšanas ir jāapkopo fakti, zināšanas un pieredze un jāizvērtē problēmas kontekstā. Iepriekšējā pieredze ļaus saprast, kā pašreizējā situācija atšķiras no citām situācijām, kurās bija jāpieņem lēmums, tādējādi precedents kļūs par sava veida ceļvedi. Ja laika ierobežojuma dēļ nav iespējams veikt atbilstīgu analīzi, lēmums tiks pieņemts, balstoties uz intuīciju, instinktīvu sajūtu attiecībā uz to, kāds būtu labākais rīcības modelis (pamatots minējums). Svarīgs palīgrieks novērtēšanas procesā ir problēmas apspriešana ar līdzgaitniekiem un kolēģiem.

Pēdējā un svarīgākā lēmuma pieņemšanas procesa sastāvdaļa ir spriestspēja. Ir neiespējami aprakstīt, kas ir laba spriestspēja, tomēr tā ir personas domāšanas pamatprocesu un ētisko standartu apkopojums. Spriestspēja ir ļoti vēlama īpašība, ko apliecina fakts, ka tā ir viens no faktoriem, kas parasti tiek iekļauts personas novērtējumā. Spriestspēja ir īpaši svarīga, jo vairums situāciju, kurās jāpieņem lēmums, nav tikai melnas un baltas, bet ir arī pelēkas. Svarīgs labas spriestspējas aspekts ir skaidra situācijas izpratne. Lēmuma rezultātā parasti notiek *rīcība*. Situāciju, kurā nepieciešams rīkoties, var raksturot ar četriem aspektiem: ar vajadzību, faktisko, nepieciešamību un vēlmi (Kepner un Tregoe (1997)).

Vajadzības aspekts nosaka to, kas būtu jādara, ja rīcībai nav šķēršļu. Vajadzība ir paredzētais veiktspējas standarts, ja ir sasniegti organizatoriskie mērķi. Vajadzību salīdzina ar *faktisko* – veiktspēju, kas novērojama šajā laika brīdī. *Nepieciešamības* rīcība novelk robežu starp pieņemamo un nepieņemamo rīcību. Vajadzība ir prasība, ko nedrīkst izkropļot. *Vēlmes* rīcība nav stingra prasība, bet gan uz to ir attiecināma kaulēšanās un pārrunas. Vēlmes rīcības parasti tiek klasificētas un apsvērtas, lai noteiktu prioritāti. Tās nenosaka absolūtās robežvērtības, bet drīzāk izsaka relatīvu vēlamību.

Šīs lēmumu pieņemšanas uzvedības aspektu analīzes noslēgumā var izveidot sarakstu ar darbībām, kas tiek veiktas, pieņemot labu lēmumu.

1. Vispirms nosaka lēmuma mērķus
2. Mērķus klasificē atbilstīgi to svarīgumam. (Atsijā vajadzības un nepieciešamības.)
3. Izstrādā alternatīvus lēmumus
4. Alternatīvas izvērtē salīdzinājumā ar mērķiem
5. Tās alternatīvas izvēle, kas ietver vislielāko iespēju sasniegt visus mērķus, atspoguļo pagaidu lēmumu
6. Pagaidu lēmumu analizē, lai noteiktu iespējamās negatīvās sekas nākotnē

7. Gala lēmuma ietekmi kontrolē, veicot citas darbības, lai nepieļautu, ka iespējamās negatīvās sekas kļūst par problēmām, un pārliecinoties, ka tiek veiktas darbības, par kurām panākta vienošanās (Dieter un Schmidt (2009)).

3.3.2 Lēmumu pieņemšanas teorijas izstrāde

Svarīga darbības joma plašajā operāciju pētniecības disciplīnā ir tādas lēmumu pieņemšanas teorijas izstrāde, kuras pamatā ir matemātika (Raiffa (1987)). Lēmumu pieņemšanas teorijas pamatā ir lietderības teorija, kas nosaka vērtības, un varbūtības teorija, kas novērtē mūsu zināšanu pakāpi (Lewis u.c. (2006)). Vispirms lēmumu pieņemšanas teorija tika piemērota darījumu pārvaldības situācijām un tagad ir kļuvusi par svarīgu tehniskās projektēšanas izpētes jomu.

Lēmumu pieņemšanas modelim ir šādi seši pamatelementi:

1. *Alternatīvus rīcības veidus* var apzīmēt ar a_1, a_2, \dots, a_n . Alternatīvas rīcības piemērs: projektējot automašīnas spārnu, projektētājs var izvēlēties starp tērauda (a_1), alumīnija (a_2) vai ar šķiedrām pastiprināta polimēra (a_3) izmantojumu.
2. *Pirmatnējie stāvokļi* ir lēmumu pieņemšanas modeļa vide. Parasti šie apstākļi nav lēmuma pieņēmēja pārziņā. Ja ir paredzēts, ka projektētā detaļa būs noturīga pret sāls izraisītu koroziju, tad pirmatnējo stāvokli varētu izteikt ar $\Theta_1 =$ bez sāls, $\Theta_2 =$ maza sāls koncentrācija utt.
3. *Iznākums* ir rīcības un pirmatnējā stāvokļa kombinācijas rezultāts.
4. *Mērķis* ir lēmuma pieņēmēja paziņojums par to, ko viņš vēlas panākt.
5. *Lietderība* ir apmierinātības līmenis, ko lēmuma pieņēmējs attiecina uz katru iznākumu.
6. *Zināšanu stāvokļi* ir pārliecības pakāpe, ko var attiecināt uz pirmatnējiem stāvokļiem. Tos izsaka varbūtību izteiksmē.

Lēmumu pieņemšanas modeļus parasti klasificē četrās grupās, ņemot vērā zināšanu līmeni.

- *Lēmums, kas pieņemts ar pārliecību*: katrai rīcībai ir zināms iznākums, kura varbūtība ir 1.
- *Lēmums, kas pieņemts bez pārliecības*: ikvienam pirmatnējam stāvoklim piemīt noteikta notikšanas varbūtība.
- *Lēmums, kas pieņemts ar risku*: ikvienai rīcībai var būt divi vai vairāki iznākumi, bet pirmatnējo stāvokļu varbūtības ir nezināmi lielumi.

- *Lēmums ar konfliktējošām iezīmēm*: pirmatnējie stāvokļi ir aizstāti ar rīcības veidiem, kurus noteicis oponents, kas mēģina maksimāli palielināt savu mērķa funkciju. Šādu lēmumu pieņemšanas teorijas tipu parasti dēvē par spēļu teoriju.

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. 3.15) (Dieter un Schmidt (2009)).

Pirmatnējais stāvoklis			
Rīcības veids	Θ_1	Θ_2	Θ_3
a_1	1	4	10
a_2	3	2	4
a_3	5	4	3

Attēls 3.15 Zaudējumu tabula attiecībā uz lēmumiem par materiālu izvēli

3.3.3 Lēmumu metodes izvēloties attiecīgo koncepciju

Neatkarīgi no tā, vai koncepcijas izvēles process ir skaidri formulēts, visas komandas izmanto kādu metodi, lai izvēlētos konkrētu koncepciju. (Pat komandas, kuras izstrādā tikai vienu koncepciju, izmanto metodi: izvēlas pirmo koncepciju, kas ienāk tām prātā.) Metodes atšķiras to efektivitātes ziņā, un tās ir:

1. *Ārējais lēmums*: koncepciju izvēle tiek nodota pircēja, klienta vai citas ārējas vienības ziņā.
2. *Produkta atbalstītājs*: ietekmīgs produkta izstrādes komandas loceklis izvēlas koncepciju pēc saviem ieskatiem.
3. *Intuīcija*: koncepciju izvēlas, balstoties uz tās radītajām izjūtām. Netiek izmantoti skaidri formulēti kritēriji vai kompromisi. Koncepcija vienkārši *šķiet* labāka.
4. *Vairākkārtīga balsošana*. Katrs komandas loceklis balso par vairākām koncepcijām. Tiek izvēlēta koncepcija, kas saņēmusi lielāko balsu skaitu.
5. *Plusi un mīnusi*: komanda izveido katras koncepcijas plusu un mīnusu sarakstu un izdara izvēli, balstoties uz grupas viedokli.

6. *Prototips un pārbaude*: organizācija izstrādā un pārbauda katras koncepcijas prototipu, izdarot izvēli atbilstīgi pārbaudes datiem.
7. *Lēmumu matricas*: komanda izvērtē katru koncepciju atbilstīgi iepriekš noteiktiem izvēles kritērijiem, kuri ir nozīmīgi (Ulrich un Eppinger (2008)).

3.3.4 Analīze un sintēze

Analīze – 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 izziņātu atsevišķi kā sadalītā veselā daļu. Pēc tam tāda 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. Pretējā gadījumā viengabalainu informatīvo priekšmetu nevar iegūt.

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.

Izšķir trīs analīzes un sintēzes veidus:

1. *Tiešā vai empīriskā analīze un sintēze* – dod iespēju izdalīt objekta atsevišķas sastāvdaļas, fiksēt tieši doto, to kopējo, kas atrodas virspusē utt.
2. *Elementāri tiesiskā analīze* – balstās uz zināmiem teorētiskiem apsvērumiem.
3. *Strukturāli ģenētiskā analīze un sintēze* – satur prasību izdalīt objektā tādu tā elementu, kura attīstība rada jaunas parādības, ievirza objekta attīstību jaunās pakāpēs, izšķiroši ietekmē citus objekta būtiskos elementus.

Piemēram par pētāmo parādību cēloņsakarīgām, likumsakarīgām attiecībām – tādā gadījumā atšķirībā no iepriekšējā veida analīzes un sintēzes iegūst izlases raksturu – tiek izdalītas un savienotas parādības, kas tiek uzskatītas par būtiskām, bet sekundārās – ignorētas.

Eksistē arī analīze sprieduma formā, kurā tiek izmantotas matemātiskās sakarības. Tā parasti iesākas ar uzdevumu pierādīt – ir jāpierāda, ka. Tam seko pati pierādīšana (pierādīšanas darbība, process), kas beidzas ar pierādīšanas rezultātu. Lai gan veiksmīgas pierādīšanas rezultātu uztver kā pierādījumu, stingri runājot, visbiežāk tas nav pierādījums. To drīzāk var iegūt sintēzes ceļā. Līdz ar to tiek pierādīts pierādāmais, t.i., izpildīts sakumā izvirzītais

uzdevums. Matemātikā tas var būt teorēmas pierādīšana vai kaut kāda uzdevuma atrisināšana (Dekarts (2007)).

3.3.5 Faktoru analīze

Faktoru analīze ir statistiska metode, kas ne tikai ļauj atrast faktorus, kas atrodas vairāku mainīgo lielumu saistības pamatā, bet arī dod iespēju novērtēt šīs saistības ciešumu starp faktoru un novērotajām pazīmēm, respektīvi, atbildēt uz jautājumu, cik liels ir faktora īpatsvars katrā pazīmē. Faktoru analīze ir radusies un attīstījusies psiholoģijā, to plaši lieto intelekta struktūras un personības iezīmju izpētē, dažāda veida testu izveidē. Mūsdienās šo metodi diezgan plaši izmanto arī citās zinātnēs – ekonomikā, medicīnā, sociālajās zinātnēs u.c.

Faktoru analīze lielā mērā ir dažādu zināšanu sintēze, ko zinātne pazīst jau gadsimtiem ilgi. Tā, ilgstošam analīzes periodam zinātnē parasti seko sintētisks izziņas posms, kura laikā uzkrātie fakti, informācija, atziņas u.c. tiek izmantoti jaunu, augstāka līmeņa (abstraktāku) vispārinājumu izstrādāšanai, kas palīdz dziļāk izprast sabiedrības attīstības noteicošos faktorus un tendences. Faktoru analīze būtībā ir samērā jauna metode, kā šādos gadījumos efektīvāk pielietot tradicionālo zinātniskās sintēzes metodi (Porter (1993)).

Faktoru analīzes klasiskajā izpratnē ietilpst dažādu eksperimentu plānošana. Eksperimentu plānošana ietver vairākus etapus:

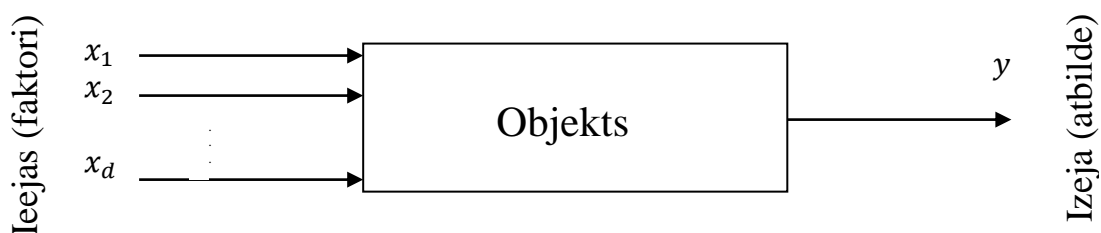
1. Eksperimentu mērķu definēšana (piemēram, noskaidrot, kura parametra izmaiņas visvairāk ietekmē pētāmo sistēmu un kuru parametru vērtības nav būtiskas);
2. Faktoru (neatkarīgo mainīgo) kopu izvēle, kuru variē un atbilžu (atkarīgo mainīgo) funkcijas, kuras novēro;
3. Katra faktora vērtību (līmeņu) noteikšana un mēģinājumu kopas plāni, kādā veidā tiks variētas faktoru vērtības, veicot eksperimentu. Faktisko mēģinājumu kombināciju, ko jāveic, sauc par eksperimenta plānu;
4. Eksperimenta veikšana un sistēmas uzvedības reģistrēšana;
5. Pētāmās sistēmas uzvedības eksperimentos analīze;
6. Rekomendāciju izstrāde, izmantojot iegūto matemātisko modeli.

Pareiza eksperimentu plāna un analīzes stratēģiju izvēle ir ļoti būtiska efektīvai eksperimentēšanai, jo vēlme iegūt pēc iespējas vairāk informācijas par pētāmo parādību ir ierobežota ar katra eksperimenta izmaksām (Auziņš un Januševskis (2007)). Eksperimentu plānošana, kad vienlaicīgi tiek mainīti visi faktori, kuri ietekmē procesu, nevis tikai izmainīts

viens faktors, pārējos nemainot, ir daudz efektīvāka. Ar šādu eksperimentu tiek noteikta jeb atklāta sakarība tam, kā visu faktoru izmaiņa ietekmē sistēmas (procesa, objekta) atbildi, kas ir ļoti svarīgi. Šādas sakarības sauc par mijiedarbībām.

Visus eksperimentus var realizēt divējādi – var mainīt tikai vienu no faktoriem, kamēr visi pārējie, kas ietekmē procesu, tiek saglabāti konstanti. Tādu pieeju sauc par viena faktora eksperimentiem un tā neļauj novērtēt faktoru savstarpējo ietekmi. Otrajā pieejā tiek vienlaicīgi mainīti visi faktori, kas ietekmē procesu. Šī ir daudzfaktoru eksperimentu plānošanas pieeja un tā ļauj novērtēt faktoru savstarpējo ietekmi un samazināt eksperimentu kopējo skaitu. Rezultātā iespējams iegūt objekta atbildes (izejas) funkcionālo atkarību no visiem faktoriem (ieejām) $y = f(x_1, x_2, \dots, x_d)$, kas ir ļoti būtiski (Auziņš un Januševskis (2007)).

Daudzfaktoru eksperimentu plānošanas metodes būtība pētāmā objekta modeļa izveides gadījumam ir visvienkāršākais gadījuma pētāmais objekts, kurš var tikt uzskatīts par sekojošu melno kasti, kura ir uzskatāmi parādīta Att. 3.16.



Attēls 3.16 Idealizēta melnā kaste ar d ieejām uz vienu no izeju

Tā ieejas tiek sauktas par faktoriem, bet izeju sauc par atbildi. Izpētes mērķis ir objekta modeļa jeb atbildes funkcijas iegūšana:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_d) \quad (3.19)$$

Koordinātu telpa ar x_1, x_2, \dots, x_d koordinātām tiek saukta par faktoru telpu, bet atbildes funkcijas ģeometrisko attēlu faktoru telpā – par atbildes virsmu. Determinēto vienādojumu (3.19) statistikā sauc par regresijas vienādojumu. Eksperimenta laikā katrs faktors var pieņemt vienu no vairākām fiksētām vērtībām, kuras sauc par līmeņiem. Visu faktoru noteiktu līmeņu kombināciju kopums nosaka vienu no objekta iespējamajiem stāvokļiem. Faktoru līmeņu iespējamo kombināciju kopa nosaka dotā objekta stāvokļu kopu un dažādu iespējamo eksperimenta mēģinājumu skaitu (atšķirīgo mēģinājumu summāro skaitu):

$$n = p^d \quad (3.20)$$

kur:

p – faktoru līmeņu skaits;

d – faktoru skaits.

Lai vienkāršotu objekta modeli un samazinātu faktoru telpu, parasti vispirms cenšas atņemt mazāk būtiskos faktorus. Faktoriem jābūt vadāmiem, neatkarīgiem un savietojamiem. Tas nozīmē, ka faktori nevar būt funkcijas no citiem faktoriem, jābūt iespējai piešķirt faktoram izvēlētos līmeņus neatkarīgi no citu faktoru līmeņiem, visām faktoru līmeņu kombinācijām jādod objekta realizējama atbilde.

Uzsākot eksperimentu nepieciešams izvēlēties tā plānu, jānosaka kādas faktoru līmeņu kombinācijas un kādā secībā ir jārealizē. Līdz ar to nepieciešams uzdot meklējamā modeļa vispārīgo veidu: lineārs, nelineārs ar savstarpējās mijiedarbības efektiem, kvadrātisks, u.tml. Par matemātisko modeli visbiežāk izvēlas zemas kārtas (1 līdz 3) polinomu, ar kuru tiek aproksimēta nezināmā funkcija (3.19), piemeklējot atbilstošus koeficientu. Piemēram, pieņem, ka šī nezināmā funkcija ir kvadrātisks polinoms:

$$y = \alpha_0 + \sum_{j=1}^d \alpha_j x_j + \sum_{u=1}^{d-1} \sum_{j=u+1}^d \alpha_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^d \alpha_{jj} x_j^2 \quad (3.21)$$

Tā kā reālam objektam vienmēr eksistē arī nevadāmi un nekontrolējami mainīgie, tad y izmaiņām ir gadījuma raksturs. Tāpēc apstrādājot eksperimentālos datus, tiek iegūti regresijas iztvēruma koeficienti $a_0, a_j, a_{uj}, a_{jj}, \dots$, kuri ir faktisko koeficientu $\alpha_0, \alpha_j, \alpha_{uj}, \alpha_{jj}, \dots$ novērtējumi. No eksperimentiem iegūtais regresijas vienādojums var tikt pierakstīts sekojoši:

$$y = a_0 + \sum_{j=1}^d a_j x_j + \sum_{u=1}^{d-1} \sum_{j=u+1}^d a_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^d a_{jj} x_j^2 \quad (3.22)$$

kur:

a_0 – regresijas vienādojuma brīvā locekļa koeficients;

a_j – lineāro efektu koeficients;

a_{uj} – pāru mijiedarbības efektu koeficients;

a_{jj} – kvadrātisko efektu koeficients.

3.4 Nodaļas secinājumi

1. Darbā aprakstīts, ka NM (neprecizitātes metodes) veido pamatu formalizētai neprecīzas informācijas attēlošanai un manipulēšanai ar to inženierprojektēšanas jomā (kas ļauj vienlaikus iekļaut projektētāju pieredzi un viedokli, lai veiktu atbilstošus lēmumus). Tās pamatā esošā metodoloģija ir balstīta uz izplūdušo kopu matemātiku,

kura paredz projicēt izplūdušas kopas (informāciju par objektu), izmantojot striktas funkcionālās sakarības (inženieranalīze) un agregāciju.

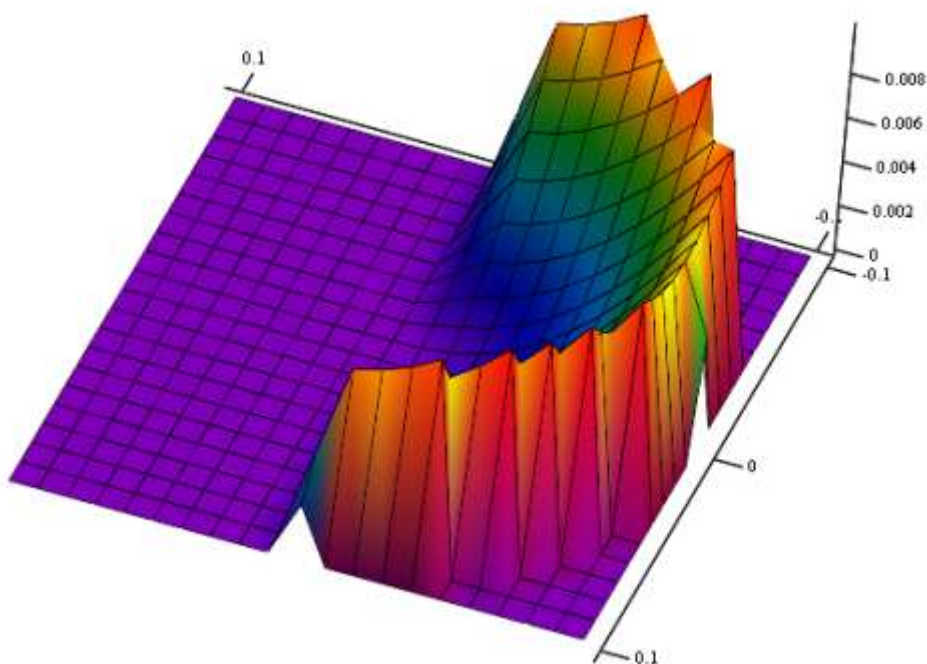
2. Parādīts, ka gadījumā, ja inženieranalīze ir pārāk darbietilpīga un dārga tiek lietotas tradicionālās eksperimentu plānošanas metodes. Tad projektētājs var pieskaņot šo aprēķinu precizitāti, lai pielāgotu to dažādiem projektēšanas procesa posmiem (sākot ar visneprecīzāko sākumposmu un beidzot ar precīzu gala rezultātu).
3. Noskaidrots, ka neprecizitātes metodē ietvertā pieeja pieprasa no projektētāja un pasūtītāja noteikt preferences uz objekta optimizācijas parametriem un snieguma rādītājiem (mainīgo specififikācijas) un tādējādi veicina komunikāciju, lai no atsevišķu „punktu” projektēšanas nonāktu līdz objektu ar (izplūdušām) kopām projektēšanas.
4. Tā kā iespējamo optimizācijas parametru vērtību diapazonu var paziņot sasaistītajiem projektēšanas dalībniekiem vēl pirms objekts pabeigts, proti, projektēšanas procesā, tad tas atvieglo un veicina uz izplūdušām kopām bāzētu paralēlo projektēšanu.
5. Nodaļā komentēti un apspriesti: izplūdušās projektēšanas metode, tās algoritmi, lēmumu pieņemšanas teorija un aspekti, reālu objektu analīzes un sintēzes uzdevumi ar faktoru analīzi.

4. DIVU PARAMETRU KRITĒRIJA UZDEVUMA OPTIMIZĀCIJAS PARETO METODIKA VIEGLO AUTOMOBILU VĒRTĪBAS IZPĒTĒ (CENA UN KALPOŠANAS LAIKS)

4.1 Ievads

Divu parametru kritēriju 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 (skat. Tab. 4.1). Par galvenajiem parametriem tiek ņemti automobiļa izlaiduma gads un piedāvātā tirgus cena Latvijā 2012.gadā. Šo parametru optimizācijai tiks pielietota mazāko kvadrātu, lineārā un nelineārā metode (Vība un Lavendelis (2006); Zakrzhevsky (2008)), kā arī izplūdušo (Fuzzy) elementu metode.

Att. 4.1 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.



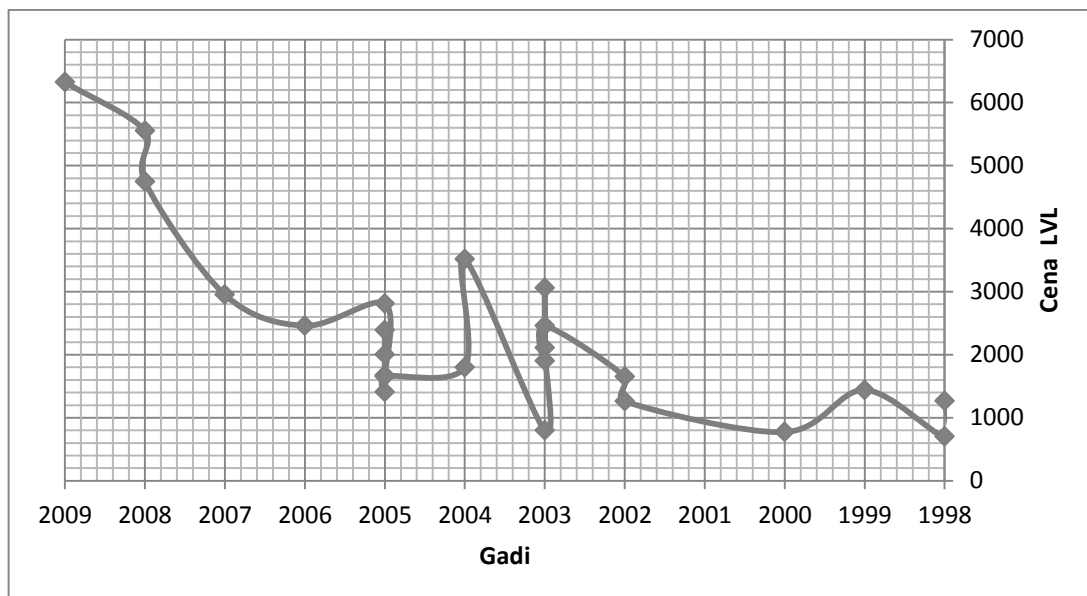
Attēls 4.1 Pareto efektivitāte

Tabula 4.1 Lietotu komerciālo transportu Renault Kangoo galvenie parametri pie automobiļu tirdzniecības

Nr.	Automobilis	Modelis	Izlaiduma gads	Nobrauktie km	Cena Euro	Cena LVL	Krāsa
1	Renault	Kangoo 1.2	2005	65000	4000	2810	balta
2	Renault	Kangoo 1.2	2005	199000	2380	1673	balta
3	Renault	Kangoo 1.2	2005	90000	2846	2000	balta
4	Renault	Kangoo 1.4	1998	310000	996	700	balta
5	Renault	Kangoo 1.4	2003	120000	1138	800	balta
6	Renault	Kangoo 1.5 d	2003	144000	3000	2108	balta
7	Renault	Kangoo 1.5 d	2004	330000	2561	1800	balta
8	Renault	Kangoo 1.5 d	2005	159000	3400	2390	balta
9	Renault	Kangoo 1.5 d	2005	20000	2000	1406	zaļa
10	Renault	Kangoo 1.5 d	2006	134000	3500	2460	balta
11	Renault	Kangoo 1.5 d	2007	175000	4200	2952	balta
12	Renault	Kangoo 1.5 d	2008	106000	7900	5552	balta
13	Renault	Kangoo 1.5 d	2008	72000	6750	4744	balta
14	Renault	Kangoo 1.5 d	2009	55320	8999	6325	zila
15	Renault	Kangoo 1.6	2005	214287	2350	1652	balta
16	Renault	Kangoo 1.9 d	1998	313350	1800	1265	balta
17	Renault	Kangoo 1.9 d	1999	145778	2050	1441	balta
18	Renault	Kangoo 1.9 d	2000	26000	1100	773	balta
19	Renault	Kangoo 1.9 d	2002	10000	2348	1650	zila
20	Renault	Kangoo 1.9 d	2002	256000	1793	1260	balta
21	Renault	Kangoo 1.9 d	2003	121000	4350	3057	zaļa
22	Renault	Kangoo 1.9 d	2003	16000	2703	1900	balta
23	Renault	Kangoo 1.9 d	2003	31000	3500	2460	zaļa
24	Renault	Kangoo 1.9 d	2004	165000	5000	3514	balta

4.2 Aprēķins izmantojot mazāko kvadrātu metodi

Mazāko kvadrātu metodes analizē izmanto aproksimētus datus ar kubisku vienādojumu. No Tab. 4.1 par pamatparametriem tiek izvēlēti automobiļa izlaiduma gads un tā cena, kura ir piedāvātā 2012.gadā Latvijas tirgū, kā rezultātā ir iegūts Att. 4.2.



Attēls 4.2 Lietotu komerciālo transportlīdzekļu Renault Kangoo gadu un cenu salīdzinājums

Ja doti diskreti eksperimentāli dati, kam katram argumenta X vērtībai piekārtota funkcijas Y vērtības, tad, izmantojot vidējo kvadrātisko novirzi no izvēlētās teorētiskās līknes, var iegūt lineāru vienādojumu sistēmu nezināmo koeficientu a noteikšanai.

Piemēram, vēlamies atrast kubisku sakarību

$$f = a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (4.1)$$

kur:

f – automobiļa cena

a – koeficients

x – automobiļa izlaiduma gads

Tad novirze būs:

$$\Delta = \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)]^2 \quad (4.2)$$

Tālāk uzdevums ir atrast tādus četrus koeficientus a_0, a_1, a_2, a_3 , kuri novirzei Δ dod minimālo vērtību. Parciālie atvasinājumi pēc visām četrām konstantēm a_0, a_1, a_2, a_3 , jāpielīdzina nullēm:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta}{\partial a_0} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-1) = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_1} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-X) = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_2} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-X^2) = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_3} &= 2 \sum [Y - (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)](-X^3) = 0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Sekojoši tiek veikts aprēķins. Ņemot vērā 4.1. tabulu, tek ņemtas vidējās cenas vērtības pie attiecīgā automobiļa izlaiduma gada. Tiek aproksimēti dati ar kubisku vienādojumu.

$$A = 6300; B = 5150; C = 2500; D = 2500; E = 2050; F = 2650; G = 3550; \\ H = 1450; I = 750; J = 1400; K=950$$

$$M_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}; X_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \end{pmatrix}; X_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 4 \\ 9 \\ 16 \\ 25 \\ 36 \\ 49 \\ 64 \\ 81 \\ 100 \end{pmatrix}; X_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 8 \\ 27 \\ 64 \\ 125 \\ 216 \\ 336 \\ 512 \\ 729 \\ 1000 \end{pmatrix}; F = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \\ I \\ J \\ K \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

$$D_{00} = \begin{vmatrix} M_1 M_1 & X_1 M_1 & X_2 M_1 & X_3 M_1 \\ M_1 X_1 & X_1 X_1 & X_2 X_1 & X_3 X_1 \\ M_1 X_2 & X_1 X_2 & X_2 X_2 & X_3 X_2 \\ M_1 X_3 & X_1 X_3 & X_2 X_3 & X_3 X_3 \end{vmatrix}$$

$$D_0 = \begin{vmatrix} F M_1 & X_1 M_1 & X_2 M_1 & X_3 M_1 \\ F X_1 & X_1 X_1 & X_2 X_1 & X_3 X_1 \\ F X_2 & X_1 X_2 & X_2 X_2 & X_3 X_2 \\ F X_3 & X_1 X_3 & X_2 X_3 & X_3 X_3 \end{vmatrix}$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} M_1 M_1 & F M_1 & X_2 M_1 & X_3 M_1 \\ M_1 X_1 & F X_1 & X_2 X_1 & X_3 X_1 \\ M_1 X_2 & F X_2 & X_2 X_2 & X_3 X_2 \\ M_1 X_3 & F X_3 & X_2 X_3 & X_3 X_3 \end{vmatrix}$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} M_1 M_1 & X_1 M_1 & F M_1 & X_3 M_1 \\ M_1 X_1 & X_1 X_1 & F X_1 & X_3 X_1 \\ M_1 X_2 & X_1 X_2 & F X_2 & X_3 X_2 \\ M_1 X_3 & X_1 X_3 & F X_3 & X_3 X_3 \end{vmatrix}$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} M_1 M_1 & X_1 M_1 & X_2 M_1 & F M_1 \\ M_1 X_1 & X_1 X_1 & X_2 X_1 & F X_1 \\ M_1 X_2 & X_1 X_2 & X_2 X_2 & F X_2 \\ M_1 X_3 & X_1 X_3 & X_2 X_3 & F X_3 \end{vmatrix}$$

Tiek meklēti koeficienti a_0, a_1, a_2, a_3 :

$$a_0 = \frac{D_0}{D_{00}}; \quad a_1 = \frac{D_1}{D_{00}}; \quad a_2 = \frac{D_2}{D_{00}}; \quad a_3 = \frac{D_3}{D_{00}}; \quad (4.5)$$

Solis:

$$x = 0,1 \dots 10$$

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (4.6)$$

Tiek iegūtas koeficientu a_0, a_1, a_2, a_3 vērtības.

$$a_0 = 6,268 \times 10^3$$

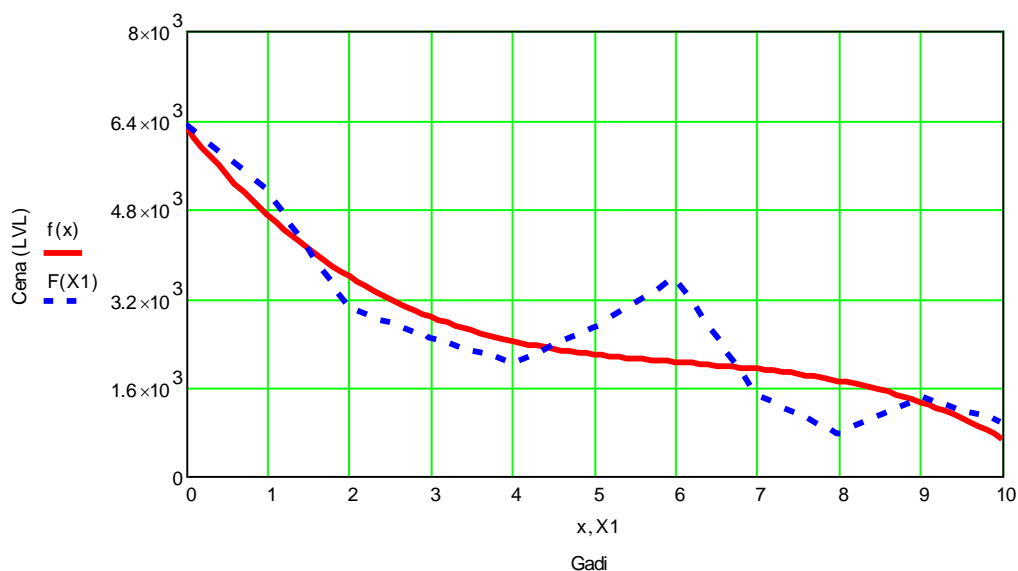
$$a_1 = -1,849 \times 10^3$$

$$a_2 = 283,402$$

$$a_3 = -15,448$$

$$F(x_1) = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \\ I \\ J \\ K \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 4.3.



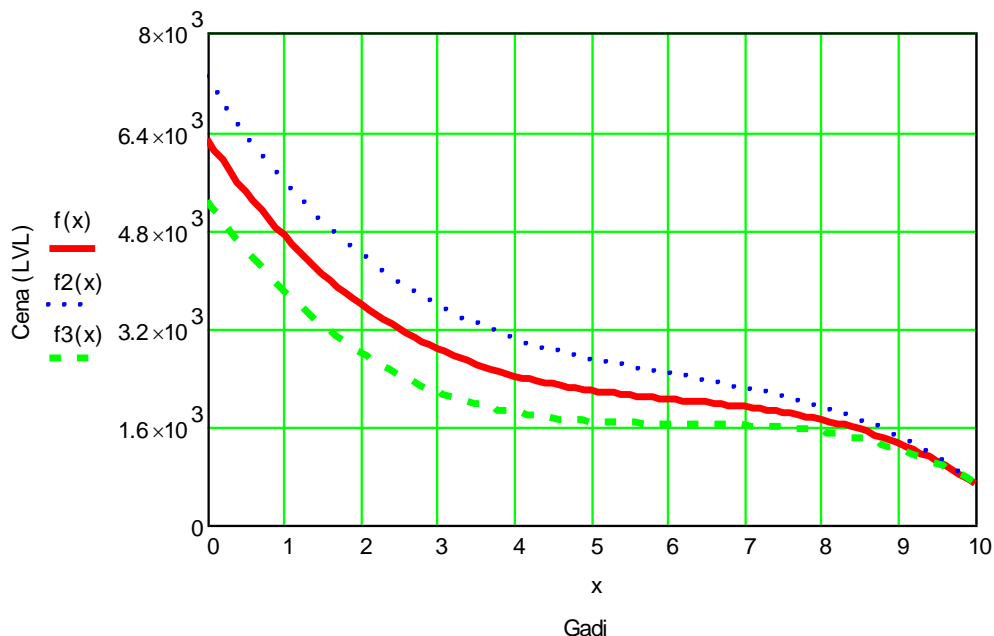
Attēls 4.3 Viena kompromisa līkne ar mazāko kvadrātu metodi

Tālāk tiek pielietota Fuzzy izplūdušī kontrole +1000 un -1000 (LVL) robežās

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

$$f_3(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 - 1000 \left(1 - \frac{x}{10}\right) \quad (4.8)$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 4.4.



Attēls 4.4 Viena kompromisa līkne ar mazāko kvadrātu metodi un Fuzzy vadības kontroli

4.3 Aprēķins izmantojot lineāro metodi

Pie lineārās aprēķinu metodes tiek ņemta sākotnējā pārdošanas cena tikko jaunam automobilim. Šajā gadījumā Renault Kangoo vidējā pārdošanas cena Latvijas autosalonos ir 11000 (LVL), kura tiek ņemta par pamatu tālākiem aprēķiniem. Nākamā automobiļa cena tiek ņemta intervālā ik pa 10 gadiem (skat. 4.1. tabulu), līdz beidzot automobilis pie 20 gadu robežas jau iegūst metāllūžņu cenas vērtību.

$$f = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + x} \quad (4.9)$$

kur:

f – automobiļa cena

a – koeficients

x – automobiļa izlaiduma gads

$$11000 = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + 0}$$

$$11000 = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + 5}$$

$$11000 = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + 20} \quad (4.10)$$

Tālāk tiek veikta koeficientu a_1, a_2, a_3 atrašana

$$Find(a_1, a_2, a_3) \rightarrow \begin{pmatrix} -1056,34 \\ 30565,36 \\ 2,54 \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

Solis:

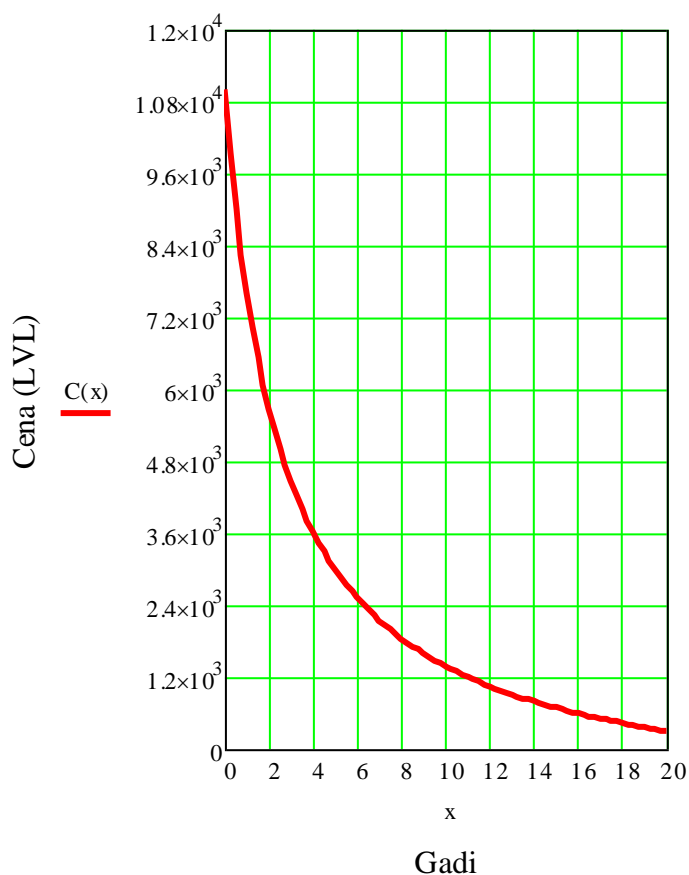
$$x = 0, 0.25 \dots 20$$

Tiek iegūtas meklētās koeficientu a_0, a_1, a_2, a_3 vērtības.

$$a_1 = -1056,34; \quad a_2 = 30565,36; \quad a_3 = 2,54$$

$$C(x) = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + x} \quad (4.12)$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 4.5.

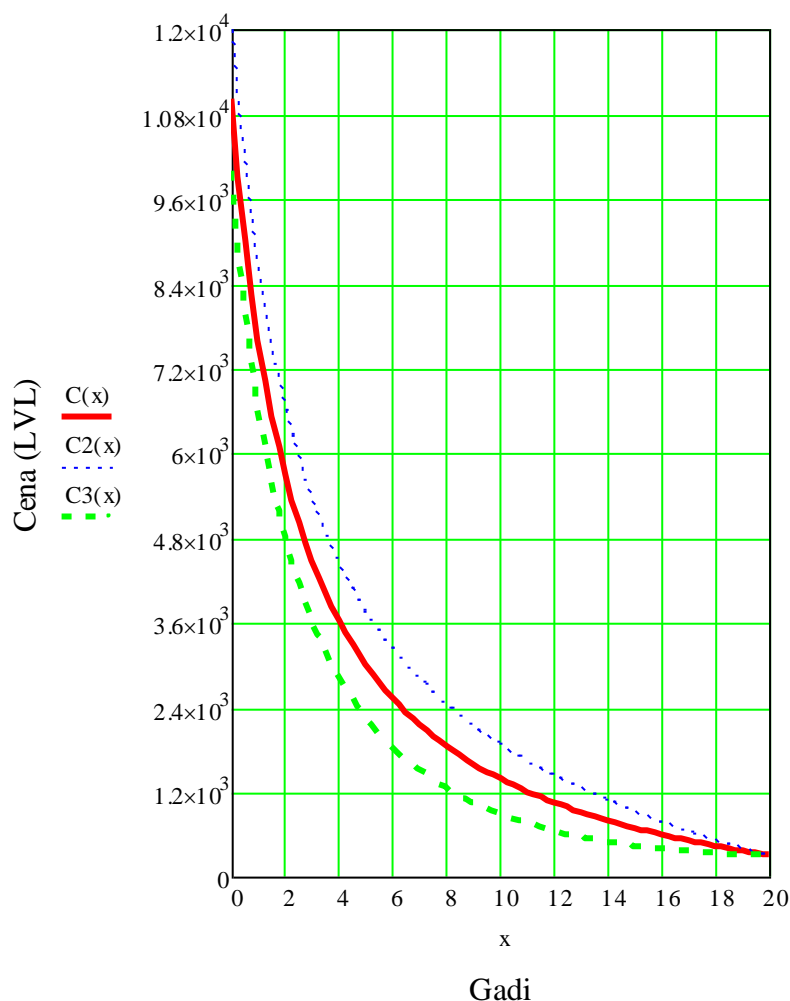


Attēls 4.5 Viena kompromisa līkne ar lineāro metodi

Tālāk tiek pielietota Fuzzy izplūdušī kontrole +1000 un -1000 (LVL) robežās (skat. Att. 4.6).

$$C_2(x) = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + x} + 1000 \left(1 - \frac{x}{20}\right)$$

$$C_3(x) = a_1 + \frac{a_2}{a_3 + x} - 1000 \left(1 - \frac{x}{20}\right) \quad (4.13)$$



Attēls 4.6 Viena kompromisa līkne ar lineāro metodi un Fuzzy vadības kontroli (Fuzzy Pareto robežas grafiks)

4.4 Aprēķins izmantojot nelineāro metodi

Šajā gadījumā tiks veikta divu parametru (cenas un gadu) salīdzināšana, Renault Kangoo izmantota eksponenta funkcija. Kā arī pie iegūtā rezultāta tiks pielietota Fuzzy vadības kontroles cenu robeža no +1000 līdz -1000 (LVL).

Ar pamatu tiks ņemti dati no 4.1. tabulas, kā arī izmantota sākotnējā Renault Kangoo vidējā autosalonu cena 11000 (LVL). Laika periods tiek ņemts kā 0, 5, 10 un 20 gadi (skat. Tab. 4.2).

Tabula 4.2 Komerčiālā transportlīdzekļa Renault Kangoo sākuma parametri

Nr.	Gadi	Cena (LVL)
1.	20	300
2.	10	1200
3.	5	3000
4.	0	11000

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

$$y = ae^{bx} + c \quad (4.14)$$

Tiek aprēķināts Exponential Fit.

$$A = ja(a = "", 0, a)$$

$$B = ja(b = "", 0, b)$$

$$C = ja(c = "", 0, c)$$

$$uzminēt = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}$$

$$E = expfit(X, Y)$$

$$H(x) = E_0 e^{E_1 x} + E_2$$

$$fit(x) = ja(sel_1 = 1, F(x), ja(sel_2 = 2, G(x), H(x)))$$

$$param_a = E_0$$

$$param_b = E_1$$

$$param_c = E_2$$

$$a = ja(sel_1 = 1, int, ja(sel_1 = 2, z_3, E_0))$$

$$b = ja(sel_1 = 1, m, ja(sel_1 = 2, z_4, E_1))$$

$$c = ja(sel_1 = 1, "NA", ja(sel_1 = 2, z_5, E_2)) \quad (4.15)$$

Solis:

$$i = 0 \dots 20, x_i = i$$

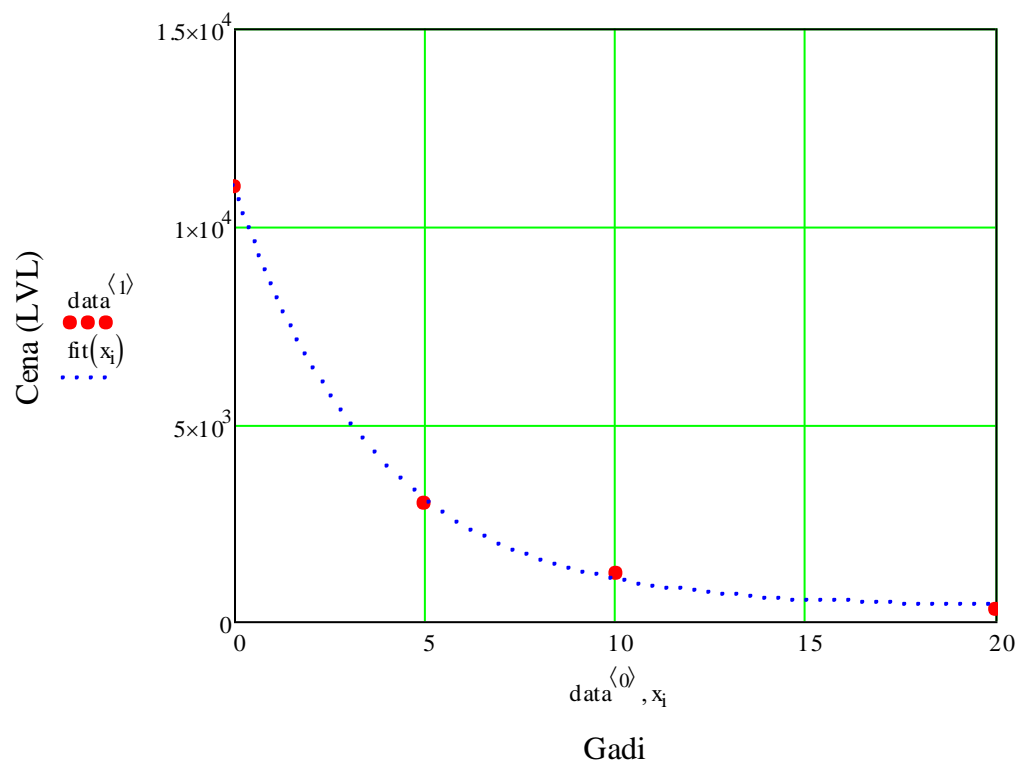
Koeficientu a, b, c vērtības ir:

$$a = 1.065 \times 10^4$$

$$b = -0.272$$

$$c = 345.069$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 4.7.

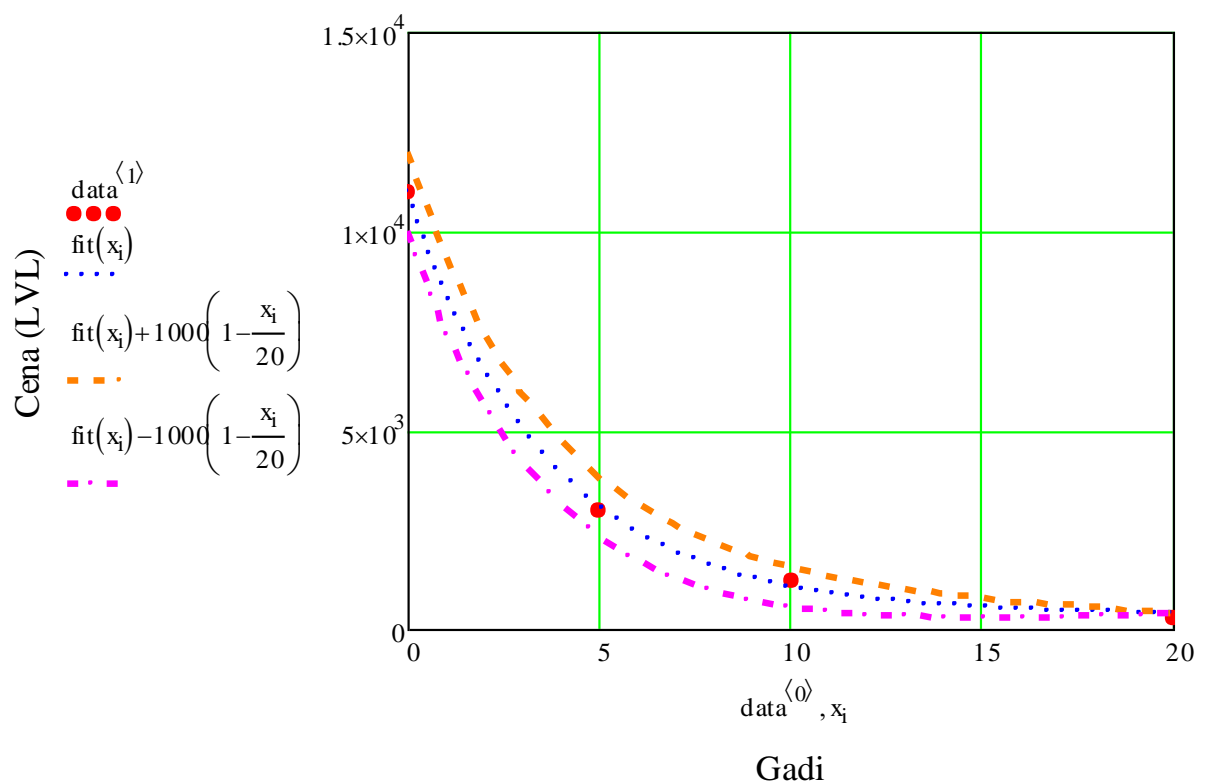


Attēls 4.7 Viena kompromisa likne ar eksponenta funkciju

Tālāk tiek pielietota Fuzzy izplūdušī kontrole +1000 un -1000 (LVL) robežās

$$\begin{aligned}
 Fuzzy_1 &= fit(x_i) + 1000 \left(1 - \frac{x_i}{20}\right) \\
 Fuzzy_2 &= fit(x_i) - 1000 \left(1 - \frac{x_i}{20}\right)
 \end{aligned}
 \tag{4.16}$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 4.8.



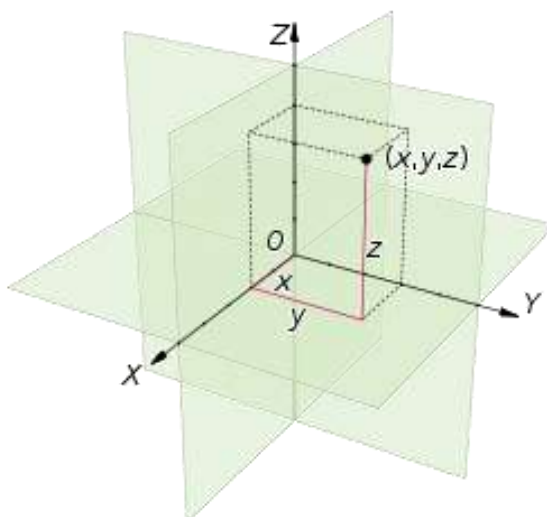
Attēls 4.8 Viena kompromisa līkne ar eksponenta funkciju un Fuzzy vadības kontroli

4.5 Nodaļas secinājumi

1. Uz statistikas datu bāzes izstrādāta metodika komerciālā transporta līdzekļu automobiļu novērtējumam, kurā nav nepieciešama ekspertu kļūdas cenu noteikšanā.
2. Veicot trīs dažādus aprēķinus Renault Kangoo komerciālā transporta līdzekļa automobiļiem, tika pielietotas mazāko kvadrātu, lineārā un eksponenta funkcijas vienādojumi un iegūtas grafiskas līknes tālākai aproksimācijai.
3. Parādīts, ka Fuzzy līknes labi sakrīt ar Pareto robežas nosacījumiem. Tātad var apgalvot, ka Pareto robeža ir gandrīz tas pats, kas Fuzzy vadība.

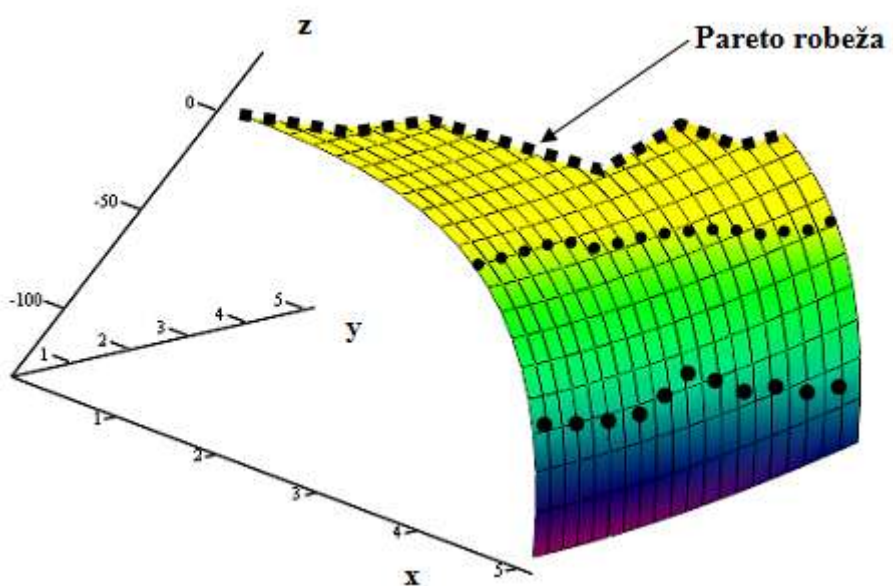
5. KOMERCIĀLĀ TRANSPORTA VAIRĀKU TEHNISKO PARAMETRU NOVĒRTĒŠANAS METODE

Komerčiālā transporta vairāku tehnisko parametru novērtēšanai tiek pielietota 3 dimensiju Eiklīda telpa.



Attēls 5.1 Punkta noteikšana ar trijām koordinātēm (x, y, z) 3D Eiklīda telpā

Att. 5.1 parādīts dažādu sfēru 3D (3 dimensiju Eiklīda telpā) rādiusi. To var pielietot attēlojot novērtējumus normētā telpā, piemēram, pie komerciālo transporta līdzekļu salīdzināšanas.



Attēls 5.2 Pareto robeža

Aprēķinā Pareto robeža (skat. Att. 5.2), tiek izmantota daļēji, jo aprēķina galvenais mērķis ir salīdzināt daudz gadījumu (kritēriju) pa „labi” no šīs robežas. Att. 5.2 parādīts, ka šeit ir izeja no vienas puses, kas ir citādāk nekā pie Pareto efektivitātes (skat. Att. 4.1). Daudzi punktiņi uz grafika (skat. Att. 5.2) norāda, ka uz vienādas salīdzināšanas līknes, promocijas darbā tiek izstrādāta metodika šo līkņu atrašanai 12 parametru telpā pie komerciālā transporta parametriem.

Izmantojot PC Crash automobiļu datubāzi, par pamatu tika izvēlēts komerc transports, kurš ir paredzēts vidējo un mazo uzņēmumu vajadzībām. Aprēķinam no automobiļu datubāzes (PC Crash) ņemti, 12 dažādi parametri 53 automobiļiem (skat. 1.pielikumu Tab. 1. – 4.), kuriem tiek veikta normēšana no 0 līdz 1.

Komerc transporta automobiļu gabarīta izmēri tika apvienoti vienā izmantojot paralēlskaldņa formulu, lai samazinātu tehnisko parametrus skaitu, un lai vieglāk būtu pielietot normēšanu no 0 līdz 1. Normēšana tik pielietota, manuprāt, svarīgākajiem tehniskajiem parametriem, jo strikti novilkta robežu starp svarīgo un mazāk svarīgo ir salīdzinoši grūti. Visi normētie tehniskie parametri ir subjektīvi paskaidroti. Iepriekš literatūras apskatā piedāvātajai ASV metodoloģijai piedāvātie 26 parametri ir ļoti vispārīgi, līdz ar to nav iespējams daudz maz objektīvi novērtēt jebkuru inženiertehnisko dizaina produktu. Pilnvērtīgāku novērtējumu produktam var dot tikai individuāli izstrādāti novērtēšanas parametri, kuri vienmēr būs subjektīvi raugoties no profesionālu ekspertu uzskatiem un pieredzes. Tajā pašā laikā tie būs daudz atbilstošāki nekā vispārpieņemtie 26 ASV parametri.

Savā promocijas darbā tika veikta normēšana šādiem tehniskajiem parametriem, kuru izvēles pamatojumu var redzēt Tab. 5.1.

Tabula 5.1 Izvēlēto tehnisko parametru pamatojums

Izvēlētais tehniskais parametrs komerc transportam	Parametra subjektīvais paskaidrojums
Izcelsmes valsts	Katra valsts ir unikāla ar savu kultūru, kā arī ražošanas tradīcijām
Būvēts no (gadi)	Automobiļa izlaidšanas gads ir svarīgs no tā nelietojamības, pērkot lietotu automobili
Tonnāža	Automobiļa tonnāža raksturo automobiļa kravnesību
Jauda	Tehniskā darba paveikšanas ātrumu raksturo lielums – jauda (vienā sekundē veiktais darbs)

	$N = \frac{A}{t} (W)$ <p>kur: N – jauda A – darbs t – laiks $W = N \cdot m/s$</p>
Dzinēja tips	Dīzeļdzinējiem salīdzinājumā ar benzīndzinējiem ir ievērojami mazāks degvielas īpatnējais patēriņš, jo dīzeļdzinējiem ir augstāka kompresijas pakāpe ε un attiecīgi austāks lietderības koeficients η . Dīzeļdzinēji labi lietojami darbam lielās slodzēs, kā arī lietojamā degviela ir ugunsdrošāka
Masa	Automobiļa masa
Tilpums	Šajā gadījumā tilpums nozīmē automobiļa paralēlskaldņa tilpumu ņemot vērā automobiļa garumu l , platumu b un augstumu h metros. Paralēlskaldņa tilpums $V = lbh (m^3)$ <p>kur: l – automobiļa garums b – automobiļa platums h – automobiļa augstums</p>
Max. ātrums	Max. ātrums, kuru piedāvā automobiļa ražotājs, kuru iespējams sasniegt konkrētajam automobiļa modelim, pie attiecīgā dzinēja jaudas
Apg.min pie max. jaudas	Apgriezieni minūtē pie maksimālās jaudas ir svarīgi, lai automobilis sasniegtu maksimālo ātrumu
Max. motora griezes moments (Nm)	Griezes moments raksturo kloķvārpstas rotācijas spēku, kā arī no tā ir atkarīgs automobiļa vilces spēks $M = P \cdot r (N \cdot m)$ <p>kur: M – griezes moments</p>

	P – griezes spēks r – kloķvārpstas kloķa rādiuss
Apgr. min pie max. griezes momenta	Apgriezieni min. pie max. griezes momenta ir svarīgi, lai automobilis varētu izkustēties no vietas
Paātrinājums	Laiks sekundēs, kādā dzinējs sasniedz ātrumu 100 km/h

Tabula 5.2 Izvēlēto tehnisko parametru normēšanas princips sekojošiem parametriem: a) izcelsmes valsts; b) būvēts no līdz; c) tonnāža; d) jauda; e) dzinēja tips; f) svars; g) tilpums; h) maksimālais ātrums; i) apg.min. pie max. jaudas; j) max. motora griezes moments; k) apgr. min pie max. griezes momenta; l) paātrinājums

a)

Nr.	Izcelsmes valsts	Normēšanas vērtība
1	Japāna	1
2	ASV	0,8
3	Vācija	0,6
4	Itālija	0,6
5	Zviedrija	0,4
6	Francija	0,4
7	Lielbritānija	0,4
8	Korejas Republika	0,4
9	Spānija	0,1
10	Čehija	0,1

b)

Nr.	Būvēts no līdz (gadi)	Normēšanas vērtība
1	2002	1
2	2001	0,9
3	2000	0,8
4	1999	0,7
5	1998	0,6
6	1997	0,5
7	1996	0,4
8	1995	0,3
9	1994	0,2
10	1991	0,1

c)

Nr.	Tonnāža (kg)	Normēšanas vērtība
1	1997	1
2	1900	0,9
3	1803	0,8
4	1706	0,7
5	1609	0,6
6	1512	0,5
7	1415	0,4
8	1318	0,3
9	1221	0,2
10	1124	0,1

d)

Nr.	Jauda (kW)	Normēšanas vērtība
1	66	1
2	63	0,9
3	60	0,8
4	57	0,7
5	54	0,6
6	51	0,5
7	48	0,4
8	45	0,3
9	42	0,2
10	40	0,1

e)

Nr.	Dzinēja tips	Normēšanas vērtība
1	Dīzelis	1
2		0,9
3		0,8
4		0,7
5		0,6
6	Benzīns	0,5
7		0,4
8		0,3
9		0,2
10		0,1

f)

Nr.	Masa (kg)	Normēšanas vērtība
1	1280	1
2	1244	0,9
3	1208	0,8
4	1172	0,7
5	1136	0,6
6	1100	0,5
7	1064	0,4
8	1028	0,3
9	992	0,2
10	950	0,1

g)

Nr.	Tilpums (m ³)	Normēšanas vērtība
1	13,24	1
2	12,86	0,9
3	12,48	0,8
4	12,10	0,7
5	11,72	0,6
6	11,34	0,5
7	10,96	0,4
8	10,58	0,3
9	10,20	0,2
10	9,78	0,1

h)

Nr.	Maksimālais ātrums (km/h)	Normēšanas vērtība
1	165	1
2	162	0,9
3	159	0,8
4	156	0,7
5	153	0,6
6	150	0,5
7	147	0,4
8	144	0,3
9	141	0,2
10	132	0,1

i)

Nr.	Apg.min. pie max. jaudas	Normēšanas vērtība
1	6200	1
2	5956	0,9
3	5712	0,8
4	5468	0,7
5	5224	0,6
6	4980	0,5
7	4736	0,4
8	4492	0,3
9	4248	0,2
10	4000	0,1

j)

Nr.	Max. motora griezes moments (Nm)	Normēšanas vērtība
1	205	1
2	192	0,9
3	179	0,8
4	166	0,7
5	153	0,6
6	140	0,5
7	127	0,4
8	114	0,3
9	101	0,2
10	88	0,1

k)

Nr.	Apgr. min pie max. griezes momenta	Normēšanas vērtība
1	4250	1
2	3989	0,9
3	3728	0,8
4	3467	0,7
5	3206	0,6
6	2945	0,5
7	2684	0,4
8	2423	0,3
9	2162	0,2
10	1900	0,1

l)

Nr.	Paātrinājums (0-100 km/h)	Normēšanas vērtība
1	12,20	1
2	13,68	0,9
3	15,16	0,8
4	16,64	0,7
5	18,12	0,6
6	19,60	0,5
7	21,08	0,4
8	22,56	0,3
9	24,04	0,2
10	25,6	0,1

Būtiski būtu ņemt vērā arī neformālos parametrus kā cenu un krāsu. Diemžēl grūti bija atrast attiecīga gada gājuma automobiļiem, jo Pc Crash jaunākais automobiļa modelis bija 2002. gada.

Apskatot 2011.gada tirgus piedāvājumu attiecīgajiem komerctransporta automobiļiem, vidējā cenas amplitūda ir no 669 LVL līdz pat 3207 LVL, atkarībā no tā tehniskā stāvokļa.

Izvērtējot krāsas nozīmīgumu, pastāv nacionālās kultūras specifika, kas jāņem vērā konkrētā valstī. Baltā krāsa, kas eiropiešiem ir tīrības un svētuma simbols, Ķīnā tiek saistīta ar nelietību, melīgumu utt. Jo tuvāk Austrumiem, jo krāsas simbolikai tiek piešķirta lielāka nozīme.

Atkarībā no valsts tiek izdalītas populārākas, pieprasītākās automobiļu krāsas. 21.gs ļoti populāra ir kļuvusi sudraba krāsa, bet vēl cilvēki labprāt izvēlas melnus un baltus automobiļus. Tāpat visai iecienīti ir pelēki, zili, sarkani, brūni, zaļi un dzeltenī automobiļi, tiesa gan, dzelteno automobiļu uz planētas ir tikai 1%. Ziemeļamerikā vispieprasītākie ir balti automobiļi, savukārt melni un sudrabkrāsas automobiļi attiecīgi ieņem otro un trešo vietu. Eiropā gaume atšķiras. Absolūti vadošā ir melnā krāsa - tā aizņem 27% tirgus, turklāt tās popularitāte aizvien palielinās. Otrajā vietā atrodas sudraba krāsa ar 19,9%, turklāt tās izplatība samazinās, bet trešajā ir baltā krāsa - 10,2% no tirgus, taču tās īpatsvaram ir tendence palielināties. Āzijas valstīs turpretim populārākās ir gaišās krāsas. Piemēram, Japānā visvairāk pērk baltus automobiļus - 28%, bet Ķīnā - sudrabkrāsas braucamos - 36%.

2010.gadā Pasaulē populārāko krāsu automobiļu tops ir šāds:

1. Sudraba – 25%
2. Melna – 23%
3. Balta – 16%

4. Pelēka – 13%
5. Zila – 9%
6. Sarkana – 8%
7. Brūna/bēša – 4%
8. Zaļa – 1%
9. Dzeltena/zelta – 1%
10. Citas –

Balstoties uz Pasaules populārāko automobiļu topu, ir iespējams veikt krāsu normēšanu arī izvēlētajiem komerctransporta automobiļiem (skat. Tab. 5.3).

Tabula 5.3 Izvēlētā tehniskā parametra - krāsa normēšanas princips

Nr.	Krāsa	Normēšanas vērtība
1	Melna	1
2	Pelēka	0,9
3	Sudraba	0,8
4	Balta	0,7
5	Zila	0,6
6	Sarkana	0,5
7	Brūna/Bēša	0,4
8	Zaļa	0,3
9	Dzeltena/Zelta/ Violeta	0,2
10	Cita	0,1

Diemžēl šo parametru šoreiz nav objektīvi pielietot, jo ir ļoti gūti atrast Latvijas tirgū plašu informāciju par krāsu piedāvājumu par pamatu ņemot izvēlētos automobiļus. Kā arī šie dati neatspoguļotu precīzi komerctransporta automobiļu krāsu popularitāti, jo visi no šiem automobiļiem 2012. gadā ir pieejami lietoti, un bieži vien ievesti no citām valstīm. Latvijas tendences attiecībā uz krāsu izvēli atspoguļotos pie jaunu automobiļu iegādes.

Pamatojot izvēlētos komerctransporta automobiļa izvēlētos tehniskos parametrus, tiek sastādītas normēšanas rezultātu Tab. 5.4; 5.4 a) un b)

Tabula 5.4 Komerציālā transporta tehniskie parametri pēc normēšanas

Nr.	Auto	Modelis	Izcelsme	Būvēts no	Būvēts līdz	Tonnāža
1	Renault	Kango 1.2 Authentique	0,4	0,9	1	0,1
2	Renault	Kango 1.9 dTi RXE	0,4	0,8	1	0,8
3	Renault	Kango Rapid 1.4.	0,4	0,6	1	0,3
4	Renault	Kango Rapid RL1.9D	0,4	0,7	1	0,9
5	Renault	Kango Radid 1.9D eco	0,4	0,6	1	0,9
6	Renault	Kangoo 1.1	0,4	0,6	0,9	0,1
7	Renault	Kangoo 1.4	0,4	0,6	0,9	0,3
8	Renault	Kangoo 1.4	0,4	0,6	0,9	0,3
9	Renault	Kangoo 1.9	0,4	0,6	0,9	0,8
10	Renault	Kangoo 1.9	0,4	0,6	0,9	0,8
11	Renault	Kangoo 1.2 Econ	0,4	0,6	0,7	0,1
12	Renault	Kangoo 1.4	0,4	0,6	0,7	0,3
13	Renault	Kangoo 1.9 Ds	0,4	0,6	0,7	0,8
14	Renault	Kangoo 1.9 Ds	0,4	0,6	0,7	0,8
15	vw	Caddy - 1.9 D	0,6	0,4	1	0,8
16	vw	Caddy - 1.9 SDI	0,6	0,3	1	0,8
17	vw	Caddy SD	0,6	0,4	0,7	0,8
18	vw	Caddy - SDI	0,6	0,3	0,7	0,8
19	vw	Caddy 1.4	0,6	0,3	0,7	0,3
20	vw	Caddy 1.6	0,6	0,3	0,7	0,5
21	vw	Caddy 1.6	0,6	0,3	1	0,5
22	vw	Caddy 1.6	0,6	0,3	0,7	0,5
23	vw	Caddy 1.9 SDI	0,6	0,3	0,7	0,8
24	vw	Caddy 1.9 TD	0,6	0,3	1	0,8
25	Opel	Combo 1.4	0,6	0,1	0,5	0,3
26	Opel	Combo 1.4	0,6	0,1	0,1	0,3
27	Opel	Combo 1.4	0,6	0,1	0,7	0,3
28	Opel	Combo 1.4	0,6	0,1	0,5	0,3
29	Opel	Combo 1.7 D	0,6	0,1	0,7	0,6
30	Opel	Combo 1.7 D	0,6	0,1	0,5	0,6
31	Opel	Combo 1.7 D	0,6	0,1	0,5	0,6
32	Opel	Combo 1.7 Ds	0,6	0,1	0,7	0,6
33	Citroen	Berlingo 1.4	0,4	0,4	0,9	0,3
34	Citroen	Berlingo 1.8	0,4	0,4	0,9	0,7
35	Citroen	Berlingo 1.8	0,4	0,4	0,9	0,7
36	Citroen	Berlingo 1.9	0,4	0,4	0,9	0,9
37	Citroen	Berlingo 1.9	0,4	0,4	0,9	0,9
38	Citroen	Berlingo 2.0	0,4	0,4	0,9	1

39	Citroen	Berlingo 1.1	0,4	0,5	0,7	0,1
40	Citroen	Berlingo 1.4	0,4	0,5	1	0,3
41	Citroen	Berlingo 1.4	0,4	0,5	0,7	0,3
42	Citroen	Berlingo 1.4 Multispace	0,4	0,9	1	0,3
43	Citroen	Berlingo 1.8 D	0,4	0,5	0,7	0,7
44	Citroen	Berlingo 1.8 i Multipace	0,4	0,5	0,7	0,7
45	Citroen	Berlingo 1.9 D	0,4	0,5	1	0,9
46	Peugeot	Partner 1.4	0,4	0,4	0,9	0,3
47	Peugeot	Partner 1.8	0,4	0,4	0,9	0,7
48	Peugeot	Partner 1.8	0,4	0,4	0,9	0,7
49	Peugeot	Partner 1.9	0,4	0,4	0,9	0,8
50	Peugeot	Partner 1.9	0,4	0,4	0,9	0,9
51	Peugeot	Partner 2.0	0,4	0,4	0,9	1
52	Peugeot	Partner 1.1	0,4	0,4	1	0,1
53	Peugeot	Partner 1.9 D	0,4	0,4	1	0,9

Tabula 5.4 a) Komerציālā transporta tehniskie parametri pēc normēšanas

Nr.	Dzinēja jauda	Motora tips	Masa	Tilpums	Max. ātrums	apg.min pie max jaudas	max. motora griezes moments
1	0,2	0,5	0,4	0,70	0,1	0,6	0,1
2	0,7	1	0,8	0,80	0,8	0,1	0,6
3	0,6	0,5	0,4	0,70	0,6	0,7	0,3
4	0,3	0,5	0,6	0,70	0,3	0,3	0,3
5	0,1	1	0,5	0,70	0,1	0,1	0,3
6	0,2	0,5	0,2	0,70	0,1	0,6	0,1
7	0,6	0,5	0,4	0,70	0,6	0,7	0,3
8	0,6	0,5	0,4	0,70	0,3	0,7	0,3
9	0,3	1	0,5	0,70	0,3	0,3	0,3
10	0,7	1	0,5	0,70	0,8	0,1	0,6
11	0,2	0,5	0,4	0,70	0,3	0,6	0,1
12	0,6	0,5	0,6	0,70	0,6	0,7	0,3
13	0,3	1	0,7	0,70	0,3	0,3	0,3
14	0,3	1	0,7	0,70	0,1	0,1	0,3
15	0,3	1	0,4	0,10	0,4	0,2	0,3
16	0,3	1	0,8	0,90	0,3	0,2	0,1
17	0,3	1	0,4	0,10	0,4	0,2	0,3
18	0,3	1	0,8	0,90	0,3	0,2	0,1
19	0,3	0,5	0,5	1,00	0,6	0,3	0,3
20	0,6	0,5	0,7	0,90	0,3	0,7	0,4

21	0,6	0,5	0,2	0,10	0,3	0,7	0,4
22	0,6	0,5	0,6	1,00	0,3	0,7	0,4
23	0,3	1	0,7	1,00	0,3	0,1	0,4
24	0,3	1	0,7	1,00	0,3	0,1	0,4
25	0,2	0,5	0,5	0,90	0,2	0,6	0,2
26	0,2	0,5	0,2	0,90	0,2	0,6	0,2
27	0,2	0,5	0,5	0,90	0,2	0,6	0,2
28	0,2	0,5	0,5	0,90	0,2	0,6	0,2
29	0,2	1	0,7	0,90	0,2	0,2	0,2
30	0,2	1	0,6	0,90	0,2	0,2	0,2
31	0,2	1	0,6	0,90	0,2	0,2	0,2
32	0,2	1	0,4	0,90	0,2	0,3	0,2
33	0,6	0,5	0,5	0,80	0,5	0,7	0,2
34	1	0,5	0,6	0,80	0,8	0,5	0,5
35	1	0,5	0,7	0,80	0,5	0,5	0,5
36	0,4	1	0,7	0,80	0,1	0,3	0,3
37	0,4	1	0,7	0,80	0,2	0,3	0,3
38	1	1	1	0,80	0,8	0,1	1
39	0,2	0,5	0,6	0,80	0,1	1	0,1
40	0,6	0,5	0,1	0,80	0,5	0,7	0,2
41	0,6	0,5	0,6	0,80	0,5	0,7	0,2
42	0,6	0,5	0,9	0,80	0	0,7	0,3
43	0,2	0,5	0,8	0,80	0,1	0,3	0,1
44	1	0,5	0,6	0,80	0,8	0,5	0,5
45	0,5	1	0,3	0,80	0	0,3	0,3
46	0,6	0,5	0,5	0,80	0,5	0,8	0,2
47	1	0,5	0,6	0,80	0,8	0,5	0,5
48	1	0,5	0,7	0,80	0,5	0,5	0,5
49	0,5	1	0,7	0,80	0,2	0,3	0,3
50	0,5	1	0,7	0,80	0,1	0,3	0,3
51	1	1	0,9	0,80	0,8	0,1	1
52	0,2	0,5	0,6	0,80	1	1	0,1
53	0,5	1	0,6	0,80	0	0,3	0,3

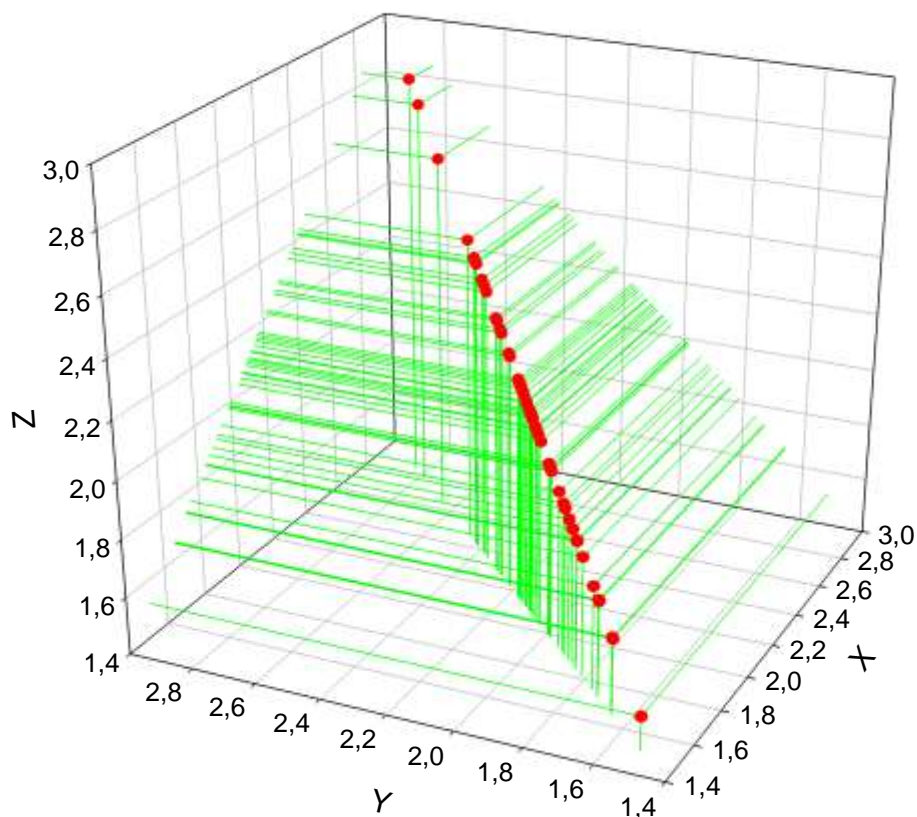
Tabula 5.4 b) Komerציālā transporta tehniskie parametri pēc normēšanas

Nr.	Apgr. min pie max. griezes momenta	Paātrinājums	Nr.	Apgr. min pie max. griezes momenta	Paātrinājums
1	0,3	0,5	28	0,5	0
2	0,1	0,9	29	0,3	0
3	1	0,9	30	0,3	0,4
4	0,3	0,4	31	0,3	0
5	0,3	0,4	32	0,3	0
6	0,3	0,6	33	0,6	0,8
7	1	0,8	34	0,3	1
8	1	0,6	35	0,3	1
9	0,2	0,5	36	0,1	0,7
10	0,1	0,8	37	0,1	0,7
11	0,3	0,5	38	0,1	0,8
12	1	0,8	39	0,8	0,3
13	0,2	0,5	40	0,6	0,7
14	0,2	0,3	41	0,6	0,7
15	0,3	0,7	42	0,6	0,7
16	0,4	0,6	43	0,1	0,1
17	0,3	0	44	0,3	0,9
18	0,4	0	45	0,1	0
19	0,5	0	46	0,6	0,8
20	0,3	0	47	0,3	1
21	0,3	0,7	48	0,3	1
22	0,3	0	49	0,3	0,4
23	0,3	0	50	0,1	0,4
24	0,3	0,4	51	0,1	0,7
25	0,5	0,5	52	0,8	0,8
26	0,5	0	53	0,1	0
27	0,5	0			

Veicot parametru normēšanu, gala rezultātā tiek iegūta Tab. 5.5 ar labāko komerctransporta automobiļa modeli – lielākā vērtība atspoguļo labāko iegūto komerctransporta automobili. Šajā gadījumā tas ir automobilis ar kārtas Nr. 38 – Citroen Berlingo 2.0, bet vissliktākais automobilis ir ar kārtas numuru 26 – Opel Combo 1.4.

Tabula 5.5 Komerctransporta automobiļu rezultāti pēc normēšanas

Nr.	Auto	Modelis	Normēšanas vērtība	Nr.	Auto	Modelis	Normēšanas vērtība
38	Citroen	Berlingo 2.0	2,84	40	Citroen	Berlingo 1.4	2,10
51	Peugeot	Partner 2.0	2,78	45	Citroen	Berlingo 1.9 D	2,10
2	Renault	Kango 1.9 dTi RXE	2,65	9	Renault	Kangoo 1.9	2,09
34	Citroen	Berlingo 1.8	2,47	15	vw	Caddy - 1.9 D	2,07
47	Peugeot	Partner 1.8	2,47	13	Renault	Kangoo 1.9 Ds	2,07
52	Peugeot	Partner 1.1	2,43	41	Citroen	Berlingo 1.4	2,06
10	Renault	Kangoo 1.9	2,42	4	Renault	Kango Rapid RL1.9D	2,04
35	Citroen	Berlingo 1.8	2,42	22	vw	Caddy 1.6	2,00
48	Peugeot	Partner 1.8	2,42	14	Renault	Kangoo 1.9 Ds	1,99
44	Citroen	Berlingo 1.8 i Multipace	2,38	39	Citroen	Berlingo 1.1	1,99
3	Renault	Kango Rapid 1.4.	2,37	20	vw	Caddy 1.6	1,98
42	Citroen	Berlingo 1.4 Multispace	2,36	29	Opel	Combo 1.7 D	1,94
16	vw	Caddy - 1.9 SDI	2,30	21	vw	Caddy 1.6	1,92
7	Renault	Kangoo 1.4	2,29	1	Renault	Kango 1.2 Authentique	1,91
24	vw	Caddy 1.9 TD	2,28	30	Opel	Combo 1.7 D	1,89
12	Renault	Kangoo 1.4	2,27	32	Opel	Combo 1.7 Ds	1,87
37	Citroen	Berlingo 1.9	2,22	19	vw	Caddy 1.4	1,85
36	Citroen	Berlingo 1.9	2,22	31	Opel	Combo 1.7 D	1,84
8	Renault	Kangoo 1.4	2,17	17	vw	Caddy SD	1,81
50	Peugeot	Partner 1.9	2,16	43	Citroen	Berlingo 1.8 D	1,76
46	Peugeot	Partner 1.4	2,16	25	Opel	Combo 1.4	1,73
49	Peugeot	Partner 1.9	2,15	27	Opel	Combo 1.4	1,73
53	Peugeot	Partner 1.9 D	2,14	6	Renault	Kangoo 1.1	1,73
23	vw	Caddy 1.9 SDI	2,12	11	Renault	Kangoo 1.2 Econ	1,66
33	Citroen	Berlingo 1.4	2,12	28	Opel	Combo 1.4	1,66
5	Renault	Kango Rapid 1.9D eco	2,11	26	Opel	Combo 1.4	1,52
18	vw	Caddy - SDI	2,10				



Attēls 5.3 Komerctransporta automobiļu normēšanas grafiks 3D Eiklīda telpā

Labākais komerctransporta automobilis pēc normēšanas 3D Eiklīda telpā ir Citroen Berling 2.0 (Nr.38 – skat. Tab. 5.2), kas uzskatāmi ir parādīts arī Att. 5.3, ar vissliktākajiem rezultātiem redzams automobilis ar kārtas skaitli 26 – Opel Combo 1.6 (skat. Tab. 5.2)

5.1 Nodaļas secinājumi

1. Izmantojot PC Crash automobiļu datubāzi (par pamatu tika izvēlēts komerctransports, kurš ir paredzēts vidējo un mazo uzņēmumu vajadzībām) izstrādāta metodika automobiļu ekspertīzes veikšanai no pircēja viedokļa.
2. Uz datu bāzes parametriem (kopumā tika ņemti 53 automobiļi ar līdzīgiem tehniskajiem parametriem) izstrādāta metodika automobiļu matemātiskai novērtēšanai (ranžēšanai), lietojot normēšanu diapazonā no 0 līdz 1.
3. Izstrādātā ranžēšanas metodika ir pielietojama arī citu rūpniecisko ražojumu izvērtēšanai un salīdzināšanai.

6. IZPLŪDUŠĀS (FUZZY) METODES IZSTRĀDE DINAMISKU SISTĒMU VADĪBAS ADAPTĪVAI SINTĒZEI

6.1 Ievads

Iepriekš literatūras apskatā ir aprakstīts, ko sevī ietver vārds dizains, līdz ar to promocijas darba 6. nodaļā ar dizains (projektēšana) ir jāsaprot kā dizaina vadība, Fuzzy izplūdušās vadības sintēze un optimālā vadības sintēze.

Šajā nodaļā veikts automobiļa kustības aprēķins, braucot automobilim kalnā. Visi aprēķini tika veikti, izmantojot MathCAD programmatūru.

Aprēķins tiks risināts ar adaptīvās elektromehāniskas vadības sistēmas sintēzi. Galvenais spēks, kurš iedarbojas uz objektu (automobili) virzās pa noteiktu ceļu (trajektoriju) (skat. Att. 6.1): nemainīga „sausās” berzes pretestība, nelineāra (kvadrātveida) gaisa pretestība, papildus vēja pretestība, smaguma spēka variāciju komponente nogāzēs, vertikālās vibrācijas mijiedarbības ar nelīdzenu ceļa virsmu, kontrolēts dzinēja griezes moments.



Attēls 6.1 Automobiļa kustība pa noteiktu trajektoriju

Kustības vienādojumu, transporta līdzekļa (automobiļa) vienkāršotu diferenciālo vienādojumu gar konkrēto 3-D telpas trajektoriju, var formulēt kā (skat. Att. 6.2):

$$m\ddot{s} = -F[s, \dot{s}, \text{sign}(\dot{s}), V, \varphi(s, t)] - mg\sin(\alpha(s)) - R(t, s, \dot{s}) + u(t, s, \dot{s}) \quad (6.1.)$$

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

φ

g – brīvais krišanas paātrinājums

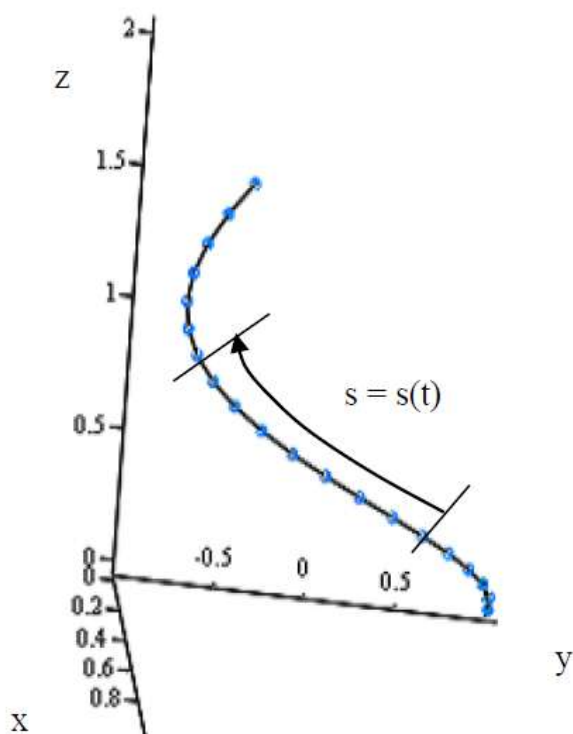
t – laiks

α – 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.

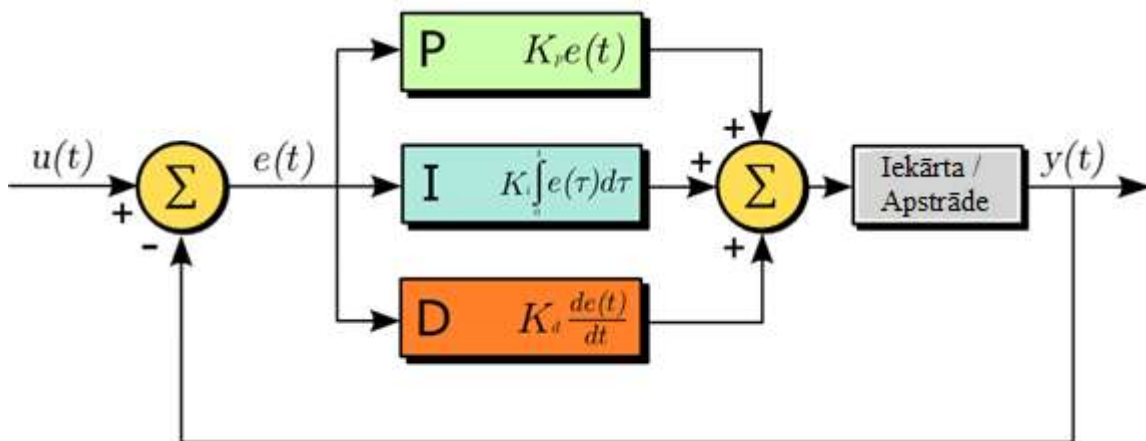


Attēls 6.2 Automobiļa kustības grafiks

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 pielietots „proporcioniāli – integrālais – diferenciālais” (PID) regulators. Tie tiek ražoti jau gadu desmitiem, un to pielietošana ir ļoti efektīva.

PID vadības aprēķins (algoritms) ietver trīs atsevišķus konstantos parametrus un attiecīgi tos sauc par proporcionāli – integrēto – diferenciāli. Apvienojot proporcionālo, integrālo un diferenciālo vienādības likumu iegūst PID vadības algoritmu, pēc kura darbojas PID-regulators. PID algoritma struktūru veido proporcionālā, integrējošā un diferenciējošā posma paralēlais slēgums. PID regulatora izejas signālu sastāda trīs komponentes. Tās mainās tieši proporcionāli ieejas signāla amplitūdai, tā izmaiņas ātrumam un integrālim no tā. PID – regulatora dinamiskās īpašības novērtē pēc reakcijas uz lēcienveida ieejas iedarbi. Padodot lēcienveida signālu regulatora ieejā, vispirms sāk darboties diferenciējošā ķēde, kas dod apsteidzošu izejas signāla komponenti. Diferenciējošās ķēdes ģenerētais impulss ātri norimst. Tālāko procesa gaitu nosaka proporcionālā un integrējošā ķēde. Pēdējā pakāpeniski likvidē regulēšanas statisko kļūdu.

PID – regulators nodrošina visaugstāko procesa vadības kvalitāti, jo regulējošā iedarbe uz objektu tiek formēta atkarībā no trim faktoriem – ieejas signāla amplitūdas, tā izmaiņas ātruma un integrāļa. Tā kā PID – regulatora struktūru veido trīs paralēli savienoti posmi – proporcionālais, integrējošais un diferenciējošais, tad tā darbības algoritms veidojas kā šo posmu algoritmu summa (skat. Att. 6.3).



Attēls 6.3 PID kontroliera blokshēma

Definējot $u(t)$ kā regulatora izejas, iegūto PID algoritmu var uzrakstīt šādi:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (6.2.)$$

kur:

K_p – regulēšanas parametra proporcionālais pieaugums

K_i – regulēšanas parametra integrālais pieaugums

K_d – regulēšanas parametra atvasinātais pieaugums

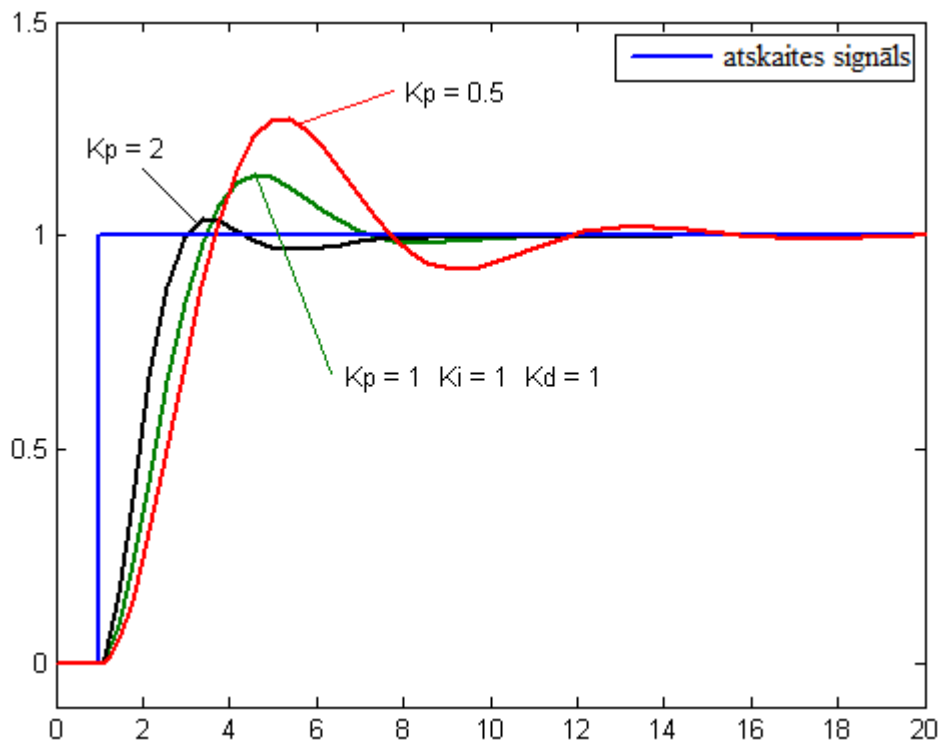
$e - K\dot{u}da = SP - PV$ (SP – iestatījums; PV – procesa mainīgais vai norises vērtība)

t – laiks vai momentānais laiks

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

Tālākos aprēķinos tiks apskatīti proporcioņālie vienādojumi. Proporcioņālais jēdziens ietver K_p – regulēšanas parametra proporcioņālo pieaugumu, kur K_i un K_d ir konstanti. Proporcioņālais jēdziens veic izmaiņas izejā, kas ir proporcioņāla ar pašreizējo kļūdas vērtību. Proporcioņālo reakciju var koriģēt reizinot kļūdu ar konstantu K_p , ko sauc proporcioņālo pieaugumu, kuru apraksta sekojoši :

$$P_{izejas} = K_p e(t) \quad (6.3.)$$



Attēls 6.4 Procesā mainīgā (PV) diagramma no laika ar trijām K_p vērtībām, kur K_i un K_d ir konstanti

Ja proporcioņālais pieaugums ir pārāk liels, sistēma var kļūt nestabila. Toties, ja proporcioņālais pieaugums ir pārāk zems, tad vadības darbība var būt pārāk maza, atbildot uz sistēmas traucējumiem (skat. Att. 6.4).

Tiks aplūkoti gadījumi ar harmoniskām un biharmoniskām vadībām.

6.2 Aprēķins izmantojot optimālo vadību

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 u_1, u_2 :

$$u_1 \leq u(t, s, \dot{s}) \leq u_2 \quad (6.4.)$$

Vadības darbībai abās robežās ir viena vērtība.

$$n = 0 \dots 10000$$

$$s = 0.03$$

$$b = 1$$

$$m = 1500$$

$$P_0 = 1000$$

$$P_1 = 500$$

$$F_b = 1$$

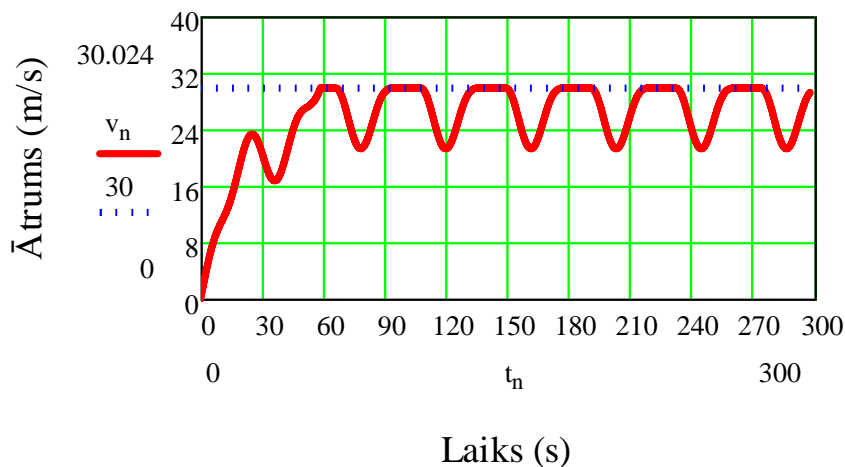
$$\omega = 0.15$$

$$H = 1000$$

$$t_n = ns$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} = & \left[v_n + \frac{s}{m} [-b(v_n)^2 \text{sign}(v_n) - F_b \text{sign}(v_n) + \right. \\ & x_n + sv_n \\ & + P_0 \text{sign}(v_n)(0.5 - 0.5 \text{sign}(v_n - 30)) - P_1 \text{sign}(v_n)(0.5 + 0.5 \text{sign}(v_n - 30)) + \\ & \left. \left. + H1 \left(\sin(\omega t_n) + 1 \sin \left(2\omega t_n + \frac{\pi}{2} \right) \right) \right] \right] \quad (6.5) \end{aligned}$$

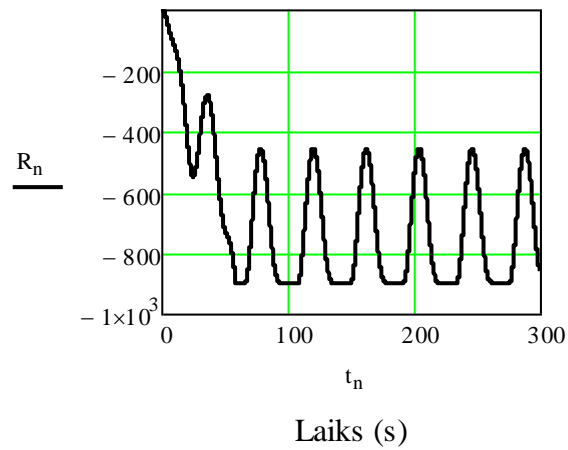
Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 6.5 – 6.9.



Attēls 6.5 Ātrums kā laika funkcija intervālā 20 – 30 m/s

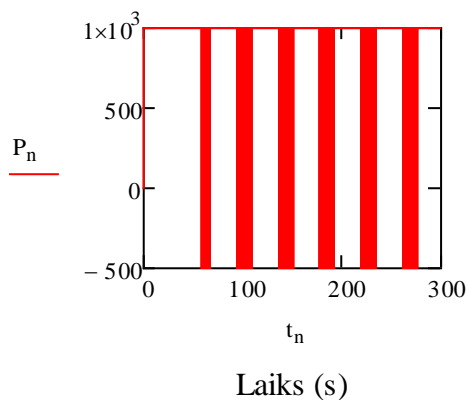
Pretestības spēks – kvadrātiska gaisa pretestība un rites pretestība F_b

$$R_n = -b(v_n)^2 \text{sign}(v_n) - F_b \text{sign}(v_n) \quad (6.6)$$



Attēls 6.6 Pretestības spēks kā laika funkcija

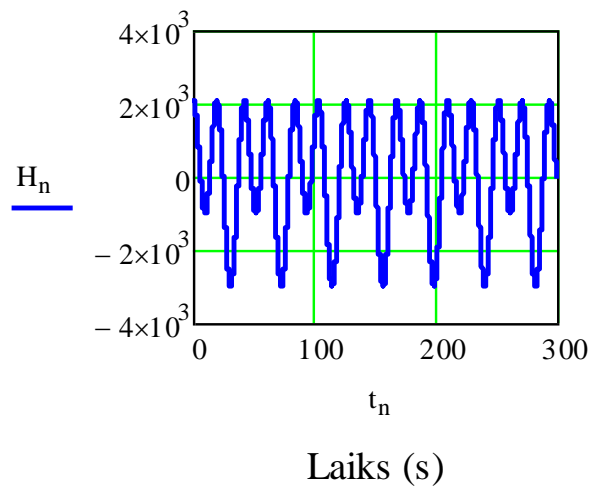
$$P_n = P_0 \text{sign}(v_n)(0.5 - 0.5 \text{sign}(v_n - 30)) - P_1 \text{sign}(v_n)(0.5 + 0.5 \text{sign}(v_n - 30)) \quad (6.7)$$



Attēls 6.7 Dzinēja spēks kā laika funkcija

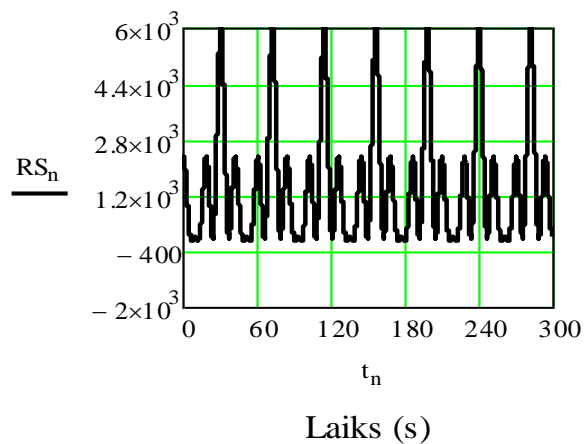
Harmonisks spēks H_n

$$H_n = H1 \left(\sin(\omega t_n) + 1 \sin \left(2\omega t_n + \frac{\pi}{2} \right) \right) \quad (6.8)$$



Attēls 6.8 Harmonisks spēks kā laika funkcija

$$RS_n = \frac{H_n}{1} \left(\sin(\omega t_n) + 1 \sin\left(2\omega t_n + \frac{\pi}{2}\right) \right) \quad (6.9)$$



Attēls 6.9 Biharmoniska smaguma komponente

6.3 Aprēķins izmantojot lineāro vadību

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 limita ātruma un pašreizējā ātruma v_n .

$$n = 0 \dots 3000$$

$$s = 0.03$$

$$b_0 = 0.105$$

$$b_1 = 0.001$$

$$b_2 = 0.0001$$

$$b_3 = 0.00001$$

$$\omega = 0.2$$

$$H_0 = 0.5$$

$$H_1 = 5$$

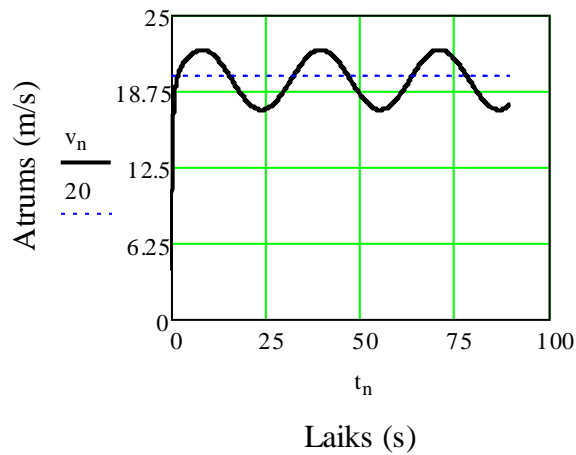
$$C = 2$$

$$t_n = ns$$

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,01 \\ 4 \end{pmatrix}$$

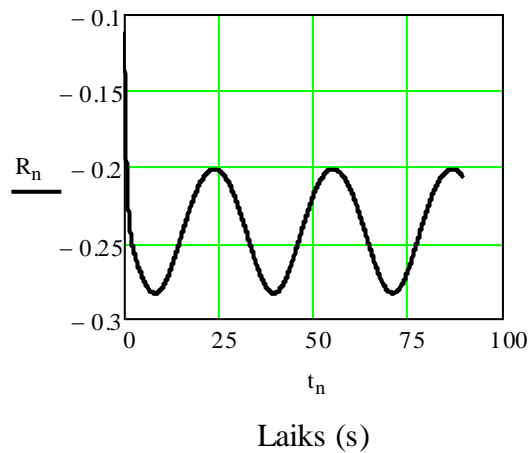
$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x_n + sv_n \\ v_n + s[-b_0 \text{sign}(v_n) - b_1 v_n - b_2 (v_n)^2 \text{sign}(v_n) - b_3 (v_n)^3 + (-H_0 + H_1 \sin(\omega t_n)) + C(20 - v_n)] \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 6.10 – 6.14.



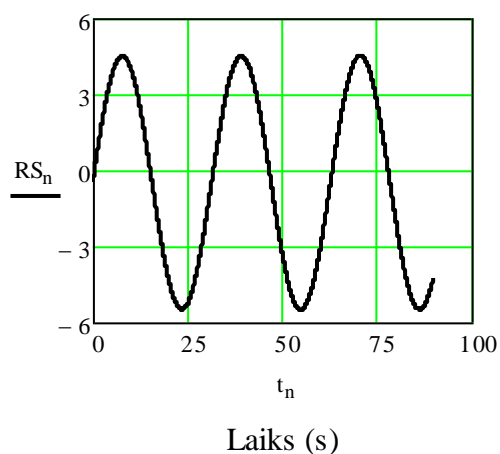
Attēls 6.10 Ātrums kā laika funkcija pie limitētā ātruma 20m/s

$$R_n = -b_0 \text{sign}(v_n) - b_1 v_n - b_2 (v_n)^2 \text{sign}(v_n) - b_3 (v_n)^3 \quad (6.11)$$

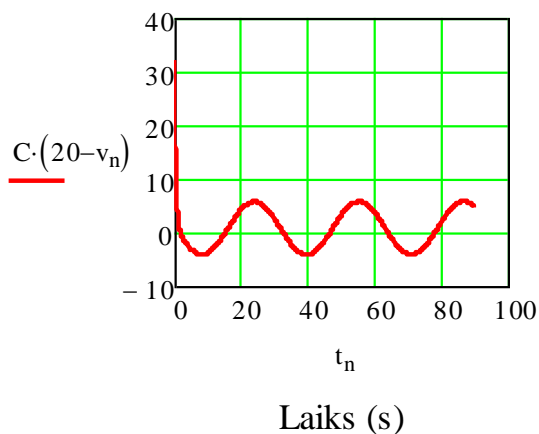


Attēls 6.11 Pretestības spēks kā laika funkcija

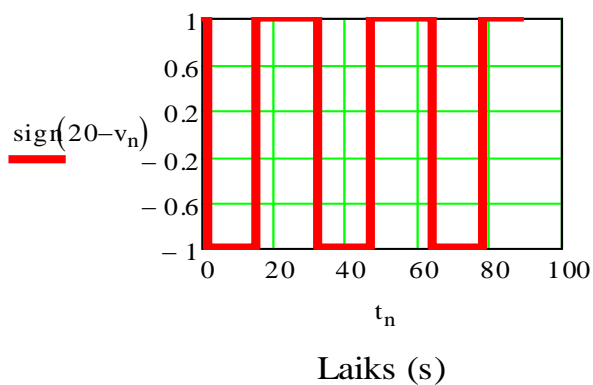
$$RS_n = -H_0 + H_1 \sin(\omega t_n) \quad (6.12)$$



Attēls 6.12 Biharmoniska smaguma komponente



Attēls 6.13 Lineārās vadības komponente



Attēls 6.14 „Bang-Bang” vadības darbība laika posmā

6.4 Aprēķins izmantojot plakano (Flat) vadību

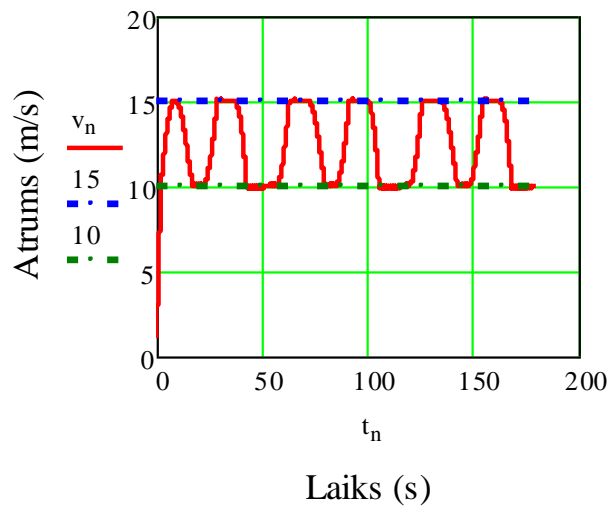
Vadība šajā gadījumā ir normēta, lai nebūtu jāraksta konkrētā automobiļa masa u.c. lielumi. Šajā gadījumā modelētā automobiļa kustība ir ar biharmonisku gadījuma amplitūdas ierosmi, vadība ir stabila. Vadība darbojas tikai diapazonā no 10 līdz 15 m/s.

$$n = 0 \dots 6000$$

$$\begin{aligned}
s &= 0,03 \\
b_0 &= 0.105 \\
b_1 &= 0.001 \\
b_2 &= 0.0001 \\
b_3 &= 0.00001 \\
\omega &= 0.1 \\
H_0 &= 2.7 \\
H_1 &= 0.12 \\
H_2 &= 2 \\
C &= 2 \\
t_n &= ns \\
\begin{pmatrix} x_0 \\ v_0 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0,01 \\ 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

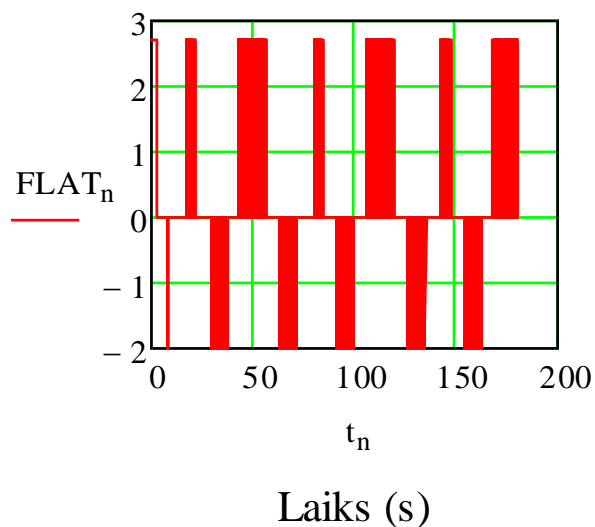
$$\begin{aligned}
\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} &= \left[\begin{aligned} &v_n + s[-b_0 \text{sign}(v_n) - b_1 v_n - b_2 (v_n)^2 \text{sign}(v_n) - b_3 (v_n)^3 + \\ &x_n + s v_n \\ &+ [H_0(0,5 - 0,5 \text{sign}(10 - v_n))(1) - H_2(0,5 - 0,5 \text{sign}(15 - v_n)) + \\ &+ H_1(1 + \text{rnd}(10)) \left(\sin(\omega t_n) + 2 \sin\left(2\omega t_n + \frac{\pi}{2}\right) \right)] + 0 \end{aligned} \right] \quad (6.13)
\end{aligned}$$

Iegūtie rezultāti ir uzskatāmi parādīti Att. 6.15 – 6.19.



Attēls 6.15 Ātrums kā laika funkcija intervālā no 10 – 15 m/s

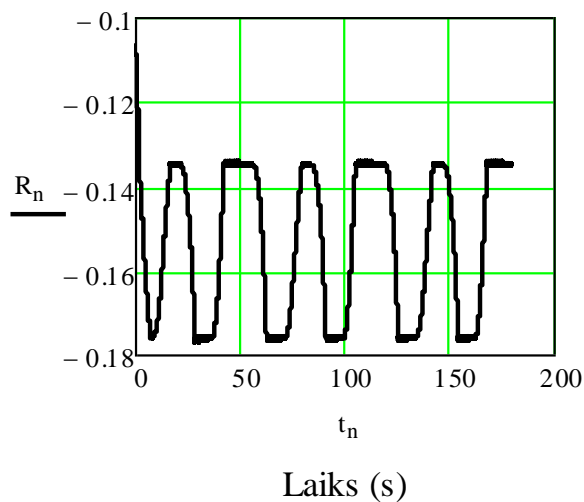
$$FLAT_n = H_0(0,5 - 0,5 \text{sign}(10 - v_n))(1) - H_2(0,5 - 0,5 \text{sign}(15 - v_n)) \quad (6.14)$$



Attēls 6.16 Vienotā plakanā (Flat) vadība no laika

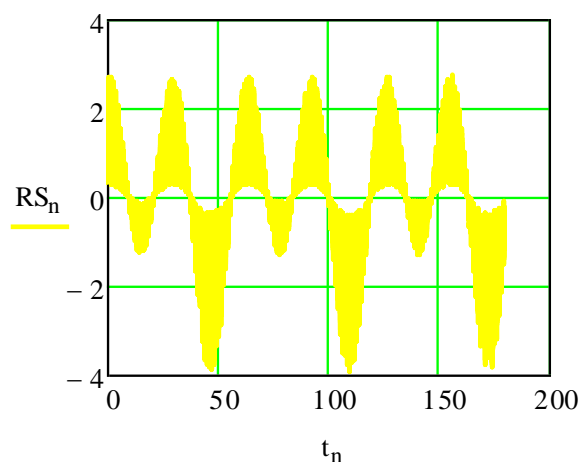
Pretestības spēki ievērtēti ar visādi iespējamajiem variantiem, ar automobiļa ātruma visām pakāpēm, no nulles līdz vienotā plakanā (Flat) vadības darbība laika posmā kubam.

$$R_n = -b_0 \text{sign}(v_n) - b_1 v_n - b_2 (v_n)^2 \text{sign}(v_n) - b_3 (v_n)^3 \quad (6.15)$$



Attēls 6.17 Pretestības spēks kā laika funkcija

$$RS_n = H_1(1 + \text{rnd}(10)) \left(\sin(\omega t_n) + 2 \sin\left(2\omega t_n + \frac{\pi}{2}\right) \right) \quad (6.16)$$

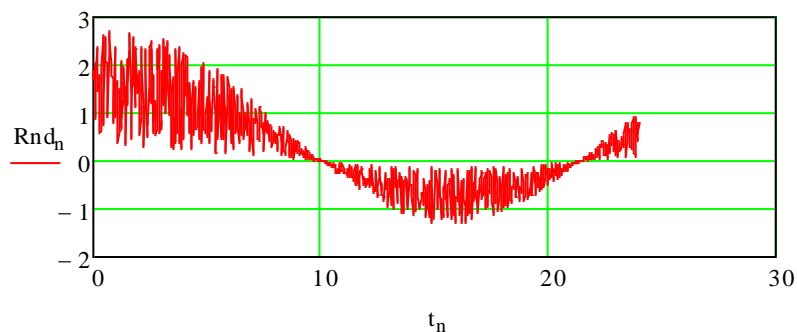


Laiks (s)

Attēls 6.18 Biharmoniska smaguma komponente

$$Rnd_n = H_1(1 + rnd(10)) \left(\sin(\omega t_n) + 2\sin\left(2\omega t_n + \frac{\pi}{2}\right) \right) \quad (6.17)$$

$n = 0 \dots 800$



Laiks (s)

Attēls 6.19 Gadījuma (Random) vadības darbība laika posmā

6.5 Nodaļas secinājumi

1. Izmantojot izplūdušo (Fuzzy) vadības elementus, ir izstrādāta jauna metodika, ko var izmantot dažādu veidu transporta sistēmu vadības sintēze reālās ceļu situācijās.
2. 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.
3. Iegūtos rezultātus, var pielietot arī citu vadāmu objektu kustības sintēzē, piemēram, niršanas ierīcēs, robotikā, zemūdens robotos u.c.

7. AUTOMOBILU KONTROLES MĒRINSTRUMENTU PANEĻA PARAMETRISKĀ OPTIMIZĀCIJA

7.1 Ievads

Darbā ir apskatīts augsti efektīvas metodikas pielietojums (Janushevskis u.c. (2010)) automobiļu kontroles mērinstrumentu paneļa (KMP) korpusa formas elementu optimizācijai, kuram jānodrošina tādas prasības – kā stiprība, nepārsniedzot pieļaujamo spriegumu līmeni, stingums, atbilstoši svara un precizitātes raksturojumi, kā arī jābūt ar minimālu kaitīgo ietekmi uz apkārtējo vidi. Izstrādāts KMP trīsdimensiju modelis, kurš ir uzskatāmi parādīts Att. 7.1, aprēķināti statistiskie un dinamiskie raksturlielumi, kā arī tā ietekme uz apkārtējo vidi kā summārais enerģijas patēriņš, oglekļa dioksīda un skābju izmeši atmosfērā, eitrofikācija. Izmantojot dažādus rādītāju kritērijus, ir iespējams iegūt attiecīgos optimālos risinājumus KMP korpusa formām. Tā kā visa objekta modelis ir pietiekoši sarežģīts un aprēķini darbietilpīgi, tad pie optimizācijas konstrukciju elementu modeļu vietā tiek izmantoti to metamodeļi, kuru izveidošanai pielieto eksperimenta plānošanas metodi (Auziņš un Januševskis (2007)). Metamodeļu pielietošana ļauj veikt objekta daudzkritēriālo optimizāciju ar stohastisko globālās meklēšanas procedūru (Auzins un Janushevskis (2007)). Optimizācijas veikšanai atsevišķie kritēriji tiek apvienoti (veikta agregācija) kompleksajā kritērijā. KMP dinamiskā uzvedība priekš atrastajiem alternatīviem risinājumiem, ko iegūst izmantojot metamodeļus, tiek pārbaudīti ar pilnu modeļu galīgo elementu (GE) risinājumiem kā priekš determinētām, tā arī stacionārām gadījuma ierosmēm.



Attēls 7.1 Uzņēmuma Merpro kontroles mērinstrumenta paneļa (KMP) dizains, kas projektēts AMO PLANT un 3D ģeometriskais modelis

7.2 Kontroles mērinstrumentu paneļa (KMP) optimizācijas uzdevuma formulējums

Iepriekš pieminētā metodika (Janushevskis u.c. (2010)) ar metamodeļu izmantošanu ir pielietojama KMP formas multikriteriālajai optimizācijai. Problēma tiek formulēta sekojoši:

$$\min_x F(x) = [F_1(x), F_2(x), \dots, F_k(x)]^T \quad (7.1.)$$

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

kur:

k – kvalitātes rādītāju F_i skaits;

m – ierobežojumu nevienādību veidā skaits;

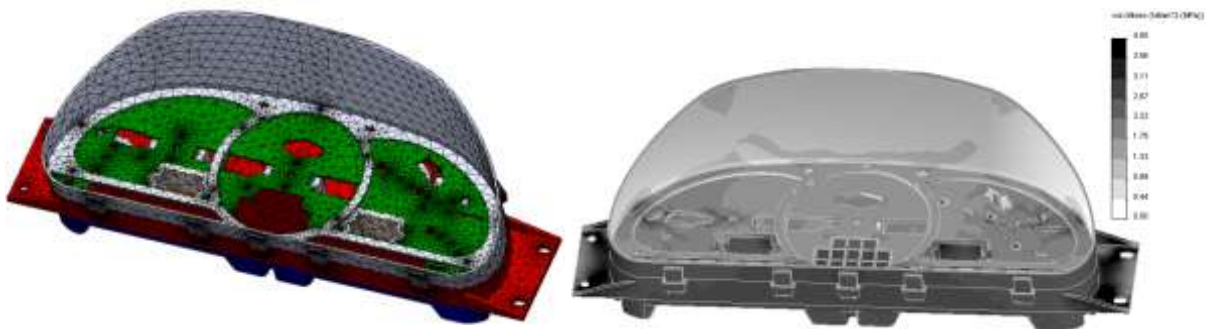
e – ierobežojumu vienādību veidā skaits;

$x \in E$ – n optimizācijas parametru vektors.

Izskatīsim atsevišķi katru kvalitātes rādītāju un procedūras projektējamā objekta atbilstošo atbilžu aprēķinam.

7.3 KMP stiprības aprēķins

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 $a = 10g$. Optimizācijas nolūkā ir lietderīgi veikt atbilstošus aprēķinus ar datora palīdzību, jo reālie eksperimenti prasa ievērojamu materiālu un laika patēriņu. Tāpēc ar programmu SolidWorks (SW) ir izstrādāts 3D KMP ģeometriskais modelis, kas parādīts Att. 7.2. Tas sastāv no 18 komponentēm: 6 deformējamiem ķermeņiem un 12 standarta komplektējošām daļām, kas tiek traktētas kā cieti ķermeņi ar zināmām inerciālajām īpašībām. Deformējošo ķermeņu materiāls – termoplasts, marka ABC 2020. KMP sākuma tilpums $v_0 = 656012 \text{ mm}^3$ un masa $m_0 = 1.02 \text{ kg}$. Kontrolmērinstrumentu paneļa 3D ģeometriskais modelis tiek izmantots GEM analīzei un dažādu pētāmās sistēmas atbilžu aprēķiniem. Modeļa diskretizācija, kura ir parādīta Att. 7.2 tiek veikta ar tetraedru elementiem (ar minimāliem = 1.8 mm un maksimāliem = 9 mm izmēriem, blakus elementu izmēru attiecība ne lielāka par 1.5), kas ļauj ar pietiekošu precizitātes pakāpi aprakstīt KMP sarežģītās formas ķermeņus. Izveidotais GEM tīkls sastāv no ~ 147 tūkstošiem elementu, kas satur ~ 210 tūkstošus mezglu.



Attēls 7.2 GEM diskretizācija 3D modelim un Mizesa spriegumu sadalījums sākuma konstrukcijā

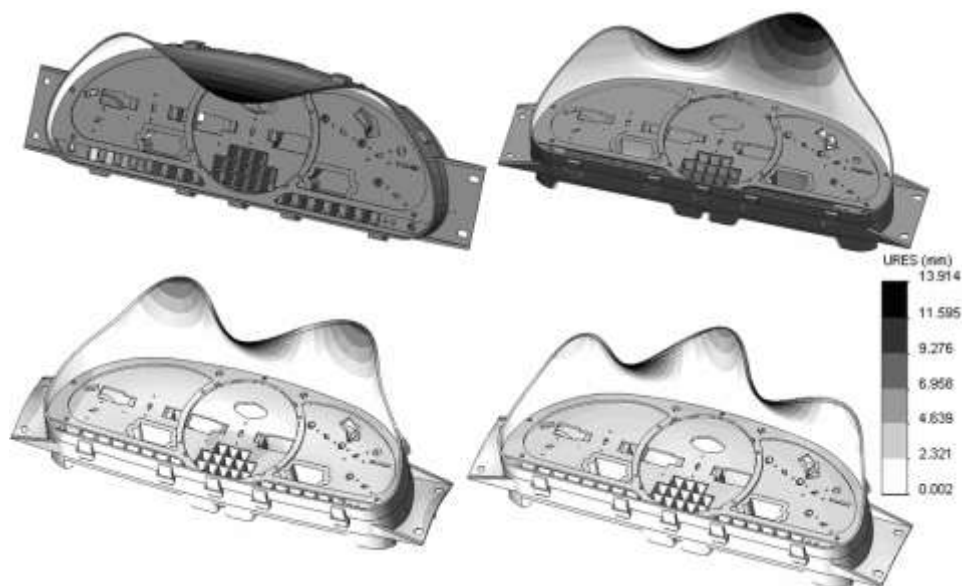
Att. 7.2 dots Mizesa spriegumu, kas veidojas no triecienslodzes, sadalījums KMP sākuma konstrukcijā. Maksimālās vērtības novērojamas KMP korpusa kronšteinos sasniedzot $4MPa$. Spriegumi pārējās konstrukcijas daļās ir ievērojami mazāki. Tas nozīmē, ka ir nepieciešams uzlabot kronšteina konstrukciju.

7.4 KMP frekvenču analīze

Frekvenču analīzei tiek izmantots programmas SW skaitliskais risinātājs FFEPlus. Ģeometriskais modelis un diskretizācijas parametri ir tādi paši kā iepriekš nodaļā 7.3 aprakstītie. Att. 7.3 ir parādītas svārstību formas četrām zemākajām pašfrekvencēm. ($f_1=112.71$ Hz, $f_2=146.35$ Hz, $f_3=209.32$ Hz, $f_4=246.62$ Hz).

7.5 KMP konstrukcijas ietekme uz apkārtējo vidi

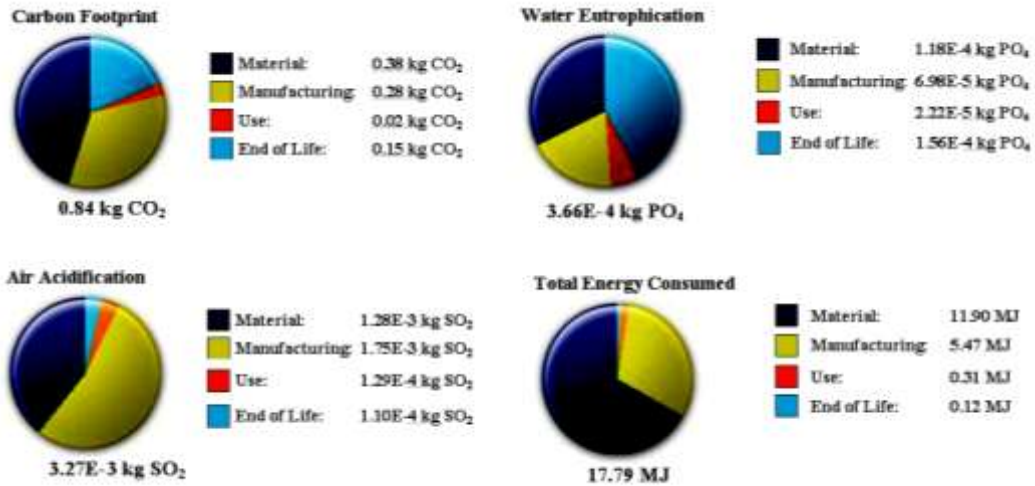
Mūsdienās konstrukcijas jāveido, ievērojot to ietekmi uz apkārtējo vidi. Programma SW Sustainability ļauj noteikt projektējamo iekārtu kaitīgo ietekmi uz apkārtējo vidi, ieskaitot oglekļa, skābju, ūdens tilpņu piesārņojumu un summāro enerģijas patēriņu, kas uzskatāmi ir parādīts Att. 7.4 visām KMP konstrukciju komponentēm, ievērojot izvēlētos materiālus, izgatavošanas tehnoloģijas, transportēšanu un izstrādājumu utilizāciju jeb otrreizējo pārstrādi.



Attēls 7.3 KMP svārstību formas četrām zemākajām pašfrekvencēm

Model Name:	Panelis SW2.SLDPRT	Material:	PVC Rigid	Volume:	1.77E+5 mm ³	Manufacturing Type:	Injection Molded
				Surface Area:	1.95E+5 mm ²		
				Weight:	230.47 g		

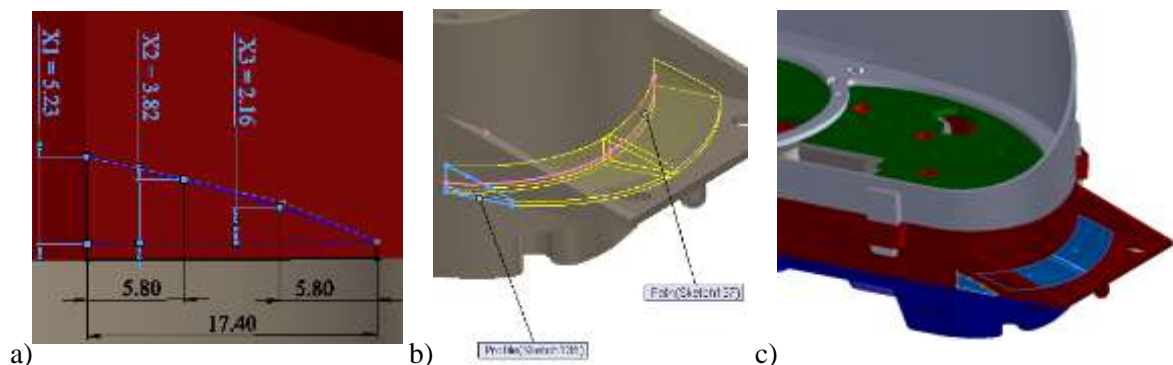
Environmental Impact



Attēls 7.4 Izmešu daudzums apkārtējā vidē no KMP korpusa, tā visas dzīves cikla laikā

7.6 KMP korpusa kronšteina formas optimizācija

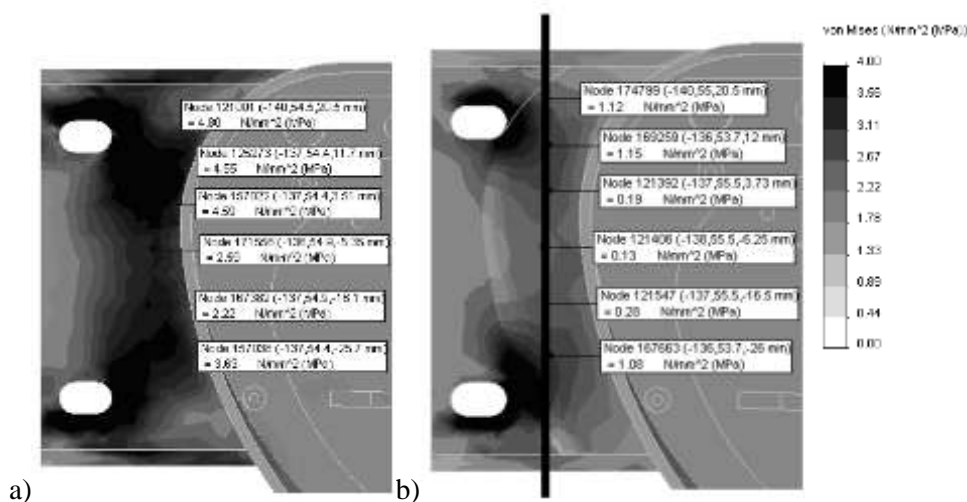
Atbilstoši metodikai kronšteina šķērsriezuma forma tiek uzdota ar B splaina trijiem mezglu punktiem, kas uzskatāmi ir parādīts Att. 7.5. Par optimizācijas parametriem kalpo atbalsta punktu koordinātes, kas tiek variētas sekojošos diapazonos: $3 \leq X_1 \leq 6$; $2 \leq X_2 \leq 5$; $0 \leq X_3 \leq 3$. Telpiskā kronšteina forma tiek veidota izmantojot līklīnijas trajektoriju, kura ir redzama Att.7.5 b). Analogiska forma tiek veidota arī otrajam simetriski izvietotajam kronšteinam. Maksimālo ekvivalento spriegumu minimizācijas rezultātā pie kopējā materiāla apjoma ierobežojuma ($v < 665200 \text{ mm}^3$) kontrolmērinstrumentu panelim ir iegūta kronšteina forma, kas parādīta Att. 7.5 c).



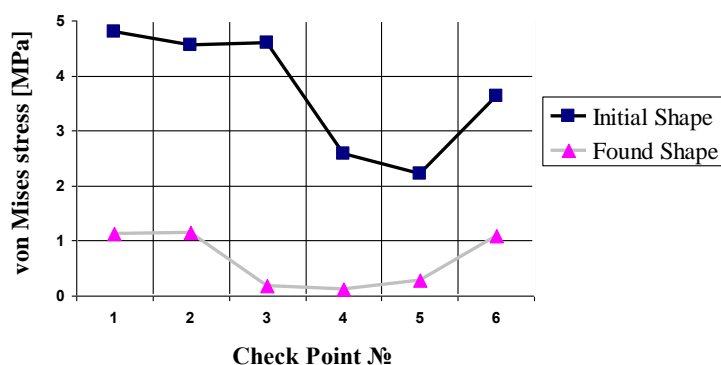
Attēls 7.5 Kronšteina formas uzdošana: a) šķērsriezuma forma; b) 3D formas iegūšana, izmantojot līklīnijas trajektoriju; c) iegūtā kronšteina forma

Att. 7.6 ir salīdzināts Mizesa spriegumu sadalījums sākumkonstrukcijā, un konstrukcijā, kas iegūta ar optimizācijas palīdzību. Kā redzams Att. 7.7 spriegumi tiek salīdzināti sešos raksturīgajos punktos, kas atrodas visvairāk slogotajās kronšteina vietās. Iegūts konstrukcijas tilpums $v = 665158\text{mm}^3$, bet maksimālo Mizesa spriegumu līmenis samazināts par $\sim 82.4\%$, salīdzinot ar izejas (sākotnējo) konstrukciju.

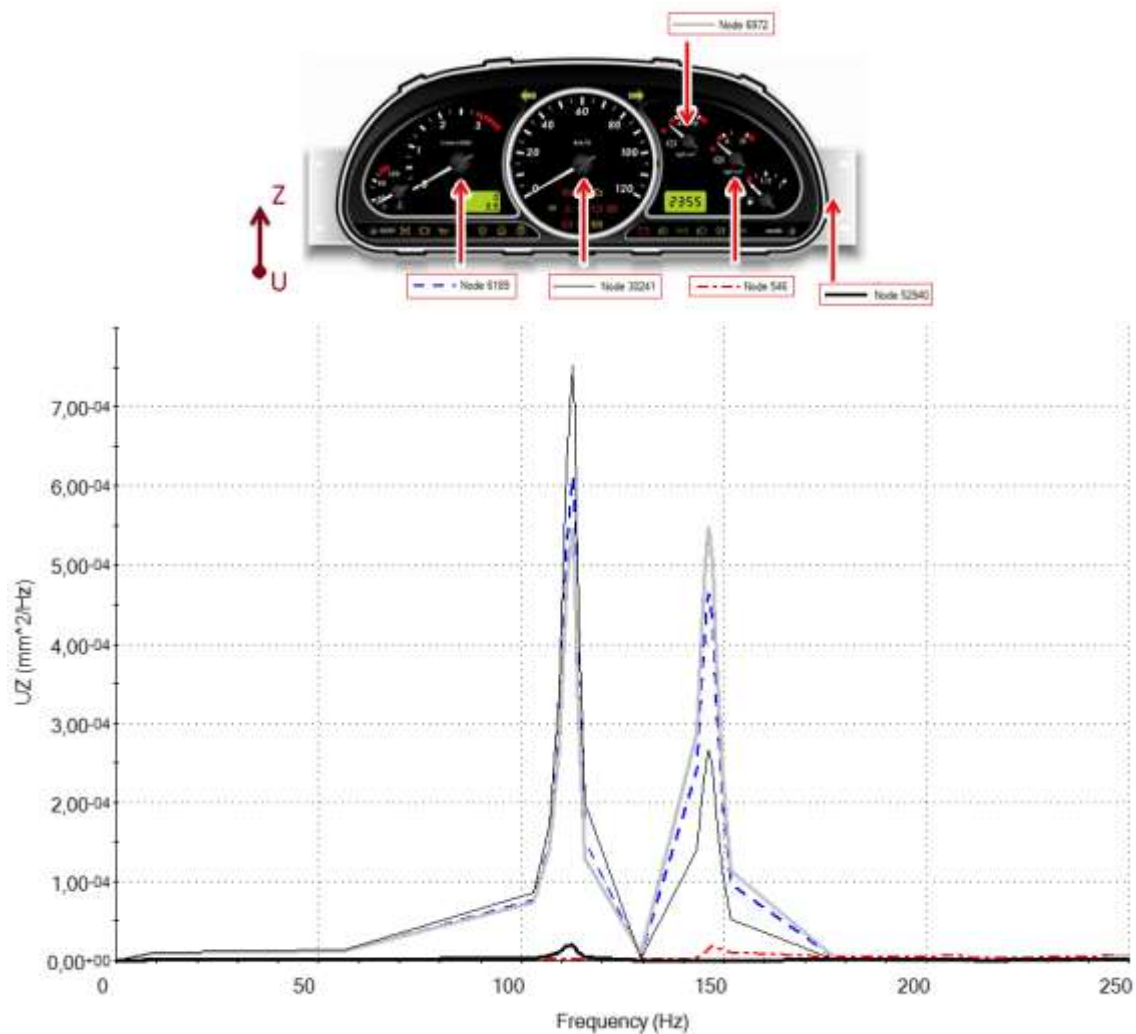
Optimālie risinājumi, kas iegūti ar metamodeļu izmantošanu, tiek pārbaudīti uz pilniem GEM modeļiem, kā pie determinētām tā arī gadījuma ierosmēm. Att. 7.8 ir parādītas vertikālo pārvietojumu spektrālā blīvuma funkcijas raksturīgajos KMP punktos, ko rada gadījuma ierosmes, kas ir pieliktas KMP korpusa stiprināšanas vietās pie transportlīdzekļa korpusa.



Attēls 7.6 Mizesa spriegumu sadalījums kronšteina šķērs griezumā: a) sākuma konstrukcijai un b) optimizētajai KMP konstrukcijai



Attēls 7.7 Mizesa spriegumi kronšteina kontrolpunktos



Attēls 7.8 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. 7.9.att.), izmantojot SW photoview360 programmatūru.



Attēls 7.9 Sadarbībā ar SIA „Merpro” izstrādātais KMP

7.7 Nodaļas secinājumi

1. Ir iegūti pirmie rezultāti transportlīdzekļu KMP modelēšanā un komponentu formas optimizācijā.
2. Izstrādāta jauna metode objektu formas optimizācijai, pielietojot diskrētus formas parametrus. Tas ļauj iegūt gludas tehnoloģiski viegli realizējamas formas un neprasa lielus skaitļošanas resursus (tā kā neģludās formas kā tādas tiek izslēgtas no meklēšanas procesa).
3. Metodes pamatā ir dotās pieejas darbietilpīgākā procedūra (ir atbilžu aprēķins GEM modeļiem atbilstoši eksperimentu plāniem) kas nepieciešama atbilstošo metamodeļu izveidošanai.
4. Parādīta metodes būtība pie dažādām kvalitātes rādītāju agregācijas stratēģijām daudzkriterialās optimizācijas gadījumos (kā arī vienkritēriālo uzdevumu ar ierobežojumiem gadījumos, lai iegūtu pieņemamu KMP konstruktīvo risinājumu).

SECINĀJUMI

Promocijas darbā tika izstrādātas jaunas metodikas inženiertehnisko objektu novērtēšanā un izstrādāšanā. Ir iegūti oriģināli zinātnisku pētījumu rezultāti, kuru rezultātiem ir būtiska nozīme Ražošanas automatizācijas un pārstrādes tehnikas apakšnozarē. Tika iegūti sekojoši rezultāti un atziņas:

1. Tika veikta vairāku argumentu kritērija optimizācijas metodes izstrāde veselas gammas dažādu automobiļu marku novērtēšanā.
2. Tika pielietota Pareto optimizācijas metode divu parametru kompromisa apgabala izstrādei.
3. Pirmo reizi Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnieku aprindās pielietota Fuzzy elementu pielietojums objekta (automobiļa) kustības vadības metodes izstrādāšanā.
4. Izstrādāta pilnīgi jauna metodika objekta (automobiļa kontroles mērinstrumentu paneļa) formas atrašanai ar parametrisko optimizācijas metodi, kuras teorija uzsākta izstrādāt RTU MDZPL (Mašīnu un mehānismu dinamikas problēmu ZP laboratorijā).
5. Lietotas mūsdienīgas analīzes un datu apstrādes metodes:
 - a) pie parametru optimizācijai 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 pielieto eksperimenta plānošanas metodi;
 - e) ietekme uz apkārtējo vidi kā summārais enerģijas patēriņš, oglekļa dioksīda un skābju izmeši atmosfērā, eitrofikācija izmantojot SolidWorks programmatūru.

Rezultātu teorētiskā novitāte – izstrādātas metodikas inženiertehnisko objektu novērtēšanā un projektēšanā.

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

LITERATŪRA

- Adby, P. and Dempster, M. (1974). Introduction to Optimization Methods. Chapman and Hall, London.
- Antonsson, E. K. and Otto, K. N. (1997). Improving Engineering Design with Fuzzy Sets. In Dubois, D., Prade, H. and Yager, R. R., editors, Fuzzy Information Engineering: A Guided Tour of Applications, chapter 38, John Wiley & Sons, 633–654 p.
- Athan, T. W. and Papalambros, P. Y. (1996). A note on weighted criteria methods for compromise solutions in multi-objective optimization. Eng. Optim. 27, 155–176 p.
- Auzins, J. and Janushevskis, A. (2007). Design of Experiments and Analysis. Riga: RTU, 255 p.
- Bandemer, H. (1993). Modelling Uncertain Data. Akademie Verlag, 1st edition, Berlin.
- Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in Fuzzy Environment. Management Science, 141-163 p.
- Belmane, I. (2004). publikācija „Eko-dizaina situācijas analīze Latvijā” http://www.videsvt.lv/files/Eco-design%20in%20the%20Baltics_dec1412lv.pdf –
- Benson, H. P. (1978). Existence of efficient solutions for vector maximization problems. J. Optim. Theory Appl. 26, 569–580 p.
- Borja de Mozota, B. (2003). Design Managment. Using design to build brand value and corporate innovation, Alworth Press, New York, 289 p.
- Brehm, R. (1997). Zwei Methoden zur Generierung von Designalternativen am Beispiel eines Passagierflugzeug-Kabinenlayouts. RWTH Aachen, Diplomarbeit.
- Brehm, R., Kriese, T. and Sebastian, H.-J. (1997). Fuzzy Sets in Engineering Design. In Zimmermann H.-J., editor IDEA`97 - Intelligent Design in Engineering Applications Symposium at the 5th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing - EUFIT`97, Aachen, Germany.
- Brosowski, B. and da Silva, A. R. (1994). Simple tests for multicriteria optimality. OR Spektrum 16, 243–247 p.
- Chen, S.-J. and Hwang, C.-L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, -volume 375, Springer-Verlag, New York.
- Chen, W., Sahai, A., Messac, A. and Sundararaj, G. (2000) Exploration of the effectiveness of physical programming in robust design. J. Mech. Des. 122, 155–163 p.
- Dekarts, R. (2007). Pārruna par metodi – Rīga: Zvaigzne ABC, 104 lpp.
- Dieter, G. E. and Schmidt L. C. (2009). Engineering Design, McGRAV – HILL Fourth Edition, International Edition, 827 p.
- Dong, W. and Shah, H. (1987). Vertex method for computing functions on fuzzy variables. Fuzzy Sets and Systems, 24(1): 65-78 p.
- Dong, W. and Wong, F.S. (1987). Fuzzy weighted averages and implementation of the extension principle. Fuzzy Sets and Systems, 21(2): 183-199 p.
- Engineers' Council for Professional Development (1999). Canons of ethics for engineers Conference publication, New York, 460 p.

- Geoffrion, A. M. (1968). Proper efficiency and the theory of vector maximization. *J. Math. Anal. Appl.* 22, 618–630 p.
- Janis. I. L., and Mann, L. (1976). *Am. Scientist*, November-December 1976, pp. 657 – 667
- 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.
- Kaufmann, A. un Gupta, M. M. (1985). *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*. Electrical/Computer Science and Engineering Series. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Kenney, R. L. (1992). *Value-Focused Thinking*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kenney, R. and Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Kepner, C. H. and Tregoe, B. B. (1997). *The New Rational Manager: A Systematic Approach to Problem Solving and Decision Making*, Kepner-Tregoe, Inc., Skillman, NJ.
- Komersanta vēstnesis (KV) (2008). Pievienotā vērtība - dizains. Nr.25/26 (132/133) 2008. gada 18. jūnijs, 24 lpp.
- 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.
- Law, W. S. and Antonsson, E. K. (1994). Implementing the Method Imprecision: An Engineering Design Example. In *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'94)*, -volume 1, IEEE, 358-363 p.
- Law, W. S. and Antonsson, E. (1995). Optimization Methods for Calculating Design Imprecision. In *Advances in Design Automation*, -volume 1, 471-476 p.
- Lewis, K. E., Chen, W. and Schmidt, L. C., eds. (2006). *Decision Making in Engineering Design*, ASME Press, New York.
- Messac, A., Sukam, C. P. and Melachrinoudis, E. (2000a). Aggregate objective functions and Pareto frontiers: required relationships and practical implications. *Optim. Eng.* 1, 171–188 p.
- Miettinen, K. (1999). *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Boston: Kluwer Academic Publishers
- Mollerup Designlab A/S. (2004). *Design for Latvia*, Final report, 160 p.
- Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments*, 6th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Muller. K. and Sebastian, H.-J. (1997). Intelligent Systems for Engineering Design and Configuration Problems. *European Journal of Operational Research*. Feature issue: Models and Methods for an Integrated Design of Products and Processes, 315-326 p.
- Norton, R. L. (2006) *Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Massachusetts Machine Design, An Integrated Approach*, Third Edition, Pearson, Education International, 984 p.
- Ogot, M. and Kremer, G. (2004). *Engineering Design, A Practical Guide*, Canada, 203 p.
- Otto, K. N. (1992). *A Formal Representational Theory for Engineering Design*, PhD tesis, California Institute of Technology, Pasadena, CA.

- Otto, K. N., Lewis, A. D. and Antonsson, E. K. (1993a). Approximating α -cuts with the Vertex Method. *Fuzzy Sets and Systems*, 43-50 p.
- Otto, K. N., Lewis, A. D. and Antonsson, E. K. (1993b). Determining Optimal Points of Membership with Dependent Variables. *Fuzzy Sets and Systems*, 19-24 p.
- Pareto, V. (1906). *Manuale di Economica Politica*, Societa Editrice Libraria. Milan; translated into English by A.S. Schwier as *Manual of Political Economy*, edited by A.S. Schwier and A.N. Page, 1971. New York: A.M. Kelley
- Parke, G., Ryan, S. and Jarek, G. (2006). Algorithms and Analyses for Maximal Vector Computation. *VLDB Journal* **16**, 5-28 p.
- Phadke, M. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Porter, M. E. (1993). *The Competitive Advantage of Nations*. Международная конкуренция : конкурентные преимущества стран, Москва : Международные отношения, 895 с.
- Raiffa, H. (1987). *Decision Analysis*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1968; Watson, S. R., and Buede, D. M. *Decision Synthesis: The Principles and Practice of Decision Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Rushton, A., Oxley, J. and Croucher, P. (2000). *The Handbook of Logistics and Distribution Management* (2nd ed.), London: Kogan Page.
- Salukvadze, M. E. (1971a). Optimization of vector functionals, I, programming of optimal trajectories. *Avtomatika i Telemekhanika* 8, (in Russian), 5–15 p.
- Salukvadze, M. E. (1971b). Optimization of vector functionals, II, the analytic construction of optimal controls. *Avtomatika i Telemekhanika* 9, (in Russian), 5–15 p.
- Schonberg, E., Heinzmann, F. and Feddersen, S. (1994). *Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien*. Addison-Wesley.
- Scott, M. J. and Antonsson, E. K. (1995). Aggregation Functions for Engineering Design Trade-offs. In 9th International Conference on Design Theory and Methodology, -volume 2, ASME, 389-396 p.
- Scott, M. J. and Antonsson, E. K. (1998). Aggregation Functions for Engineering Design Trade-offs, *Fuzzy Sets and Systems*, 253-264 p.
- Sebastian, H.-J. (1996). *Intelligent Systems for Configuration Problems*. *Fuzzy Sets in Engineering Design and Configuration*, Kluwer, 89-232 p.
- Stadler, W. (1988). Fundamentals of multicriteria optimization. In: Stadler, W. (ed.) *Multicriteria Optimization in Engineering and in the Sciences*. New York: Plenum Press, 1–25 p.
- Steuer, R. E. (1989). *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application*. Malabar: Robert E. Krieger Publishing
- The Engineers' Council for Professional Development (1990). *Science Journal*, Volume 94, Issue 2446, 456 p.
- Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. (2008). *Product Design and Development*, McGRAW – HILL Fourth Edition, International Edition, 368 p.

Ulrich, K. T. and Pearson, S. A. (1993). Does product design really determine 80% of manufacturing cost? Working Paper MSA 3601-93, MIT, Sloan School of Management, Cambridge, MA.

Valsts aģentūra Latvijas Investīciju un attīstības aģentūra (LIAA) (2008). Praktiskie soļi inovāciju un produktu dizaina ieviešanai rūpnieciskajā ražošanā, Metodisks materiāls Latvijas mazo un vidējo uzņēmumu attīstības veicināšanai, par pamatu izvēloties uz inovācijām, jaunu produktu attīstību, produktu dizainu un dizaina vadību balstītas prioritātes, 100. lpp.

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.

Vincent, T. L. (1983). Game theory as a design tool. ASME J. Mech. Transm. Autom. Des. 105, 165–170 p.

Vincent, T. L. and Grantham, W. J. (1981). Optimality in Parametric Systems. New York: John Wiley and Sons

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.

Wood, K. L., Otto, K. N. and Antonsson, E. K. (1992). Engineering Design Calculations with Fuzzy Parameters. Fuzzy Sets and Systems, 52 (1), 1-20 p.

Yu, P.-L. (1985). Multiple-Criteria Decision Making Concepts, Techniques, and Extensions. New York: Plenum Press.

Yu, P.-L. and Leitmann, G. (1974). Compromise solutions, domination structures, and Salukvadze's solution. J. Optim. Theory Appl. 13, 362–378 p.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, 338-353 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. (2001). Fuzzy Set Theory and its Applications, Boston: Kluwer Academic Publishers.

Zimmermann, H.-J. (1999). Practical Applications of Fuzzy Technologies, The Handbooks of Fuzzy Sets Series, Kluwer Academic Publishers, Boston, 667 p.

Zimmermann, H.-J. and Sebastian, H.-J. (1994). Fuzzy Design - Integration of Fuzzy Theory with Knowledge-based System-design. In Proceedings of the Third IEEE International Conference on Fuzzy Systems, -volume 1, IEEE, 352-357 p.

А.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

APZĪMĒJUMI UN SAĪSINĀJUMI

d_i	–	i -tais optimizācijas parametrs
P_{Π}	–	kompensējoša agregācijas (apkopošanas) funkcija
P_{min}	–	nekompensējoša agregācijas (apkopošanas) funkcija
\vec{d}	–	optimizācijas parametru d_i vektors, $i = 1, \dots, n$
\vec{p}	–	snieguma rādītāju (atbilžu) p_j vektors, $j = 1, \dots, m$
p_j	–	j -tais snieguma rādītājs (atbilde)
μ_d	–	objekta preference (projektētājs)
$\mu_d(\vec{d})$	–	objekta preference uz OPT
$\mu_d(\vec{p})$	–	objekta preference, kas inducēta uz SRT
μ_o	–	vispārēja preference, $P(\mu_d, \mu_p)$
$\mu_o(\vec{d})$	–	vispārēja preference, kas projicēta uz OPT
$\mu_o(\vec{p})$	–	vispārēja preference, kas projicēta uz SRT
μ_o^*	–	vispārējās preferences maksimums
μ_p	–	funkcionālā prasība (pasūtītājs)
$\mu_p(\vec{d})$	–	funkcionālā prasība, kas projicēta atpakaļ uz OPT
$\mu_p(\vec{p})$	–	funkcionālā prasība uz SRT
X	–	pieļaujamās optimizācijas parametru vērtības, OPT apakškopa
Y	–	pieļaujamās snieguma rādītāju (atbilžu) vērtības, SRT apakškopa
P	–	agregācijas (apkopošanas) funkcija

<i>ABS</i>	–	bremžu bloķēšanas sistēma
<i>DLP</i>	–	daudzkritēriju lēmumu pieņemšana
<i>FP</i>	–	funkcionālās prasības
<i>GE</i>	–	galīgais elements
<i>GEM</i>	–	galīgo elementu metode
<i>IAU</i>	–	ierobežojumu apmierināšanas uzdevums
<i>II</i>	–	izplūdušie ierobežojumi
<i>IM</i>	–	izplūdušais mērķis
<i>IPA</i>	–	izplūdušās projektēšanas algoritms
<i>IPM</i>	–	izplūdušās projektēšanas metode
<i>IVS</i>	–	izplūdušais vidējais svērtais
<i>KMP</i>	–	kontroles mērinstrumentu panelis
<i>LIA</i>	–	līmeņu intervāla algoritms
<i>LIA⁻¹</i>	–	LIA algoritms
<i>LMP</i>	–	lingvistisko mainīgo prasība
<i>NM</i>	–	neprecizitātes metodes
<i>OPT</i>	–	optimizācijas parametru telpa
<i>PID</i>	–	proporcionāli – integrētais – diferenciālais
<i>SMT</i>	–	snieguma mainīgo telpa
<i>SRT</i>	–	snieguma rādītāju telpas
<i>SW</i>	–	SolidWorks programmatūra