Genādijs MOSKVINS

AUTOMATIZĀCIJA

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Lauksaimniecības Enerģētikas institūts

G. MOSKVINS

AUTOMATIZĀCIJA

Mācību līdzeklis studiju priekšmetam
„Automatizācija”

Jelgava 2008

Mācību līdzeklis sagatavots un izdots ESF projekta „Inženierzinātņu studiju satura modernizācija Latvijas Lauksaimniecības universitātē" ietvaros, projektu līdzfinansē Eiropas Savienība.

Moskvins G. **Automatizācija:** Mācību līdzeklis. Jelgava: LLU, 2008. – 120 lpp.

Mācību - metodiskais līdzeklis paredzēts lauksaimniecības enerģētikas, lauksaimniecības inženierzinātnes, mežizstrādes un pārtikas tehnoloģijas inženieru specialitāšu bakalauru studiju studentiem. Mācību līdzeklī apkopoti automatizēto iekārtu un tehnoloģiju pamatu uzbūves modeļi, principi, aktualitātes un problēmas, aplūkoti mūsdienu automatizēto iekārtu un tehnoloģiju struktūra un aktuālie uzdevumi, piedāvāti automatizēto iekārtu un tehnoloģiju tehniskie risinājumi, aprēķini, tehnoloģiju piemēri un intelektuālie modeļi, veikta mūsdienu automatizēto iekārtu un tehnoloģiju analīze un dots to attīstības iespēju novērtējums. Pamatojoties uz mūsdienu automatizēto iekārtu un tehnoloģiju sistēmisko analīzi un nākotnes perspektīvām pētniecībā, lauksaimniecībā, ekonomikā, rūpniecībā un bionikā, izveidotas automatizēto iekārtu un tehnoloģiju vadības paradigmas un atbilstoša zināšanu bāze. Grāmatā tiek apspriesti daži teorētiskie, metodoloģiskie un praktiskie automatizēto iekārtu un tehnoloģiju aspekti, kas kopumā papildina zināšanu bāzi par mūsdienu automatizēto iekārtu un tehnoloģiju iespējām, uzbūves principiem un attīstības perspektīvām.

ISBN 978-9984-784-81-6

© Genādijs Moskvins
© LLU Tehniskā fakultāte

Saturs

1. Ievads ... 5
2. Pamatjēdzieni un terminoloģija ... 7
3. Automatizēto sistēmu uzbūves princips un optimizācijas modeļi ... 10
3.1. Tehnoloģiskā procesa vispārinātais vadības modelis ... 10
3.2 . Skaitļošanas intelekts un modelēšana ... 13
3.3. Optimālo lēmumu sintēze ... 17
3.4. Parametriskās optimizācijas matemātiskais modelis ... 18
3.5. Optimālo struktūru meklēšana ... 19
3.6. Globālā ekstrēma meklēšanas algoritms ... 21
3.7. Konkurējošo punktu algoritms ... 23
3.8. Nejaušās meklēšanas algoritms ... 24
3.9. Klasteru analīze ... 24
3.10. Faziloģika ... 26
3.11. Optimālās vadības princips ... 30
3.12. Ģenētiskie algoritmi ... 33
3.13. Neironu tīkli ar apmācību bez apmācītāja ... 36
3.14. Biosistēmu vadības modeļi ... 38
4. Mūsdienu tehnoloģisko procesu un iekārtu automatizācija ... 41
4.1. Mūsdienu automatizācijas principu īpatnības ... 41
4.2. AVS funkcionālās shēmas jēdziens ... 48
4.3. Interfeisu tipi ... 49
4.4. Tehnoloģisko procesu vizualizācijas sistēmas ... 50
4.5. Primāro mērīšanas pārveidotāju izvēle ... 50
4.6. Komunikāciju protokoli ... 51
4.7. PLC protokola izvēles piemērs ... 52
5. Degvielas uzskaites automatizācija autotransporta uzņēmumos ... 53
5.1. Problēmas analīze ... 53
5.2. Degvielas uzpildes stacijas un to aprīkojums ... 55
5.3. Degvielas uzpildes aparātu raksturojums ... 58
5.4. Degvielas sūkņi ... 61
5.5. Skaitītāji un to vispārīgs raksturojums ... 62
5.6. Skrūvveida skaitītāji ... 63

5.7. Skaitītāji ar ovalveida zobratiem ... 64
5.8. Virzuļveida skaitītāji ... 65
5.9. Karioliusa (masas) skaitītāji ... 65
5.10. Ultraskaņas degvielas skaitītāji ... 66
5.11. Automatizētās uzskaites vadības kontrolleri ... 67
5.12. Degvielas pildpistoles ... 67
5.13. Degvielas uzskaites tiesiskā bāze un normatīvie akti ... 68
5.14. Degvielas dabiskie zudumi ... 71
5.15. Mērījumu kļūdas ... 71
5.16. Degvielas tilpuma izmaiņas temperatūras ietekmēšana ... 72
5.17. Degvielas krājumu atlikumu mērījumi ... 74
5.18. Mērīšanas rezultātu novērtēšanas varbūtības–statistisko metožu analīze ... 74
5.19. Mērīšanas kļūdu novēršanas automatizācija ... 82
6. Piena produktu ražošanas tehnoloģisko procesu automatizācija ... 84
6.1. Vidējais piena ķīmiskais sastāvs ... 84
6.2. Piena ķīmiskās sastāvdaļas raksturojums ... 84
6.3. Kvalitātes rādītāji: piena fizikāli – ķīmiskās īpašības ... 86
6.4. Piena uzskaites automatizācijas tehniskie parametri ... 88
6.5. Piena uzskaites automatizācijas iekārtu uzbūves, darbības principi un iekārtu raksturojums ... 89
6.6. Piena pieņemšanas un uzskaites automatizācija ... 90
6.7. Aukstumražīguma noteikšanas aprēķins ... 94
6.8. Šķīduma – dzesētāja izvēles aprēķins ... 95
6.9. Bufertilpuma noteikšanas aprēķins ... 97
6.10. Aukstumiekārtu energopatēriņa aprēķins ... 98
6.11. Centrbēdzes sūkņu automatizācija ... 98
6.12. Centrbēdzes sūkņa spiediena aprēķins ... 99
6.13. Tehnoloģisko iekārtu mazgāšanas sistēmu automatizācija ... 100
7. Enerģiju taupošu tehnoloģiju automatizācija ... 107
8. Literatūra ... 116

IEVADS

XXI gadsimta pasaules materiālā un humanitārā iekārta balstīsies uz informācijas plūsmām, komunikācijām un intelektuālām tehnoloģijām. Zinātne kļūs par galveno sabiedrības radošo spēku, bet zināšanu iegūšanas un izmantošanas tehnoloģijas kļūs par pamatprocesiem, kas noteiks XXI gadsimta sociālo, ekonomisko un kulturālo reālitāti.

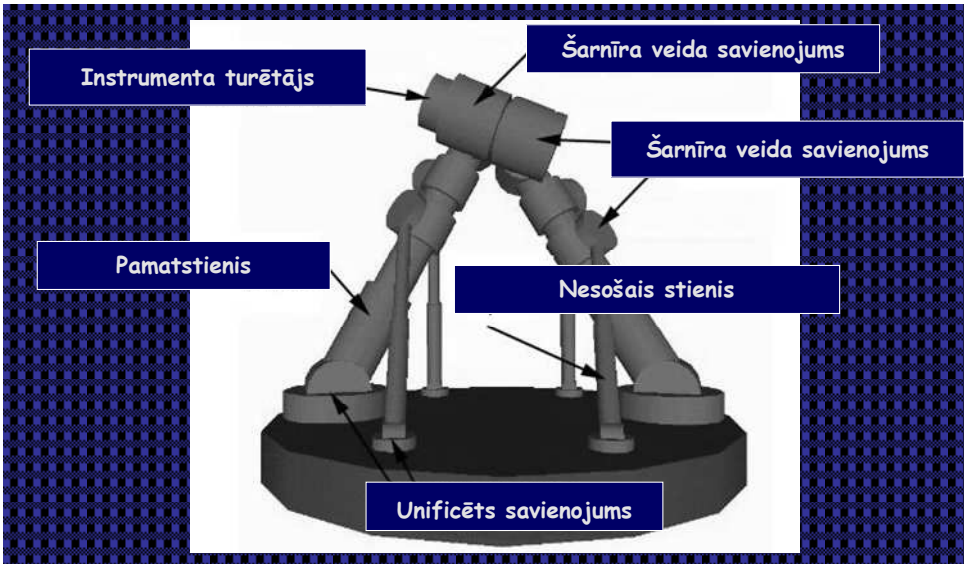
Automatizācija sasaista vienā sistēmā automātiskās vadības sistēmas, automātikas elementus, programmēšanu un tehnoloģisko procesu. Automatizācijas procesi ir dinamiski, komplicēti un savstarpēji cieši saistīti ar inženiertehniskām problēmām. Automatizācijas galvenie mērķi ir palielināt ražīgumu un produktivitāti; samazināt produkcijas pašizmaksu; iegūt atkārtojamu kvalitāti; nodrošināt vairāk informācijas par procesu vai objektu; uzlabot darba apstākļus. Automatizācija aizvien biežāk ieņem vadošo vietu lauksaimnieciskās produkcijas ražošanas tehnoloģijās [1-7]. Pāreja uz automatizācijas metožu un tehnoloģisko procesu norises ideoloģiju šodien izskatās jau kā neizbēgama. Īpaši daudzsološi var kļūt pētījumu rezultāti, kas balstās uz automatizācijas teorijas konceptuāliem nolikumiem attiecībā uz lauksaimniecības produkcijas ražošanas tehnoloģijām un to kvalitātes kontroles problēmām, jo cilvēces apgādes problēma ar kvalitatīviem pārtikas produktiem, pēc ANO Pārtikas Komisijas slēdziena, šodien jau izskatās kā kritiska. Automatizācijas sistēmās aizvien biežāk izmanto skaitļošanas intelektu (simboliskā līmenī), nevis tikai tradicionālās modelēšanas principus (skaitļu līmenī). Automatizācijas priekšmeta apgūšanai kļūst nepieciešamas speciālās zināšanas gan mehānikas, gan elektronikas, gan informācijas tehnoloģiju teorijā un instrumenti. Automatizētā ierīce uzņemas savdabīga intelektuālā interfeisa lomu starp cilvēku un mašīnu, kas operē nevis ar miglainām informācijas kopām, bet ar lietošanai gataviem, mērķtiecīgiem, "apdomātiem" lēmumiem. Dažāda tipa mūsdienu rūpnieciskie roboti automātiski realizē noteiktu mehānisko kustību vai operāciju kompleksu bez cilvēka līdzdalības pēc noteikta kontrollera programmas algoritma, t.i. izmantojot datortehnoloģijas. Tādā veidā un šādā virzienā notiek mūsdienu automatizācijas sistēmu attīstība [8-18].

Diemžēl var konstatēt, ka pārtikas resursu daudzums uz mūsu planētas strauji samazinās. Ekoloģiskās, sociālās un enerģētiskās problēmas, pārtikas bāzes globālā pasliktināšanas, arī cilvēces kopskaita pieaugums liek meklēt gan tradicionālus papildus resursus, gan principiāli jaunas tehnoloģiskās iespējas. Rezerves šajā jomā meklējamas, galvenokārt, izmantojot intelektuālo tehnoloģiju iespējas un zinātnes potenciālu. Pirmkārt tas attiecas uz bioinženieriju, nanotehnoloģijām un mākslīgo intelektu [19-22, 25-26, 30-32, 38-42, 46-59].

Nav nekā tāda, ko nevarētu izveidot ar nanotehnoloģiju palīdzību. Bioloģiskās sistēmas, līdzīgi kokiem un cilvēkiem, principā, tā pati molekula, kas iegūta ar sīkām molekulārām nanomašīnām. Pagaidām mūsdienu ražošanas tehnoloģijas un metodes, kas strādā molekulārā līmenī, vēl ir ļoti nepilnīgas, tā kā milzums produkciju veidojošas atomu kopas pārvietojas tehnoloģiskajās plūsmās haotiski. Prognozējams, ka automatizētās nanotehnoloģijas un nanoroboti atļaus mums izvairīties no kvalitātes nodrošināšanas problēmām. Tas atļaus izveidot principiāli jaunas paaudzes produkciju, kas būs daudz pieejamāka, tīrāka, daudz izturīgāka, daudz vieglāka un daudz precīzāka. Spēja veikt saprātīgas manipulācijas molekulārā mērogā (1. att.) dos mums to, par ko cilvēks tikai sapņoja pirmatnējos laikos, lai iegūtu absolūtu kontroli pār dabu.

Mācību - metodiskā līdzekļa aktualitāti nosaka LLU studiju programmu paplašināšana intelektuālo un informācijas tehnoloģiju virzienā, automatizēto tehnoloģiju dominēšana visā pasaulē, kā arī tādas zināšanu bāzes veidošana, kas veicinātu progresīvu lauksaimniecības tehnoloģiju ieviešanu un attīstību Latvijā, atļautu lauksaimnieciskās produkcijas ražotajiem uzlabot darba apstākļus, pacelt darba ražīgumu un uzlabot produkcijas kvalitāti, kas kopumā

veicinātu konkurētspējīgas lauksaimniecības produkcijas ražošanu un konkurētspējīgu speciālistu sagatavošanu Eiropas darba tirgus apritē.



1. att. **Nanomolekulu salikšanas instruments**

2. PAMATJĒDZIENI UN TERMINOLOĢIJA

o *Galīgais automāts* - diskrētas sistēmas matemātiskas abstrakcijas modelis, kas apraksta sistēmas izmaiņas diskrētos laika momentos atkarībā no ieejas datiem un iepriekšējā stāvokļa. Par galīgu sauc tādēļ, ka ieejas, izejas un stāvokļu kopas var būt tikai galīgas. Galīgais automāts ir viens no *abstraktā automāta* gadījumiem. Pēc tā, vai automāts vienā laika momentā var atrasties vienā vai vairākos stāvokļos, izšķir determinētos galīgos automātus un nedeterminētos galīgos automātus.
o Par *„intelektu"* sauksim spēju risināt intelektuālos uzdevumus zināšanu iegūšanas, arhivēšanas, atcerēšanās un mērķtiecīgas pārveidošanas ceļā, kas iegūta apmācībās, pieredzes uzkrāšanas un adaptācijas procesā dažādos jaunos apstākļos. *Intelekts* ir spēja objektīvi analizēt situāciju un pieņemt optimālo lēmumu. Šajā definīcijā ar terminu *„zināšanas"* tiek domāta ne tikai tā informācija, kas nonāk līdz smadzenēm caur maņu orgāniem. Šāda tipa zināšanas ir ārkārtīgi svarīgas, bet nepietiekamas intelektuālai darbībai, jo apkārtējās vides objektiem piemīt īpašība ne tikai iedarboties uz mums, bet arī mijiedarboties savā starpā noteiktā veidā.
o Termins *intelekts (intelligence)* ir cēlies no latīņu vārda *„intellectus"* – kas nozīmē gudrību, saprātu, prātu, cilvēka domāšanas spējas. Atbilstoši mākslīgais intelekts *(AI - Artificial Intelligence)* – MI parasti tiek definēts kā automātisko sistēmu spēja pārņemt atsevišķas cilvēka intelekta funkcijas, piemēram, izvēlēties un pieņemt optimālo risinājumu (jo cilvēka domāšana, kā izziņas process, ir racionāls, nevis optimāls) uz agrāk iegūtas pieredzes un ārējo iedarbību analīzes pamata.
o *Intelekta pazīmes* - izpaužas spējā mācīties un pieņemt optimālu lēmumu nenoteiktā situācijā.
o *Neironu tīkli* - balstīti uz struktūrām, kas līdzīgas cilvēka smadzenēm; sistēmas ar ļoti lielām *tēlu pazīšanas* spējām.
o *Fazisistēmas (fuzzy systems)* - tehnika spriešanai nenoteiktības apstākļos, plaši izmanto mūsdienu ražošanas un patērētāju kontroles sistēmās.
o *Evolucionārā skaitļošana* - izmanto bioloģijā pielietotas koncepcijas, tādas kā populācija, mutācija un dabiskā atlase, lai atrastu labākos problēmas risinājumus. Šīs metodes iedala: *evolucionārajos algoritmos* (piem., *ģenētiskais algoritms*); spieta *algoritmos* (piem., *skudru algoritms).* Ar *hibrīdām intelekta sistēmām* notiek mēģinājumi kombinēt šīs abas grupas. *Algoritms* (pēc 9. gs. Vidusāzijas matemātiķa *Al Horezmī* vārda latīniskās formas *Algorithmi*) - matemātisks priekšraksts uzdevuma risināšanai.
o *Algoritmu teorija* - matemātikas nozare, kas pēta algoritmu vispārīgās īpašības.
o *Algoritmu valoda* - formālā algoritmu valoda, kas parasti ir programmēšanas valodu sastāvdaļa.
o *Ģenētiskie algoritmi* (ĢA) ir pašapmācošs modelis, kurš uzlikto uzdevumu risināšanai izmanto dabiskās atlases algoritmus.
o *Klasteru analīze* kā daudzdimensionālo datu kopu strukturālās analīzes metode, ir paredzēta lai sadalītu objektu kopu uzdotā vai nezināmā klašu skaitā, pamatojoties uz klasifikācijas kvalitātes matemātisko kritēriju.
o *Prāts* – domāšanas un saprašanas spēja. Filozofijas vēsturē – saprāts, gars, intelekts. Šo stadiju ilgums laikā ir atkarīgs no uztveramā signāla vai tēla komplicētības.
o *Percepcija* – (no lat. *Perceptio* – iztēlošana, uztvere).
o *Apercepcija* – neskaidra, neapzināta uztvere skaidras apziņas pretstatā.
o *Uztvere* – informācijas pieņemšanas un pārveidošanas salikts process, kurš nodrošina objektīvās realitātes atspoguļojumu un orientāciju apkārtējā pasaulē. Uztveres funkcijas - objekta atrašana uztveres laukā, atsevišķu pazīmju atšķiršana objektā, informācijas satura, darbības mērķa atbilstības izdalīšana tajā, uztveres tēla veidošana.

o *Perceptuālā uztvere* kā informācijas uztveres procesa pamats tās turpmākai pārstrādei raksturojas ar šādām īpašībām: viengabalainība, saprātība, selektivitāte, kontrastainums. Šīs perceptuālās uztveres īpašības nav perceptuālā tēla sākotnējās īpašības, tās veidojas tēla rašanās procesā.
o *Priekšstats* – agrāk uztveramā priekšmeta vai parādības (atmiņas, atcerēšanās) tēls, kā arī tēls, kas radīts ar produktīvo iztēli. Jutekliskā atspoguļojuma augstākā forma uzskatāmi tēlaino zināšanu veidā.
o *Jēdziens, saprašana* – domāšanas forma, kura atspoguļo priekšmetu un parādību būtiskās īpašības, saites un attiecības. Saprašanas pamata loģiskā funkcija – tā kopīgā izdalīšana, kas sasniedzas ar izdalīšanu no atsevišķu dotās klases priekšmetu visām īpatnībām. Loģikā saprašana ir doma, kurā apkopojas un izdalās kādas klases priekšmeti pēc noteiktām kopīgām un kopumā specifiskām pazīmēm.
o *Spriedums* ir prāta akts, kurš realizē attieksmi pret domas saturu un tas ir saistīts ar pārliecību (zināšanu) vai šaubām par tās patiesumu vai nepareizumu.
o *Slēdziens, secinājums* – garīga darbība uz normu un slēdzienu pamata, kas piemīt individuālai apziņai. Tie sakrīt ar loģikas likumiem.
o *Spekulatīva izziņa* – loģisko secinājumu virsējas garīgās apceres process, nepiedaloties maņu orgāniem. Spekulatīva izziņa (spekulācija) - idealizēta, fiksēta domāšanas forma, abstrahēta no jutekliskās pieredzes un sabiedriskās prakses. Ideālisma vēsturē izdalās divi spekulācijas veidi: 1) racionālā 2) intuitīvā.
o *Apcere* ir izzināšanas jutekliskā pakāpe, realitātes tiešas uztveres process bez loģiskiem secinājumiem.
o *Apziņa* ir objektīvās pasaules subjektīvais tēls, galvenā augstu organizētas matērijas īpašība, ideālās pasaules atveidošanas veids pēc noteiktām kopīgām un kopskaitā specifiskām pazīmēm.
Visciešāk saistīti filozofijas jēdzieni ir *prāts* un *saprāts*.

Par šiem jēdzieniem tiek runāts *Kanta* un *Hēgeļa* darbos. Tā pēc *Kanta* (Immanuel Kant, 1724-1804, vācu filozofs no Prūsijas), saprāts ir spēja radīt jēdzienus, likumus un spriedumus, bet prāts ir spēja radīt metafiziskās idejas. Savukārt, *Hēgelis* (Georg Vilhelm Fridrih Hegel, 1770-1831, vācu filozofs), pierāda, ka saprāts ir spēja operēt ar gatavām zināšanām, bet prāts ir jauno iespēju atklāšana no vecām zināšanām un jebkura jauno zināšanu sintēze.

Ir nepieciešams precizēt termina *„optimāls risinājums”* nozīmi. Vārds *“optimalitāte”* atgādina mums gan par materiālo resursu, gan mūsu intelektuālo spēju ierobežotību. Jo, pirmkārt, nedrīkst aizmirst, ka cilvēks kā bioloģiskās sistēmas racionālais modelis pats ir „salikts” - tā, ka rezultāts ir ļoti tālu no optimalitātes. Otrkārt, bioloģiskam objektam, piemēram, govij tīrā laukā “optimalitāte” vispār nav vajadzīga – tur iztikas resursu ir pārmērīgi daudz attiecībā pret dzīvnieka apetīti. Tātad optimizācijas problēma rodas tad, kad resursi ir ierobežoti. Taču šo terminoloģisko niansi var viegli pārvarēt, aizvietojot vārdu *“optimalitāte”* ar izteiksmi “sapratīgā lietderība”.

Tātad, *intelekts* ir optimālo risinājumu meklēšanas procesors telplaikā, kurš vislabāk apmierina intelekta veidotāja mērķa sasniegšanas nosacījumus. Šie nosacījumi var saturēt ierobežojumus un ievērot citu intelektu pretdarbību. Pēc šāda intelekta formulējuma nav principiālas atšķirības starp MI un *dabisko intelektu* (DI). Par atslēgas jēdzienu kļūst intelekta dibinātāja (radītāja, veidotāja) jēdziens.
o *Dabiskais intelekts* (DI) ir dzīvās matērijas iedzimti-iegūtā īpašība. MI ir algoritms, nedzīvās matērijas iegūta īpašība. Līdz ar to sauksim par *„intelektuālo”* tādu ierīci vai sistēmu, kas būs pirmkārt spējīga apmācīties un otrkārt pieņemt „optimālo” (sistēmai dzīvotspējīgu) lēmumu ierobežotu resursu apstākļos iepriekš nenoteiktās situācijās.
o *Mākslīgais intelekts* (MI) jeb mākslīgais saprāts (angļu val.: *Artificial intelligence* - AI) - datorzinātņu un citu zinātņu nozare, kas pēta mašīnu saprātīgu izturēšanos, apmācību un

pielāgošanos. MI ietvaros tiek pētīta saprātīga uzvedība (cilvēkiem, dzīvniekiem un mašīnām) un tiek mēģināts modelēt šādu uzvedību mākslīgi radītā mašīnā. Savukārt biologi ar MI modeļu palīdzību pēta bioloģisko sistēmu, organismu uzvedību, savstarpējo iedarbību. Vēsturiski ir izveidojušies trīs MI veidošanas virzieni.

Pirmās pieejas ietvaros izpētes objekts ir cilvēka smadzeņu struktūra un darbības mehānismi, bet galamērķis ir domāšanas noslēpumu atklāšana. Nepieciešamie izpētes etapi šajā virzienā ir modeļu konstruēšana uz psihofizioloģisko datu bāzes, eksperimentu vadīšana ar tiem, jaunu hipotēžu izvirzīšana attiecībā uz intelektuālās darbības mehānismiem, modeļu pilnveidošana utt.

Otra pieeja kā izpētes objektu uztver MI. Šeit runa ir par intelektuālās darbības modelēšanu ar skaitļošanas mašīnu palīdzību. Darbu mērķis šajā virzienā ir skaitļošanas mašīnu algoritmiskā nodrošinājuma un programmatūras radīšana, kas ļautu risināt intelektuālus uzdevumus ne sliktāk par cilvēkiem.

Trešā pieeja ir orientēta uz jaukto cilvēku-mašīnu vai, kā vēl saka, interaktīvu intelektuālu sistēmu radīšanu uz dabīgā un mākslīgā intelekta iespēju simbiozi. Vissvarīgākā problēma šajos pētījumos ir optimālā funkciju sadale starp dabīgo un mākslīgo intelektu un dialoga organizēšana starp cilvēku un mašīnu. Paši pirmie uzdevumi, kurus sāka risināt ar ESM palīdzību bija loģiskās spēles (dambrete, šaha spēle) un teorēmu pierādīšana. Šeit jāatzīmē arī *Kloda Šennona* „elektroniskās peles" tipa kibernētiskās spēlītes, kuras vadīja sarežģīta releju shēma. Šī pelīte varēja „izpētīt" labirintu, un atrast izeju no tā. Pēc tam, jau zināmajā labirintā, tā nemeklēja izeju, bet uzreiz, neieskatoties strupceļa ejās, gāja laukā no labirinta.

o *Mākslīgo intelektu* var iedalīt stiprajā un vājajā.

Stiprā MI (Strong AI) mērķis ir izveidot mašīnas, kas varētu domāt tāpat kā cilvēks, tām būtu saprātīgas būtnes apziņa.

Vājais MI (Weak AI) ir kā blakusprodukts stiprā MI radīšanas procesā - dažādas tehnoloģijas, kuras tiek ieviestas sistēmās, lai papildinātu tās ar "saprātīgām" īpašībām; tas ir MI elementu pielietojums praktiskajā dzīvē. Pēc problēmas risināšanas pieejas mākslīgo intelektu iedala *konvenciālajos MI* un *skaitļošanas intelektā. Konvenciālais MI (conventional AI)* aptver metodes, kuras tagad klasificē kā *mašīnapmācību,* ko raksturo *formālisms* un *statistiskā analīze.* Tas ir pazīstams arī kā simboliskais MI, loģiskais MI.

Galvenās MI metodes:

Ekspertsistēmas - sistēmas, kas balstītas uz zināšanām;
Case based reasoning - uz analoģiskiem gadījumiem balstīta spriešana;
Baijesa tīkli - uz varbūtībām balstīti tīkli.

Uz uzvedību balstīts MI (*Behavior based AI*) - modulāra pieeja, kas sastāv no autonomām uzvedības programmām, kuras palaiž atkarībā no vides izmaiņām.

o *Skaitļošanas intelekts* (c*omputational Intelligence - CI*) ietver *iteratīvo* attīstību vai mācīšanos. Mācīšanās balstīta uz empīriskiem datiem un tiek saistīts ar nesimbolisko MI.

o *Neirons* – ir sistēmas pamatelements, tās uzbūves „šūna". Visas sekojošās struktūras veidojas, apvienojoties neironiem ar saišu palīdzību.

o *Ansamblis* – ir neironu grupa, kura tiek uzbudināti vienlaicīgi. Raksturojas ar noteicēja un ansambļa atomu esamību. Saišu virziens - no noteicēja uz atomiem.

o *Neirolauks* – neironu grupa, apvienota pēc kaut kādas pazīmes. Tipiskie piemēri ir normāls, interfeisa un emocionālais *neirolauks.*

o *Tīkls* – neironu kopa, kas savienota ar saitēm. Ir neironiem līdzīgas sistēmas pamats, tās zināšanu pamats.

o *Sistēma* – ir neironiem līdzīgs tīkls ar funkcionēšanas mehānismiem un domāšanas kontūriem, kuri nodrošina tā dinamiku un pašorganizāciju.

o *Lēmumu atbalsta sistēmas* nodrošina interaktīvu atbalstu lēmumu pieņemšanas procesā.

3. AUTOMATIZĒTO SISTĒMU UZBŪVES PRINCIPS UN OPTIMIZĀCIJAS MODEĻI

3.1. Tehnoloģiskā procesa vispārinātais vadības modelis

Tehnoloģisko procesu optimizācijas tehniskie aspekti ietver šo procesu automatizēto vadību, kuras ieviešana ražošanas procesā ir svarīgs produkcijas kvalitātes garants. Procesa vadību, kontroli un regulēšanu realizē, izmantojot daudzveidīgās iekšējās atgriezeniskās saites. Vadības un vadāmie objekti apmainās ar lielām informācijas plūsmām, ko koriģē vadības procesā. Sistēmas vadības objektiem pastāvīgi jāreaģē uz vadāmo objektu perturbācijām, panākot nepārtrauktu nepieciešamās kvalitātes, optimālu procesa tehnoloģisko norisi [11, 13].

Operatīvās vadības algoritmu izstrāde, kas balstās uz informatīvo parametru un procesu analīzi un kontroli, nodrošina optimāla tehnoloģiskā procesa norisi saskaņā ar ražošanas procesa mērķiem. Tādēļ drošas, optimālas rīcības algoritmu izstrāde procesa vadībai veicina ražošanas procesa optimizāciju. Operāciju algoritmizācija, veidojot modernus operatīvās informācijas kompleksus, ļauj piedāvāt tekošas, optimāli sistematizētas un iepriekš pārstrādātas un apkopotas algoritmizētā formā informācijas plūsmas. Tas atvieglo procesu vadību un kontroli un atbrīvo no rutīnas informācijas analīzes darba un dod iespēju vairāk laika veltīt tehnoloģiskā procesa novērošanai, produkcijas kvalitātes nodrošināšanai.

Kontrolējamam tehnoloģiskam procesam (TP) F_k (t) , k = 1, 2, 3, …, m atbilst tā modelis F_k^m (t). Šis modelis iekļauj sevī noteiktu pieļaujamu TP novirzes lielumu, kas raksturojas ar uzdotu parametru kompleksu a_o (t), a_1 (t), …a_n (t) laika sprīdī [0…T], t.i. F_k^m (t) = f[a_{ok}] , $a_{1\,k}$ (t)… a_{nk} (t)], kur $0 \le t \le T$. Aktuālā TP vērtība atšķiras no atbilstošā modeļa ar noteiktu novirzes lielumu ε_F (t) = F_k (t) - F_k^m (t). Atšķirībā no diskrēta tipa mašīnbūves TP, nepārtrauktos lauksaimnieciskos un bioloģiskos TP, kur dominē augi un dzīvnieki, sakarā ar inerces esamību atgriezeniskajā saitē kontroles gaitā šo novirzi novērst momentāni nav iespējams. Tāpēc bioloģiskos TP novērojumus vajag veikt nepārtraukti, bet datu apstrādi un izstrādāt vadības signālus nepieciešams veikt periodiski, ar noteiktu iepriekš uzdotu laika sprīdi t_{uz} .

Kontrolējama procesa aktuālo noviržu novēršanai izmanto vienmērīgas tuvināšanas matemātiskos modeļus, piemēram, algoritmu : ε_k (t) =*sup* |F_k (t) - F_k^m (t)|, kur $0 \le t \le T$. TP mikroprocesoru un PLC skaitļošanas algoritmus var realizēt uz polinomu datu apstrādes matemātiskajiem modeļiem, izmantojot galīgās starpības metodi. Šī metode dod iespēju aprēķināt aktuālas novirzes lielumu izmantojot polinomu F_k (t_i) = $a_o + a_1\, t_1 + \ldots + a_n\, t^n{}_i$ vadības trajektorijas (n+1) - punktā „n" – pakāpē, kas tiek attiecināts, „piedzīts" pie vadības līknes trajektorijas punktiem izmantojot galīgās starpības vienādojumu

$$F^m{}_k\,(t_i) = F_k\,(t_{i-1}) \;+\; [\Delta F_k\,(t_{i-1}) \;+ \ldots + \Delta^n\, F_k\,(t_{i-1})],$$

kur $F^m{}_k$ (t_i) – kontrolējama TP parametra prognozējama vērtība laika momentā t_i. Tad polinoma F_k (t_i) = $a_o + a_1\, t_1 + \ldots + a_n\, t^n{}_i$ ekstrapolācijai, vadības līknes $F^m{}_k$ (t_i) prognozei, pietiek ar vienu mērījumu katrā laika momentā.

Tehnoloģisko procesu analīzei, modelēšanai un kontrolei izmanto arī varbūtības un matemātiskās statistikas pielikumus (biometrija, kvalimetrija utt.), kuru teorētiskās lietošanas iespējas mūsdienās ir aktuālas. Tomēr matemātiskās statistikas teorijas pielietošana pati par sevi nedod tehnoloģisko procesu fizikālās modelēšanas un kvalitātes atbilstības kontroles problēmas adekvātu risinājumu, jo statistiskie un varbūtības kritēriji vairāk domāti ticamu datu iegūšanas tehnoloģijām, nevis iegūto datu apstrādei un novērtēšanai. Tādēļ izmantojot

kvalitātes kontroles statistiskos kritērijus, parasti cenšas izveidot tādu matemātisko modeli, kas vislabāk saskaņotos ar eksperimentāliem datiem.

Tomēr arī šādā veidā iegūtie matemātiskie modeļi bieži vien neatbilst reāli pastāvošām fizikālām norisēm, metroloģiskiem nosacījumiem un faktiski esošiem ražošanas apstākļiem. Rezultātā tehnoloģiskie procesi tiek vadīti un kontrolēti neprecīzi. Tas savukārt nelabvēlīgi ietekmē vadības sistēmas un gala produkta kvalitāti. Tādēļ ideāli būtu izveidot tādu procesa norises un atbilstības kontroles modeli, kas vienlaicīgi interpretētu gan matemātiskos, gan fizikāli-ķīmiskos, gan metroloģiskos priekšstatus par noritošiem tehnoloģiskiem procesiem. Tātad TP robežlielumu noteikšana statistiskās kontroles modeļa izstrādei ir noteicošs faktors tehnoloģiskā procesa kvalitātes nodrošināšanā. Matemātiskās statistikas metožu pielietošana tikai tad var dot tehnoloģisko procesu kontroles un vadības problēmas adekvātu risinājumu, kad tā balstās uz reālā procesa analīzes datiem un produkcijas izejas parametra - kvalitātes kontroles rezultātiem.

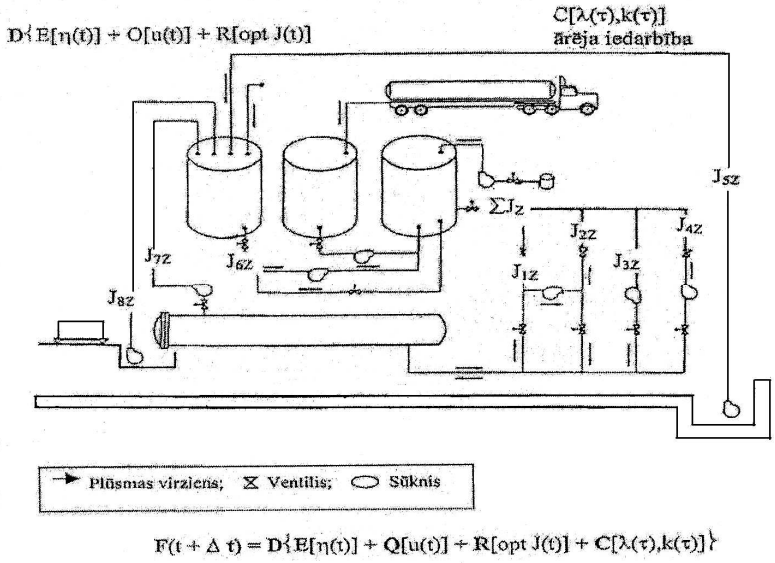
Kā zināms, jebkuru produktu iezīmē noteiktu fizikāli-ķīmisko raksturlielumu kopa. Šiem raksturlielumiem jāapmierina gala produkta un patērētāju vajadzības. Katrā nozīmīgā ražošanas procesa posmā nepieciešams veikt pasākumus, lai nodrošinātu tam atbilstošu vēlamo raksturlielumu vērtību. Tas savukārt izvirza prasību identificēt ražošanas procesa faktorus, kas ietekmē produkta raksturlielumus - šā procesa galvenos mainīgos. Kontrolējamo raksturlielumu vērtības nepieciešams izmērīt un novērtēt ražošanas procesa kontroles starppunktos, lai savlaicīgi un operatīvi veiktu nepieciešamās korekcijas. Tehnoloģiskā procesa atbilstības kontroles kartes izstrāde pamatojas uz procesa nosacījumiem un uz precīziem mērījumiem. Jebkuram procesu raksturojošam mērījumam ir aprēķinātas statistiskās novirzes robežas un, ja process nenoris ārpus normālā režīma parametriem, sagaidāms, ka vairums mērījumu atbildīs iepriekš noteiktajām robežām. Turpretī, ja procesa norise neatbilst normāla režīma raksturlielumiem, mērījumu rezultāti var būt ārpus šīm robežām.

Efektīva tehnoloģisko procesu kontroles metode ir statistiskā kontroles sistēma (*SKS*), ar kuras palīdzību var pārbaudīt tehnoloģiskos procesus, atklāt tajos atsevišķu ciklu un posmu novirzes no normas, veikt kvalitātes atbilstības kontroli, identificēt kvalitātes pasliktināšanās pamatcēloņus un izstrādāt adekvātas korekcijas darbības. Tāpat *SKS* kontrolkartes var kalpot kā efektīvs uzskaites, dokumentēšanas un komunikācijas līdzeklis starp dažādām procesā iesaistītām struktūrvienībām. Atbilstoši *SKS* principiem, ja mērījuma vērtība ir statistisko noviržu robežās, tad šādu situāciju dēvē par "atrašanos statistiskās kontroles robežās" un procesa stabilitāte ir kontrolējama un prognozējama. Mērījumu novirzes ārpus statistiskām kontroles robežām norāda, ka procesā radusies neatbilstība, kurai var būt gadījuma raksturs un tādēļ procesa turpmākā norise iespējama normālā režīmā, neveicot korekcijas darbību pasākumus.

Turpretī, ja mērījumi neiekļaujas statistiskās kontroles robežās un tiem ir pastāvīgs raksturs, nepieciešamai korekcijas pasākumi. Procesa galveno mainīgo noteikšana ir pirmais solis *SKS* - statistiskās kontroles sistēmas pielietošanā. Lai identificētu un dokumentētu inspekcijas vietas (kvalitātes kontroles punktus - *KKP*), izstrādājamas ražošanas un tehnoloģiskā procesa funkcionālās shēmas, kas atspoguļo kontrolmērījumus, kuri veicami, lai nodrošinātu produktam vajadzīgos raksturlielumus ražošanas vai izejvielu piegādes gaitā, kontroles procesa algoritma un tehnoloģisko operāciju secību identificēšanai. Mērījuma veidi shēmās apzīmējami ar numuriem. Tāda pieeja shēmas izstrādē dod iespēju viennozīmīgi un jebkurā stadijā noteikt stabu koksnes ražošanas un tehnoloģiska procesa kvalitātes kontroles punktus (*KKP*).

Procesa vadības algoritmi ir viens no informācijas sniegšanas veidiem standartsituācijās, lai panāktu ātrāku lēmumu pieņemšanu. Veidojot modernus operatīvās informācijas kompleksus, tiek iestrādātas optimālākās formas, kā operatīvam personālam piegādāt informāciju biežāk sastopamās un standarta situācijās.

Viena no tādām formām ir operatīvā darba algoritmi. Operatīvā darba algoritmi ļauj viegli sekot darbību loģiskai secībai, tie ir uzskatāmi un paātrina lēmumu pieņemšanu tehnoloģiskā procesa vadīšanai [57-59, 79-86].



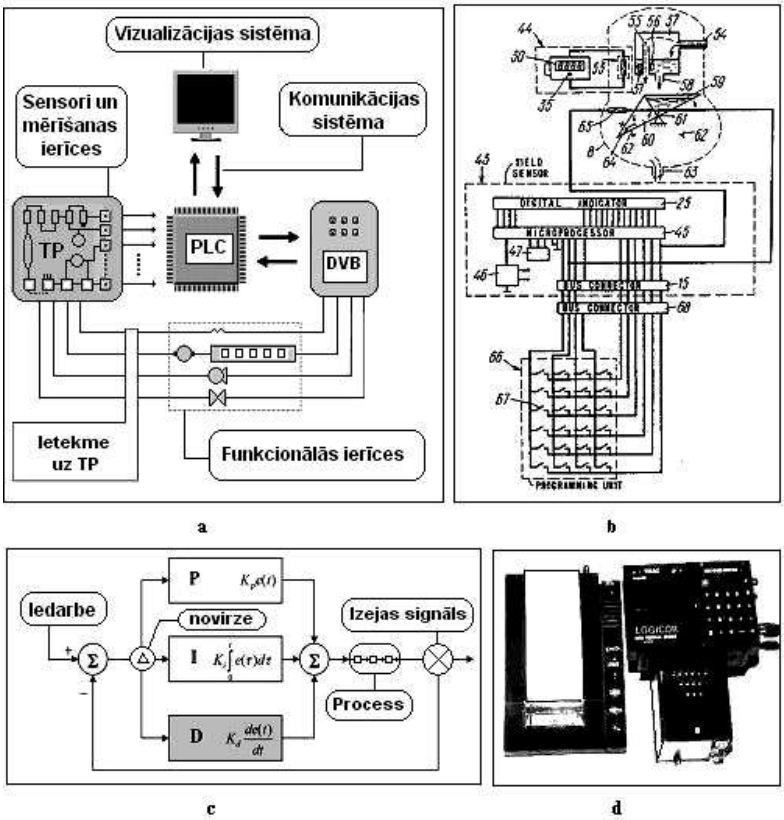
2. att. **Elektrolīniju balstu impregnēšanas tehnoloģiskā procesa shēma [128]**

Tehnoloģiskā procesa vadības vispārinātais matemātiskais modelis var būt izveidots šādi:

$$F(t + \Delta t) = D\{E[\eta(t)] + O[u(t)] + R[opt\ J(t)] + C[\lambda(\tau),k(\tau)]\},$$

kur $F(t + \Delta t)$ – izejas mainīgais lielums sistēmas iedarbības rezultātā (vadības rezultāta atsauces aferentā funkcija);

D – mērķtiecīgas darbības operators;
E – ieejas kontrolējamu darbību operators;
O – neoptimālas vadības darbību operators;
R – optimālas vadības darbības operators;
C – neprognozējamo darbību operators;
N_k – normatīvi, standarti;
J_1 – informācijas kontroles mērķa operators;
J_2 – mērķa operators ārējo parametru kontrolei;
J_3 – mērķa operators tehnoloģisko procesu parametru un nosacījumu kontrolei;
$\lambda(\tau)$ – nekontrolējamas un neregulējamas darbības operators;
$k(\tau)$ – neregulējamo, bet kontrolējamo darbību operators;
$\eta \in \{\eta_1(t) \ldots \eta_n(t)\}$ – kontrolējamas darbības;
$to \le t \le to + T$; $t \le \tau \le t + \Delta t$ – parametru izmaiņas laikā.



3. att. **Mūsdienu automatizēto tehnoloģisko procesu un iekārtu vadības, mērīšanas un vizuālās kontroles sistēmu uzbūves princips,** kur (a) DVB – dzinēju un elektrisko mašīnu vadības bloks, PLC – programmējamais loģiskais kontrolleris , (c) – PID vadības principa matemātiskais modelis, (b, d) – patentētās inteliģentās mērīšanas ierīces "Logicor SDK"*(avots G. Moskvins. USA Patent 5,016,569, USA Patent 4,989,445, USA Patent 5,012,762, USA Patent 5,161,483)*

3.2. Skaitļošanas intelekts un modelēšana

Skaitļošanas intelekts var būt aplūkots kā mākslīgā intelekta (AI) paplašināšanas līdzeklis problēmas formulēšanā un uzdevumu risināšanas mehānismu noskaidrošanā. Modelēšana ir mēģinājums izpētīt un saprast reālo fizisko sistēmu mijiedarbības un funkcionēšanas būtību, galvenokārt, izmantojot šo sistēmu datoru modeļu vadību. Skaitļošanas intelekts darbojas simboliskā līmenī, bet modelēšana notiek pamatā ciparu līmenī. Dotajā brīdī abi pētīšanas tipi arvien biežāk papildina viens otru. Progress skaitļošanas intelektā nodrošināja daudzu jaunu pētīšanas metodoloģiju attīstību, piemēram, neskaidrā loģika, neironu tīkli, evolucionārie aprēķini un dažādas hibrīdu kombinācijas. Skaitļošanas intelekts var būt apskatīts kā metožu kopa kvalitatīvo (plašā nozīmē) procesu pētīšanā. Kopējā skaitļu modelēšana simboliskā (neironu) aprēķināšana būs ļoti svarīgas lietišķo programmu īpašības sarežģīto sistēmu pētīšanā. Intelektuālo metožu pielietošana ir nepieciešama ievērojamas nenoteiktības dēļ sarežģīto sistēmu pētīšanā, jo visas nepieciešamās detaļas (sīkumi) nevar būt iekļauti skaitliskās analīzes un modelēšanas sistēmās. *Sarežģītajās sistēmās* lietotāja prasības ekspertiem kļūst tik augstas, ka būs vajadzīgas zināšanas daudzās

jomās vienlaicīgi. Lietišķās programmās skaitļošanas intelekts spēlē šifrēšanas atslēgas lomu, kurš ļauj tik daudz atvieglot programmu izmantošanu, ka tās kļūs pieejamas pat lietotājiem nespeciālistiem. Lai savienotu modelēšanas un skaitļošanas intelekta līmeņus lietišķās programmās, šīs metodoloģijas var abpusēji adaptēties.

Pastāv uzdevumi, kuriem ir pierādīts kopējā risinājuma algoritma trūkums, piemēram, uzdevums par *Diafantova kopas* atrisināmību. Tajā pašā laikā var teikt, ka, ja mums būtu bezgalīgs laika krājums un atbilstoši resursi, tad mēs varētu atrast risinājumu jebkuram uzdevumam. Vēl 17. gadsimtā *Leibnics* mēģināja atklāt *„vispārīgā izgudrojuma mākslas”* noslēpumu. Viņš apgalvoja, ka viena no divām šīs mākslas daļām ir kombinatorika – pakāpeniski komplicējamo izejas datu kombināciju pārlikšana. Otrā daļa ir heiristika – cilvēka minējuma īpašība. Un tagad „izgudrojuma mākslas” otrā daļa vēl paliek neatklāta. Mūsdienu valodā šī daļa ir cilvēka domāšanas modelis, kas ietver sevī heiristiku ģenerācijas procesus (minējumu, izgudrojumu, atklājumu). Taču pirms pāriesim pie uzlaboto pārlikšanas algoritmu apskatīšanas, atzīmēsim vēl vienu pārlikšanas paātrināšanas universālo metodi – ātro neīsto (vai iespējamo neīsto, ko arī izmanto vairākums algoritmu) pārlikšanas atzarojumu atšķelšana [48-52].

Ne visi zinātnieki pieņem evolūcijas esamību. Arī daudzas reliģiskās plūsmas (piemēram, *Jehovas* liecinieki) uzskata, ka mācība par dzīvās dabas evolūciju ir kļūdaina. Bet nevajag ietiepties polemikā attiecīgi par un pret pierādījumiem viena vienkārša iemesla pēc. Pat ja kādam nav taisnība viņa uzskatos, skaidrojot evolūcijas algoritmus kā procesu analogus, kuri notiek dzīvā dabā, neviens nevar teikt, ka šie algoritmi ir nepareizi. Neskatoties ne uz ko, tie atrod milzīgu pielietošanu mūsdienu zinātnē un tehnikā, un dažreiz rada vienkārši pārsteidzošus rezultātus. Evolūcijas teorijas pamatprincipus formulēja *Čarlzs Darvins* savā pašā revolucionārākajā darbā – *„Sugu izcelšanās”*. Pats svarīgākais viņa secinājums bija secinājums par evolūcijas pamata virzošo spēku – ar to tika atzīta *dabīgā atlase*. Citiem vārdiem sakot – izdzīvo spēcīgākais (plašā šā vārda nozīmē). Aizskrienot uz priekšu, atzīmēsim, ka jebkuram evolucionāram algoritmam ir tāds solis, kā pašu spēcīgāko īpatņu izdalīšana. Otrs, ne mazāk svarīgs Darvina secinājums bija secinājums par organismu mainīgumu. Šā likuma analogs visiem algoritmiem ir meklējamo objektu (risinājumu, struktūru, īpatņu, algoritmu) jauno eksemplāru ģenerācijas solis. Tieši vislabāko objektu atlase ir visu to evolucionāro metožu atslēgu heiristika, kuras bieži ļauj saīsināt risinājuma meklēšanas laiku uz dažām kārtām, salīdzinot ar nejaušo meklēšanu. Ja pamēģināt izteikt šo heiristiku dabīgā valodā, tad iegūsim: ir sarežģīti iegūt vislabāko risinājumu, modificējot slikto. Drīzāk tas būs veidots no dažiem labākajiem uz doto brīdi. No evolucionāro algoritmu pamatīpatnībām var atzīmēt to relatīvo sarežģītību pamata parametru (deģenerācija, vai risinājuma nestabilitāte) noskaņošanā. Tāpēc, eksperimentējot ar tiem un iegūstot ne ļoti labus rezultātus, pamēģiniet uzreiz nedeklarēt algoritmu par nederīgu, bet pamēģiniet pārbaudīt to ar citām noregulēšanām.

Dotais trūkums izriet no pamata heiristikas – var „iznīcināt” vislabākā risinājuma senci, ja padarīt selekciju pārāk „stingru” (ne velti taču ir sen jau zināms, ka, ja paliek mazāk par desmit izzūdošās sugas īpatņiem, tad šī suga pati par sevi pazudīs deģenerācijas dēļ). Aprakstītā tēlu pazīšanas algoritmu nodaļā argumentu grupas uzskaites metode tāpat attiecas uz evolucionāro kategoriju. To var parādīt sekojoša cikla veidā:

1. Ņemam pašu pēdējo klasifikatoru slāni.
2. Ģenerējam no tiem pēc noteiktiem likumiem jauno klasifikatoru slāni (kas tagad paši kļūst par pēdējo slāni).
3. Izvēlamies no tiem F labākos, kur F – atlases (selekcijas) platums.
4. Ja netiek izpildīts selekcija pārtraukšanas nosacījums (deģenerācijas iestāšanās), pārējam uz 1. punktu.

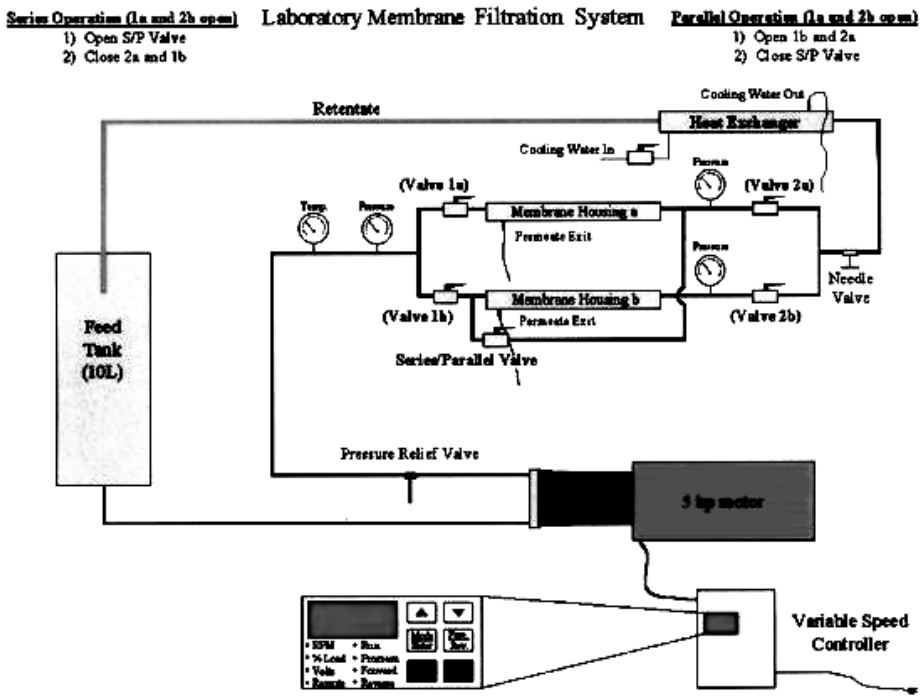
5. Pašu labāko klasifikatoru pasludina identifikācijas uzdevuma meklējamais risinājums. Kā mēs redzam, ir skaidri redzamas visas evolucionārā algoritma pazīmes – jaunās paaudzes atlase (selekcija) un ģenerācija.

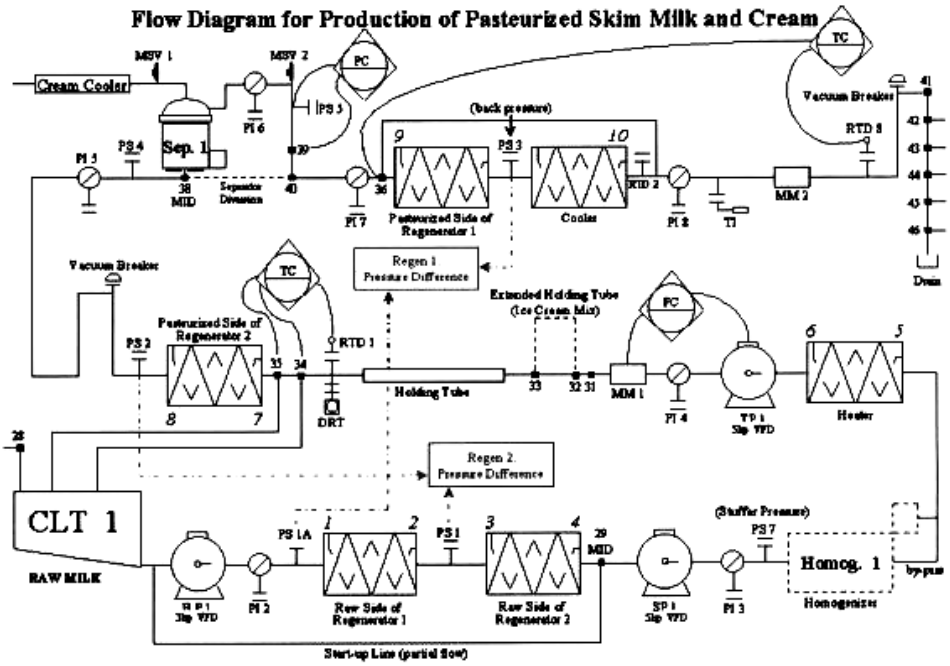
Katrs īsts izgudrotājs, katrs radoši strādājošs konstruktors meklē nevis vienkārši jauno, uzlaboto tehnisko risinājumu (TR), bet tiecas atrast pašu efektīvāko, pašu racionālāko, labāko no visiem risinājumiem. Un tādus risinājumus dažiem izgudrotājiem ir izdevies atrast. Tā, piemēram, ir grāmatas, zīmuļa, naglas, bikšu, velosipēda, mainīgās strāvas transformatora, tvaika mašīnas (iekārtas), elektroniskā skaitītāja un daudzu citu optimālo tehnisko objektu (TO) konstrukcija. Tādas konstrukcijas pirmām kārtām raksturojas ar to, ka tie simtus vai desmitus gadu tiek masveidā ražoti un izmantoti bez izmaiņām, atskaitot sīkos uzlabojumus. Visaugstākais inženieru domas sasniegums ir TO struktūru un to darbības optimālu sintēzes principu atrašanā.

Amerikāņu kibernētiķis *A. Samuēls* sastādīja programmu skaitļošanas mašīnai, kura ļauj tai spēlēt dambreti, pie tam spēles gaitā mašīna mācās vai vismaz rada priekšstatu, ka mācās, uzlabojot savu spēli uz uzkrātās pieredzes pamata. 1962. gadā šī programma sacentās ar R.Nili, spēcīgāko dambretes spēlētāju ASV un vinnēja. Kādā veidā mašīna spēja sasniegt tik augstas klases spēli? Protams, ka mašīnā tika programmatiski ielikti spēles noteikumi tā, ka kārtējā gājiena izvēle būtu pakļauta šiem noteikumiem. Katrā spēles stadijā mašīna izvēlējās kārtējo gājienu no daudzām gājienu iespējām saskanīgi ar zināmu spēles kvalitātes kritēriju. Dambretē (tāpat kā šaha spēle) parasti ir neizdevīgi zaudēt savas figūras, un pretēji, izdevīgi ņemt pretinieka figūras. Spēlētājs (cilvēks vai mašīna), kurš saglabā savu figūru kustīgumu un gājienu izvēles tiesības un tai pašā laikā tur kaujas stāvoklī lielu laukumu skaitu uz dēļa, parasti spēlē labāk par savu pretinieku, kas nepievērš uzmanību šiem spēles elementiem. Prātīgi apvienojot šādus kritērijus (piemēram, lineāras kombinācijas veidā ar eksperimentāli izvēlētiem koeficientiem vai sarežģītākā viedā), mašīnas kārtējā gājiena vērtēšanai var saņemt zināmu efektivitātes skaitlisko rādītāju – vērtēšanas funkciju. Tad mašīna, salīdzinot savā starpā kārtējo gājienu efektivitātes rādītājus izvēlēsies gājienu, kas atbilst vislielākajam rādītājam. Līdzīga kārtējā gājiena izvēles automatizācija ne obligāti nodrošina optimālo izvēli, bet tomēr tā ir kaut kāda izvēle, un uz tās pamata mašīna var turpināt spēli, uzlabojot savu stratēģiju (darbības veids) apmācības gaitā uz pagājušās pieredzes bāzes. Formāli apmācības būtība ir vērtēšanas funkcijas parametru (koeficientu) „pārbūvē" uz izdarīto gājienu un spēļu pamata, ņemot vērā to iznākumu.

Pēc A.Samuēla domām, mašīna, kas izmanto šo apmācības veidu, var iemācīties spēlēt labāk, nekā viduvējs spēlētājs nosacīti īsā laika periodā. Var teikt, ka visus šā intelekta elementus, kurus demonstrēja mašīna dambretes spēlēšanas gaitā, paziņoja mašīnai programmas autors. Daļēji tas tā ir. Taču nevajadzētu aizmirst, ka šī programma nav „cieta", iepriekš pārdomāta visās detaļās. Tā pilnveido savas spēles stratēģiju pašmācības procesā. Un lai gan „domāšanas" process mašīnai būtiski atšķiras no tā, kas notiek dambreti spēlējošā cilvēka smadzenēs, tā ir spējīga viņu vinnēt. Neilgu laiku atpakaļ kā spožu intelektuālās spēles piemēru varēja minēt šaha spēli. 1974. gadā notika starptautisks mašīnu šaha turnīrs, kuras bija nodrošinātas ar attiecīgām programmām. Kā zināms šajā turnīrā vinnēja padomju mašīna ar šaha programmu *„Kaisa"*.

Kāpēc šeit tiek lietots „neilgu laiku atpakaļ"? Lieta tāda, ka nesenie notikumi parādīja, ka, neskatoties uz šaha sarežģītību un saistībā ar neiespējamību pārskatīt visus iespējamos gājienus, iespēja tos pārskatīt dziļāk nekā parasti būtiski uzlabo vinnesta iespējas. Piemēram, pēc ziņojumiem presē, IBM firmas datoram, kurš uzvarēja G.Kasparovu, bija 256 procesori, katram no tiem bija 4 GB disku atmiņa un 128 MB operatīvā atmiņa.





4. att. **Piena pārstrādes tehnoloģiskā procesa automatizācijas funkcionālā shēma**

Viss šis komplekss varēja pārskatīt vairāk nekā 100 000 000 gājienus sekundē. Neilgu laiku atpakaļ dators, kurš spētu izpildīt šādu pilnu operāciju skaitu sekundē bija liels retums, bet šeit mēs runājam par gājieniem, kuriem jābūt ģenerētiem un kuriem jābūt saskaitītām vērtēšanas funkcijām. Lai gan, no otras puses, šis piemērs parāda pārskatīšanas algoritmu varenumu un universālumu [43, 45, 88, 97-99].

Šobrīd eksistē un tiek veiksmīgi pielietotas programmas, kuras ļauj mašīnām spēlēt biznesa vai kara spēles, kurām ir liela lietišķa nozīme. Šeit ir ārkārtīgi nozīmīgi piedot programmai cilvēkam raksturīgās apmācības un adaptācijas spējas.

3.3. Optimālo lēmumu sintēze

Viens no visinteresantākajiem intelektuālajiem uzdevumiem, kuram arī ir liela lietišķa nozīme, ir uzdevums iemācīt atpazīt tēlus un situācijas. Ar tā risinājumu nodarbojas un turpina nodarboties dažādu zinātņu – fizioloģijas, psiholoģijas, matemātikas, inženieru specialitāšu pārstāvji. Šāda interese par šo uzdevumu tika stimulēta ar fantastiskām teorētisko pētījumu plaša praktiska pielietojuma iespējām: lasošie automāti, MI sistēmas, kuras uzstāda medicīnisko diagnozi, kuras taisa kriminālas ekspertīzes u. tml., kā arī darbi, kuri spēj atpazīt un analizēt sarežģītas sensorās situācijas.

1957. gadā amerikāņu fiziologs F. Rozenblats piedāvāja vizuālās uztveres un atpazīšanas metodi – perceptronu [62]. Mašīnas parādīšanās, kura spētu iemācīties jēdzienus un atpazīt piedāvātos objektus, izrādījās ārkārtīgi interesanta ne tikai fiziologiem, bet arī citiem zinātnes pārstāvjiem un radīja lielu teorētisku un eksperimentālu pētījumu plūsmu. Perceptrons vai jebkura programma, kura imitē atpazīšanas procesu strādā divos režīmos: apmācības režīmā un atpazīšanas režīmā.

Atpazīšanas apmācības problēma ir cieši saistīta ar citu intelektuālu uzdevumu – tulkošanas problēmu no vienas valodas uz citu, kā arī valodas mācīšanas problēmu mašīnai. Ar pietiekoši formālu apstrādi un gramatikas pamatjēdzienu klasifikāciju un vārdnīcas lietošanas paņēmienu var radīt visai apmierinošu algoritmu tulkošanai, piemēram, zinātniskā vai biznesa tekstu tulkošana. Dažām valodām šādas sistēmas tika radītas vēl 60-to gadu beigās. Tomēr, lai sakarīgi pārtulkotu pietiekami liela apjoma runas tekstu, ir nepieciešams saprast tā jēgu. Ar šādu programmu izstrādi nodarbojas jau sen, bet līdz pilnīgiem panākumiem vēl ir tālu [99].

Lēmumu atbalsta sistēmas nodrošina interaktīvu atbalstu lēmumu pieņemšanas procesā.

Lēmumu atbalsta sistēmas apvieno personas intelektuālos resursus ar datora iespējām, lai uzlabotu pieņemamo lēmumu kvalitāti. Tā ir datorizēta atbalsta sistēma pārvaldes darbiniekiem, vadītājiem, kuriem jāpieņem daļēji strukturēti lēmumi.

Lēmumu pieņemšanas process saskaņā ar Simona piedāvāto modeli ietver sekojošas fāzes:

- izpētes *(intelligence)* – tiek pētīta realitāte, identificēta un definēta problēma;
- modelēšanas *(design)* – realitāte tiek vienkāršota, tiek noteiktas saites starp objektiem, izvēlēti vērtēšanas kritēriji;
- izvēles *(choice)* – process tiek modelēts, tiek izvēlēts labākais risinājums modelim;
- īstenošana *(implementation)* – reālās problēmas atrisināšana.

Lēmumu atbalsta sistēmas izmanto: analītiskus modeļus, specializētas datu bāzes, lietotāja ieskatus un vērtējumu un interaktīvu modelēšanas procesu. Lēmumu atbalsta sistēmas struktūra parasti ir:

- datu bāzes (kurās dažādos griezumos uzkrāj gan uzņēmuma informāciju, gan informāciju no ārējiem avotiem), modeļi, zināšanu apakšsistēmas, lietotāja saskarne. Raksturīgās prasības, kuras risina lēmumu atbalsta sistēmas ir:
- atbalsts nestrukturētu un vāji strukturētu problēmu risināšanā;

- paredzēta dažāda līmeņa vadītājiem;
- paredzēta gan atsevišķiem lietotājiem, gan grupām;
- atbalsts gan savstarpēji neatkarīgiem, gan saistītiem lēmumiem;
- atbalsts visām lēmuma pieņemšanas fāzēm: izpētei, modelēšanai, izvēlei un īstenošanai;
- atbalsts dažādiem lēmumu pieņemšanas procesiem un stiliem;
- adaptīva un elastīga;
- lietošanā vienkārša saskarne;
- iedarbīga (precīzi, laikā sagatavoti lēmumi);
- pilnīga lietotāja kontrole par visiem lēmuma pieņemšanas procesa un īstenošanas soļiem;
- lietotājs pats var būvēt un mainīt sistēmu, var būt ar IT palīdzību;
- spēja modelēt un analizēt, mainīt analīzes stratēģijas, mainīt konfigurāciju, parametrus.

Lēmumu pieņemšanas tipi:

- strukturēti lēmumi – ir jau noteikta procedūra vai vajadzības gadījumā iespējams tādu procedūru precīzi uzrakstīt;
- daļēji strukturēti lēmumi – var noteikt dažas vispārīgas procedūras, bet nav iespējams precīzi noteikt visas lēmuma detaļas;
- nestrukturēti lēmumi – iepriekš nav iespējams paredzēt konkrētas procedūras lēmuma pieņemšanai.

Lēmumu pieņemšanas tipi realizējas dažādos līmeņos:

- operatīvajā līmenī – vairāk strukturētie lēmumi;
- taktiskajā līmeni – vairāk daļēji strukturētie lēmumi;
- stratēģiskajā līmenī – vairāk nestrukturētu lēmumu – t.i. tādu, par kuriem nav nekādu reālu rekomendāciju, ko darīt konkrētā situācijā;
- katrā līmenī iespējami dažādi lēmuma tipi.

3.4. Parametriskās optimizācijas matemātiskais modelis

Optimizācijas problēma parasti rodas tad, kad materiālie, informācijas vai citi resursi noteiktās problēmas risināšanā ir ierobežoti. Īpatnības tehnoloģisko procesu optimizācijā lauksaimniecībā ir saistītas ar bioloģisko objektu (dzīvnieki, augi, baktērijas) esamību optimizējamā substrātā, procesā vai sistēmā, procesu norises stohastiskums, augstā nenoteiktības pakāpe, atgriezeniskās saites inerce, mašīnu un bioloģisko objektu saderības problēmas [3-4,8-9, 50-52].

Pirms apskatīt optimālā tehnoloģiskā procesa (OTP) meklēšanas uzdevuma nostādni uzdotam fiziskam darbības principam, apskatīsim zemākā līmeņa uzdevumu, kuru sauc par optimālo parametru vērtību meklēšanas uzdevumu uzdotajam tehniskajam risinājumam (UTR) vai saīsināti – par *parametriskās optimizācijas* uzdevumu. Šos uzdevumus ir jārisina optimālā - OTR meklēšanā, bet bez tam, tiem ir arī patstāvīga nozīme. Jebkuru atsevišķu TR parasti var aprakstīt ar vienotu mainīgo (maināmo parametru) kopumu

$$X = (x_1, ..., x_n), \qquad (1)$$

kuras var mainīt savas vērtības kādā hiperparalēlskaldnī

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad i = l, ..., n, \qquad (2)$$

kur meklēšanas jomas paplašināšanai nav rekomendējams uzlikt stingrus ierobežojumus a_i un b_i. Projektējamā izstrādājuma TR matemātiskais modelis katrai vērtību kopai (1) atbilst kādu kvalitātes kritēriju (mērķa funkciju) f(x) un uzliek un mainīgajiem (1) papildus ierobežojumus, kuru visbiežāk parāda nelineāro nevienādību (3) sistēmas veidā.

$$g_i(X) \geq 0, j = 1,...,m, \quad (3)$$

Tad TR optimālo parametru meklēšanas uzdevums ir tādas kopas (1) atrašanā, kurš atbilst nevienādībām (2) un (3) un nodrošina globālo ekstrēmu kvalitātes kritērijam. Lai būtu kāda noteiktība, uzskatīsim, ka tiek meklēts minimums, un, ja ar **D** apzīmēsim pieļaujamo risinājumu apgabalu, kuri atbilst nevienādībām (2) un (3), iegūsim matemātiskās programmēšanas uzdevumu **n**-dimensiju telpā: atrast tādu punktu

$$X^* \in D,$$

ka

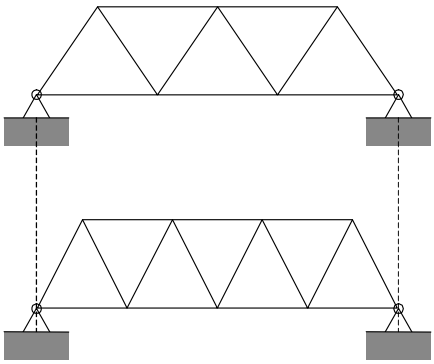
$$F(X^*) = \min_{X \in D} F(X). \quad (4)$$

Bieži *parametriskās optimizācijas* uzdevumos uz mainīgajiem vai daļas no tām ir uzlikti veselu skaitļu vai diskrētības nosacījumi. Šajā gadījumā **D -** apgabala meklēšana kļūst daudzsaišu, bet pats uzdevums no matemātiskā viedokļa – augsti ekstremāls. Vēl ir jāatzīmē, ka parametru optimālo vērtību meklēšanas uzdevumi vairākos gadījumos ir daudzparametru augsti ekstremālie uzdevumi, kuros funkcionālie ierobežojumi (3) „izgriež" komplicēto pieļaujamos apgabalus.

Šo apgabalu apjomi var būt ļoti mazi salīdzinājumā ar hiperparalēlskaldņu tilpumiem (2). Taču, neskatoties uz tādu sarežģītumu, lielāko daļu parametriskās optimizācijas uzdevumu var pilnīgi apmierinoši risināt ar eksistējošām metodēm.

3.5. Optimālo struktūru meklēšana

No optimāliem risinājumu meklēšanas uzdevumiem apskatīsim tikai apakšklasi, kuru sauc par risinājumu optimālo daudzelementu struktūru meklēšanas uzdevumiem vai īsi – *struktūras optimizācijas uzdevumus*. Optimālās struktūras jēdziena pareizu definējumu dot ir pagrūti, tāpēc norādīsim tikai dažas matemātiskās un inženiertehniskās īpašības, kuri ir saistītas ar šo jēdzienu. No inženierzinātnes viedokļa apskatāmās optimālās TR klases dažādās struktūrās atšķiras ar elementu skaitu, ar pašiem elementiem, to komponējumu, savienošanas raksturojumu starp elementiem utt. *Struktūras* jēdziens lielā mērā ir analoģisks tehniskā risinājuma jēdzienam, kas ir dots iepriekš, bet ir atšķirības, kuras izsauc šī papildus jēdziena ieviešanas nepieciešamību. *Pirmkārt,* uzdotā fiziskā darbības principa robežās parasti pastāv plašāka TR kopa salīdzinājumā ar kopu, kuru var formāli aprakstīt struktūras optimizācijas uzdevuma nostādnē un risināšanā. *Otrkārt,* starp atsevišķiem TR ir domātas būtiskākas atšķirības pēc konstruktīvajām pazīmēm, nekā atšķirības starp atsevišķām struktūrām, kuras dažreiz formāli atšķiras ar maznozīmīgu diskrēto mainīgo vērtībām. Piemēram, 5. att. ir parādītas divi tilti ar režģi fermas vienādmalu trīsstūru veidā, kuriem ir vienādi TR, bet dažādas struktūras. Īsāk runājot, priekš uzdotā fiziskā principa iespējamo TR kopa darbības un iespējamo struktūru kopas (struktūras optimizācijas apskatāmam uzdevumam) krustojas, bet nesakrīt. Pie tam vienu TR var parādīt ar dažām tuvām struktūrām. No matemātiskā viedokļa diviem optimāliem TR variantiem būs dažāda struktūra, ja tiem atbilstošie parametriskās optimizācijas uzdevumi pēc viena un tā paša kvalitātes kritērija un katra struktūras elementa optimālo parametru izvēles nosacījumā ir dažādās mainīgo kopas (1) un funkcijas (3), t.i. dažādām struktūrām pastāv dažādi parametriskās optimizācijas uzdevumi. Zem kvalitātes kritērija arī ir domāts fizikāli-tehniskais, ekonomiskais vai cits rādītājs (masa, precizitāte, jauda, vērtība un tml.), pēc kura vērtības no jebkurām divām struktūrām var izvēlēties labāko.



5. att. **Divu vienādu risinājumu piemērs ar dažādu struktūru**

Struktūras optimizācijas uzdevumu nostādni parasti sāk ar mainīgo kopu noteikšanu pēc sekojošās metodikas.

1) Uzdod tādus mainīgos, lai tie varētu pēc iespējas aprakstīt visu racionālo struktūru S_0 kopu, kurus var novērtēt pastāvošais matemātiskais modelis apskatāmajā optimālo TR klasē.

2) Pārskata un analizē struktūru pārveidošanas metodes. Papildina S_0 kopu ar jauno struktūru apakškopām, kuras var sintezēt un novērtēt, izmantojot pastāvošo vai līdz galam izstrādāto matemātisko modeli. Rezultātā tiek izveidota apskatāmo struktūru S paplašināta kopa un to aprakstošs mainīgo kopums, kuru apzīmēsim ar vektoru A. Lai arī, piemēram, struktūras optimizācijas uzdevums pieļauj sekojošo sakopojumu

$$(k, L, i, j, \bar{y}_1, ..., \bar{y}_k, \bar{z}_1, ..., \bar{z}_L, \bar{v}_{11}, ..., \bar{v}_{kL}, \bar{w}), \qquad (4)$$

kur k – elementu skaits struktūrā; L – elementu savienošanas veidu skaits; ($\bar{y}_1$) - vektors, kas apraksta ģeometriskās, fiziskās un citas i-kārtas elementa īpašības; i – elementa numurs (1..k); ($\bar{z}_1$)j – vektors, kas apraksta ģeometriskās, fiziskās un citas j-kārtas savienošanas veida īpašības; j – savienošanas veida numurs (1…L); ($\bar{v}_{11}$)l – vektors, kas raksturo i-kārtas elementa stāvokli telpā pie j-kārtas savienošanas veida (i=1…k,j =l…L); ($\bar{w}$) – citi mainīgie.

3) No vektora A izdala neatkarīgo mainīgo vektoru A’, ar kuriem var variēt optimālo struktūru meklēšanā. Atkarīgiem mainīgiem uzdod to noteikšanas algoritmu caur neatkarīgiem mainīgiem.

4) Vektoru A’ sadala mainīgo A'_S vektorā, kuri nodrošina struktūras izmaiņu, un mainīgo vektors A'_P, ar kuru palīdzību izvirza un risina parametriskās optimizācijas uzdevumus uzdotai struktūrai. Vektors A'_P sastāv no kopējo mainīgo A_0 kopas, kuri piedalās jebkuras struktūras izmaiņā, un mainīgo kopas A'_C, kuri mainās pārejā no struktūras uz struktūru. Parametriskās optimizācijas uzdevuma risināšanā uzdotai struktūrai izmanto tikai noteiktā mainīgo daļa no kopas A'_C. Tā, ja struktūras optimizācijas uzdevumā ar norādīto mainīgo kopu struktūra tiek noteikta ar savienošanas paņēmienu, tad var uzskatīt, ka A'_S ir viens mainīgais j, $A'_C = \{\bar{y}'_1, ..., \bar{y}'_k, \bar{w}'\}$, $A'_C = \{A'_{C1}, \ldots, A'_{CL}\}$, kur $A'_{CJ}, = \{\bar{z}'_j, \bar{v}'_{kj}, ..., \bar{v}'_{ki}\}$ k-kārtas struktūras mainīgie; svītra nozīmē, ka no atbilstošiem mainīgiem ir izvēlēti neatkarīgie. Pieņemsim, ka ir izvēles visu pieļaujamo struktūru $\{S_i,..., S_m\}$ algoritms no S apakškopas, kurām pastāv kaut viena parametru vērtību kopa, kas apmierina uzdotos ierobežojumus. Pieņemsim arī, ka jebkurai S_J (j = 1, ..., m) struktūrai var risināt parametriskās optimizācijas uzdevumu, t. i. uzdot mainīgo telpu

$$\overline{X}_j = \left(x_1^j, \ldots, x_{nj}^j\right), \quad j = 1, \ldots, m, \tag{5}$$

un pēc vienīgā kvalitātes kritērija atrast pieļaujamos optimālos S_J struktūras parametrus. S_J struktūras optimālās vērtības apzīmēsim ar X^*_J. Tad struktūras optimizācijas uzdevumam var dot sekojošo formulējumu. Ir *m nj*- dimensiju paralēlskaldņi

$$a_i^j \le x_i^j \le b_i^j, \quad i = 1, \ldots, n_J, \qquad j = 1, \ldots, m, \tag{6}$$

gan ar nepārtraukto, gan ar diskrēto mainīgo $\overline{X}_i^j$ izmaiņas raksturu. Katram no paralēlskaldņiem ir uzdota pēc vienīgā kvalitātes kritērija mērķu funkcija

$$f = f'\left(\overline{X}_j\right), \; j = 1, \ldots, m, \tag{7}$$

un ierobežojumu sistēma

$$g_r'\left(\overline{X}_j\right) \ge 0, \quad r = 1, \ldots, p_J, \qquad j = 1, \ldots, m, \tag{8}$$

Tiek prasīts atrast punktu $\overline{X}_i^*$, kas pieder j^*-kārtas paralēlskaldnim, kuram

$$\left.\begin{array}{l} g_r^{j*}\left(\overline{X}_{J*}^*\right) \ge 0, r = 1, \ldots, p_j^*; \\ f^{j*}\left(\overline{X}_{J*}^*\right) = \min f^j\left(\overline{X}_J^*\right), \end{array}\right\} \tag{9}$$
$$1 \le j \le m$$

Tādā veidā struktūras optimizācijas uzdevums ir globāli-optimālās struktūras un mainīgo globāli-optimālo vērtību atrašanā šinī struktūrā, t.i., šo uzdevumu var nosaukt arī par strukturāli-parametriskās optimizācijas uzdevumu. Pie struktūras optimizācijas uzdevumiem ir pieskaitāms optimālā TR komponējuma izvēles uzdevums. Atzīmēsim dažas struktūras optimizācijas uzdevumu īpašības. *Pirmkārt*, gandrīz vienmēr šajos uzdevumos vienlaicīgi ir gan diskrētie, gan nepārtrauktie mainīgie, t.i., struktūras optimizācijas uzdevumi kopīgā gadījumā ir pieskaitāmi pie matemātiskās programmēšanas jauktiem uzdevumiem. *Otrkārt,* struktūras pārveidošanās mainās mainīgo skaits un raksturs un atbilstoši ierobežojumu un mērķa funkcijas. Kas attiecas uz daudzsaišu meklēšanas apgabala raksturu, tad atsevišķām apakšnozarēm vai nu ir dažāda dimensija vai (sakrītot dimensijai) tie ir veidoti no dažādām mainīgo kopām [13, 15, 29].

3.6. Globālā ekstrēma meklēšanas algoritms

Globāli-optimālā risinājuma meklēšanas algoritmu var izmantot gan parametriskās, gan struktūras optimizācijas uzdevumu risināšanai. Vienkāršotā algoritmā ir iekļautas četras procedūras:

1) pieļaujamās struktūras sintēze (PSS), kas nodrošina pieļaujamā risinājuma izvēli no visas meklēšanas apgabala jebkuras apakšnozares;

2) lokālās meklēšanas solis (LMS), kas nodrošina pāreju no viena risinājuma uz otru pieļaujamo risinājumu, parasti tās pašas struktūras, bet ar uzlabotu kritērija vērtību; zem lokālās meklēšanas soļa var saprast kādu nosacītu soli pēc kaut kāda lokālā ekstrēma meklēšanas algoritma (piemēram, viena iterācija pēc visātrākās krituma metodes);

3) globālā meklēšana, kas vada PSS un LMS procedūru darbu;

4) meklēšanas izbeigšanas nosacījumu pārbaude, kura nosaka uzdevuma risinājuma beigas.

Minēsim pamata rekomendācijas procedūru PSS un LMS uzbūvei. Dažos gadījumos PSS procedūras uzbūvi var aprobežot ar pieļaujamo struktūru kopas iepriekšējās sastādīšanas, no kuras izvēlas struktūras katrā pievēršanās PSS procedūrai. Ja šīs procedūras būtība ir pēc iespējas pieļaujamās struktūras optimizācijas mainīgo kopas izvēlē, tad ir lietderīgi iekļaut tajā mainīgo izvēles nosacījumus, kuri pamatojas uz heiristiskiem apsvērumiem, analītiskiem un eksperimentāliem pētījumiem, analoģisko optimālo TR ekspluatācijas un projektēšanas pieredzes izpēte. Dažiem sarežģītiem vai maz izpētītiem projektēšanas uzdevumiem ir grūti uzbūvēt PSS procedūru, kura nodrošina pieļaujamo struktūru iegūšanu. Šinī gadījumā, procedūrā lietderīgi iekļaut nepieļaujamo struktūru pārveidošanas operācijas pieļaujamās. Tādu operāciju kopumu var sastādīt no piemērotiem heiristiskiem paņēmieniem (uzdevumiem, kas ir saistīti ar tehniskiem objektiem, paņēmienu krājumus var atrast atbilstošā literatūrā, kurā izgudrotāju uzdevumu risināšana tiek apskatīta sīkāk). Nepieļaujamo struktūru pārveidošanu pieļaujamās var arī risināt kā optimizācijas uzdevumu. Interaktīvā darba režīmā procedūras PSS sankciju var saņemt savās rokās projektētājs. Kopumā pēc PSS procedūras var iedot sekojošas rekomendācijas, kas vērstas uz pieļaujamo struktūru izvēles iespējamības palielinājumu un aprēķinu apjoma samazināšanos pēc nepieļaujamo novērtējuma: mainīgo vērtību izvēles paņēmieniem ir jāsatur noteikumi, kuri atšķeļ zināmi neracionālās un nepieļaujamās mainīgo vērtības un to kombinācijas; ierobežojumus ir jāpārbauda nevis pēc struktūras uzbūves kopumā, bet pēc iespējas uzbūves procesā, kas ļauj samazināt lieko darbu ar nevajadzīgām uzbūvēm un daudzos gadījumos uzreiz ienest korekcijas struktūras defektu likvidēšanā. Pārbaudāmiem ierobežojumiem ir jābūt sakārtotiem pēc to izjaukšanās iespējamības samazināšanas. Tādu sakārtošanu dažreiz var veikt automātiski uzdevuma risināšanas procesā. LMS uzdevuma procedūras parasti ietver sevī mainīgo izmaiņas paņēmienus, kuri ir orientēti gan uz struktūras, gan parametriskās optimizācijas uzdevumu risināšanu. Minētās rekomendācijas LMS struktūru uzbūvē var izmantot arī diskrēto mainīgo lokālās izmaiņas paņēmienu izveidošanā. Nepārtraukto mainīgo izmaiņai parasti pielieto dažādus lokālās meklēšanas algoritmus. Zemāk ir norādīti vislabākie. Kā globālās meklēšanas procedūra tiek izmantots konkurējošo punktu algoritms [13].

Šā algoritma pamatā ir dzīvo organismu populācijas evolūcijas princips, kuri atrodas ierobežotā telpā, piemēram, uz salas. Tādā populācijā strauju izmainās konkurence starp atsevišķiem īpatņiem. Sakarā ar to, konkurējošo punktu algoritma pamatā ir sekojoši jēdzieni: globālā ekstrēma meklēšana tiek īstenota ar dažiem konkurējošiem risinājumiem (punktiem); konkurences apstākļi ir vienādi visiem risinājumiem; noteiktos brīžos daži „vissliktākie" risinājumi tiek brāķēti (iznīcināti); katra risinājuma lokāls secīgs kritums (no sākuma rupjš, pēc tam precīzāks) notiek neatkarīgi no citu risinājumu krituma. Atsējot risinājumus, konkurence ļauj caur lokālajiem ekstrēmiem diezgan ātri atrast globālo ekstrēmu uzdevumos, kuriem funkcionāla vērtība, pieņemts, ka vidējā vērtība pēc globālā ekstrēma pievilkšanas apgabala, ir mazāka, nekā funkcionālā vērtība, kas ir pieņemts, ka vidēja vērtība pa visu meklēšanas apgabalu, bet globālā ekstrēma pievilkšanās apgabals nav mazs. Konkurējošo punktu algoritms – ir viens no vienkāršākiem un efektīvākiem, salīdzinot ar citiem izplatītiem globālā ekstrēma meklēšanas algoritmiem. Tā, piemēram, meklēšanas darbietilpība (mašīnas laika patēriņš) pēc šā algoritma ir par kārtu mazāks, salīdzinot ar lokālo ekstrēmu nejaušās pārlikšanas algoritmu un par divām kārtām mazāks, nekā *Monte-Karlo* metodei. Algoritma izskaidrošanas ērtumam risinājumu arī sauksim par punktu (daudzdimensiju meklēšanas telpā) un neatkarīgi no tā, vai tiek risināts parametriskās optimizācijas uzdevums (1) – (4), vai struktūras optimizācijas uzdevums (5) – (8), apzīmēsim to ar X.

3.7. Konkurējošo punktu algoritms

Konkurējošo punktu algoritms kopumā ietver sevī sekojošas operācijas.

1) Pēc PSS struktūras sintezējas l $(l = \eta + \lambda_0)$ punktu $\overline{X}_j$ $(j = 1, ..., l)$, kurās tiek noteikta minimizējamās funkcijas (salīdzinājuma kritērija) vērtība. No šiem l punktiem tiek izvēlēti h punkti, kuriem ir vislabākās kritērija vērtības, kuri turpmāk tiek saukti par pamata kritērijiem. Saglabājas pamata punktu vissliktākā vērtība j_0. Pie tam tiek uzskatīts, ka ir paveikts nulles globālais (grupas) meklēšanas solis (t = 0). Tādā veidā, uz t-kārtas grupa soļa mums ir pamata punkti

$$\overline{X}_1^t, \overline{X}_2^t, \ldots, \overline{X}_\eta^t, \tag{1}$$

un, attiecīgi, skaitļu neaugošais secīgums

$$\varphi_0, \varphi_1, \ldots, \varphi_t. \tag{2}$$

2) Katrs pamata punkts veic lokālās meklēšanas soli, kā rezultātā punkti (1) pāriet jaunā secībā

$$\overline{X}_1^{t+1}, \overline{X}_2^{t+1}, \ldots, \overline{X}_\eta^{t+1}. \tag{3}$$

3) Sintezējas λ_{t+1} papildus pieļaujamo punktu, katram no kuriem atļauts izdarīt t+1 lokālās meklēšanas soļus, pie nosacījuma, ka pēc katra soļa ar numuru τ $(0 \le \tau \le t)$ tās kritērijs nav sliktāks, kā attiecīgs secības loceklis (2). Neievērojot šo nosacījumu, punkts tiek izslēgts un nepiedalās globālā ekstrēma tālākā meklēšanā. Tādā veidā ir q $(q \le \lambda_{t+1})$ papildus punkti, kuri veica t+1 lokālās meklēšanas soli:

$$\overline{X}_1^{t+1}, \overline{X}_2^{t+1}, \ldots, \overline{X}_q^{t+1}. \tag{4}$$

4) No punktiem (3) un (4) tiek izvēlēti h punkti ar labākiem kritērijiem:

$$\overline{X}_1^{t+1}, \overline{X}_2^{t+1}, \ldots, \overline{X}_\eta^{t+1}, \tag{5}$$

kuri ir pamata kritēriji uz (t + 1) - kārtas meklēšanas grupas soļa. Sliktākā punktu kritērija vērtība no secības (5) papildina secību (2) ar skaitli φ_{t+1}.

5) Cikls pēc soliem 2-4 atkārtojas līdz globālā ekstrēma atrašanas pēc meklēšanas izbeigšanas uzdotiem nosacījumiem. Kā meklēšanas izbeigšanas nosacījumi var būt izmantota, piemēram, T grupas soļu uzdotā skaitļa izpildīšana. Uzskatot λ_i parametrus par neatkarīgiem no i, mums būs tikai divi noskaņojami algoritma parametri; η – pamata punktu skaits un λ - papildus punktu skaits. Izdarīti pētījumi ļauj rekomendēt šo parametru sekojošās optimālās vērtības: $\eta = 2\ldots3$, $\lambda = 12\ldots18$. Algoritma realizācijas vienkāršumam var ņemt η un λ pastāvīgās vērtības. Kā LMS procedūru rekomendējams izmantot sekojošos lokālā ekstrēma algoritmus: nejaušās meklēšanas algoritms apakštelpās; nejaušās meklēšanas algoritms ar izvēli pēc vislabākā izmēģinājuma; saistīto gradientu algoritms, *Neldera-Mida algoritms* [13].

3.8. Nejaušās meklēšanas algoritms

Rekomendējamo nejaušās meklēšanas algoritmu var pierakstīt sekojošo izteiksmju veidā:

$$\overline{X}_{i+1} = \overline{X}_i + \Delta\overline{X}_{i+1};$$

$$\overline{X}_i = \overline{X}_{i-h} \text{ pie } \left[f\left(\overline{X}_{i-1}\right) < f\left(\overline{X}_i\right)\right] \vee \left[g\left(\overline{X}_i\right) < 0\right].$$

Šeit h – secīgi neveiksmīgo meklēšanas soļu skaits; $\Delta\overline{X}_{i+1}$ tiek noteikts pēc formulas:

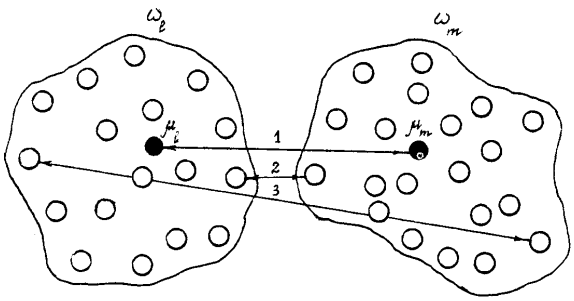
$$\Delta\overline{X}_{i+1} = \begin{cases} a\overline{\zeta}_{i+1} \ pie \ (i=0) \vee \left(\left|\Delta\overline{X}_i\right| = \left|\Delta\overline{X}_{i-1}\right|\right) \wedge (h>1); \\ \Delta\overline{X}_i \ pie \left[f\left(\overline{X}_{i-1}\right) \geq f\left(\overline{X}_i\right)\right] \wedge \left[g\left(\overline{X}_i\right) \geq 0\right]; \\ -\Delta\overline{X}_i \ pie \left(\left|\Delta\overline{X}_i\right| \neq \left|\Delta\overline{X}_{i-1}\right|\right) \wedge (h \geq 1), \end{cases}$$

kur a – meklēšanas darba soļa maksimālā vērtība; $\overline{\zeta}_{i+1}$ – nejaušo ciparu vektors; $\Delta\overline{X}_{i-1}, \Delta\overline{X}_i, \Delta\overline{X}_{i+1}$ – pieauguma vektori uz (i - 1), i, (i + 1) - kārtas meklēšanas soļa; $\overline{X}_i, \overline{X}_{i+1}, \overline{X}_{i+h}$ – vektori, aprakstīti pēc formulas (1); $f(\overline{X}_{i-1}), f(\overline{X}_i), f(\overline{X}_{i+1})$ – kvalitātes kritēriju vērtība pēc īstenošanas uz (i-1), i, (i+1) - kārtas meklēšanas soļa. Nejaušo skaitļu vektors

$$\overline{\zeta}_{i+1} = \left(0, \ldots, 0, \zeta_k^{i+1}, \zeta_{k+1}^{i+1}, \ldots, \zeta_L^{i+1}, 0, \ldots, 0\right);$$
$$\overline{\zeta}_k^{i+1} = \overline{\zeta}_{k+1}^{i+1} = \cdots = \overline{\zeta}_L^{i+1} = \psi,$$

kur ψ – nejaušs, vienmērīgi sadalīts skaitlis, kurš tiek izvēlēts no intervāla [-1, 1]; ; k un L – nejauši veseli skaitļi, izkārtoti uz [1, n] nogriežņa un sakārtoti ar k ≤ L attiecību. Pastāv arī citas šī algoritma modifikācijas, kuras var izrādīties efektīvākas.

3.9. Klasteru analīze



6. att. **Dažādas attāluma noteikšanas metodes starp klasteriem ω_l un ω_m**:
1 – pēc smaguma centra, 2 – pēc tuvākajiem objektiem , 3 – pēc vistālākajiem objektiem

Klasteru analīze kā daudzdimensionālo datu kopu strukturālās analīzes metode ir paredzēta, lai sadalītu objektu kopu uzdotā vai nezināmā klašu skaitā, pamatojoties uz klasifikācijas kvalitātes kādu matemātisko kritēriju, *cluster* (angl.) – čemurs, saišķis, sakrāšanās, elementu grupa, kurus raksturo kaut kāda kopīgā īpašība (6. att.). Klasterizācijas kvalitātes kritērijs kaut kādā mērā atspoguļo šādas neformālās prasības:

a) grupu iekšā objektiem ir jābūt cieši saistītiem savā starpā;

b) dažādu grupu objektiem ir jābūt tālu vienam no otra;

c) ievērojot pārējos vienādos nosacījumus, objektu sadalīšanām pa grupām ir jābūt vienmērīgām.

Prasības a) un b) attēlo sadalīšanas klašu kompaktuma standarta koncepciju; c) prasība ir tā, lai kritērijs neuzietu atsevišķo objektu grupu apvienošanos. Svarīgākais moments klasteru analīzē skaitās metrikas (vai objektu tuvības mēra) izvēle, no kuras ir atkarīgs objektu sadalīšanas grupās galīgs variants pie uzdotā sadalīšanas algoritma. Katrā konkrētā uzdevumā šī izvēle tiek veikta dažādi, ievērojot pētīšanas galvenos mērķus, izmantojamās informācijas fizikālo un statisko dabu un tml. Pielietojot ekstensīvās pazīšanas metodes, kā bija parādīts iepriekšējās nodaļās, metrikas izvēle tiek sasniegta, izmantojot pazīmju izejas telpas pārveidošanas speciālus algoritmus. Cits svarīgs lielums klasteru analīzē ir attālums starp veselām objektu grupām.

Minēsim izplatītākos attālumu un tuvuma mēru piemērus, kuri raksturo atsevišķu objektu grupu savstarpējo izvietojumu. Lai ω_l – ir i-kārtas objektu grupa (klase, klasteris), N_i – to objektu skaits, kuri veido grupu ω_l, vektors μ_i – objektu vidējais aritmētiskais, kuri ietilpst ω_l (citiem vārdiem runājot, μ_i – i-kārtas grupas „smaguma centrs”), bet q (ω_l , ω_m) – attālums starp grupām ω_l un ω_m (6. att.). Attāluma noteikšanai starp klasteriem ω_l un ω_m pastāv dažādi paņēmieni: 1 – pēc smaguma centriem, 2 – pēc tuvākajiem objektiem, 3 – pēc vistālākajiem objektiem. Tuvākā „kaimiņa“ attālums ir attālums starp tuvākajiem klasteru objektiem:

$$q_{\min}(w_l, w_m) = \min_{x_i * w_l, x_j * w_m} d(x_i, x_j).$$

Tālākā „kaimiņa“ attālums – attālums starp pašiem tālākiem klasteru objektiem:

$$q_{\max}(w_l, w_m) = \max_{x_i * w_l, x_j * w_m} d(x_i, x_j).$$

Smaguma centru attālums ir vienāds ar atļumu starp klasteru centrāliem punktiem:

$$q(w_l, w_m) = d(\mu_l, \mu_m).$$

Pēc *Kolmogorova* attālums starp klasēm vai K-attālums tiek aprēķināts pēc formulas

$$q_\tau^{(K)}(w_l, w_m) = \left[\frac{1}{N_l N_m} \sum_{x_i * w_l} \sum_{x_j * w_m} d^\tau(x_i, x_j) \right]^{\frac{1}{\tau}}$$

Ja $\tau \rightarrow \infty$ pie $\tau \rightarrow -\infty$, iegūstam

$$q_\infty^{(K)}(w_l, w_m) = q_{\max}(w_l, w_m),$$

$$q_{-\infty}^{(K)}(w_l, w_m) = q_{\min}(w_l, w_m).$$

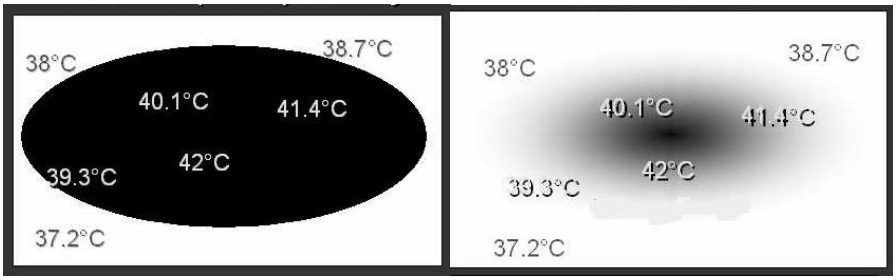
Kaut kāda attāluma mēra izvēle starp klasteriem ietekmē galvenokārt ģeometrisko grupējumu veidu pazīmju telpā, kurus izdala klasteru analīzes algoritmi. Tā, algoritmi, kuri pamatojas uz tuvākā kaimiņa attālumu, labi darbojas tādu grupējumu gadījumā, kuriem ir sarežģīta, bieži virknes struktūra [95-96].

Tālākā kaimiņa attālums tiek pielietots, kad meklējamie grupējumi veido pazīmju telpā lodveida mākoņus. Un starptelpu aizņem algoritmi, kuri izmanto smaguma centru un vidējās

saites attālumu, kuri vislabāk darbojas elipsoīdu formas grupējumu gadījumā. Klasteru analīzes algoritmu tieksme pēc objektu grupējumu noteiktās struktūras pazīmju telpā var sekmēt neoptimālajiem vai pat kļūdainiem rezultātiem, ja hipotēze par grupējumu tipu nav pareiza. Ja reālās sadalīšanās atšķiras no hipotētiekajām, norādītie algoritmi bieži „uzsien" datiem tiem nerakstūrīgu struktūru un dezorientē pētnieku. Tāpēc eksperimentētājs, kas ievēro doto faktu, apriorās nenoteiktības apstākļos izmanto klasteru analīzes algoritmu baterijas un dod priekšroku kaut kādam secinājumam, pamatojoties uz šo algoritmu darbības rezultātu kopskaita novērtējumu.

3.10. Faziloģika

Neskaidrā loģika (angl. *fuzzy logic*), *fuzzily* – neskaidri. Faziloģika balstās uz pieņēmumu, ka *informācija* ne vienmēr ir precīza, piemēram, kad trūkst *zināšanu*, piemēram, temperatūra 18 °C – tas ir vēsi, normāli vai silti? Faziloģika izmanto pieņēmumus un tehniku, lai attēlotu un apstrādātu neprecīzas, nepārliecinošas un nedrošas ziņas. Neskaidrā loģika vēsturiski saistītā ar *Aristoteli* (binārā loģika) un *Lotfi Zade (Lotfi Zadeh)* – daudzvērtību loģika [100-101], 1965. gadā parādījās jēdziens *Fuzzy Sets* [102]. Faziloģika ļauj risināt problēmas, kuras nav pa spēkam parastām ekspertu sistēmām (ES). Faziloģikas sistēmas balstās uz *fazi* - skaitļiem (piemēram, pāris kilogramu augļu, ap 30 gadu vecs, tiksimies ap desmitiem, trūkst gandrīz ...), uz kopām (piemēram, kurš dzīvo divstāvu mājoklī?; cik cilvēku dzīvo dārgā mājoklī?; cik cilvēku dzīvo lētā mājoklī?; cik cilvēku dzīvo mājoklī par lētu cenu?), kā arī uz operatoriem un izteikumiem. Faziloģikā kopu operācijas parasti ir UN (AND), VAI (OR), JA/TAD (IF/THEN), pastiprinājumi, papildinājumi (HEDGE) – ļoti, gandrīz.



A **B**

7. att. **Temperatūras kontroles un vadības modelis:**
A – tradicionālais (*Boolean Set Theory*) B – *Fuzzy Set Theory* modelis

Neprecīzas zināšanas eksistē gandrīz visās nozarēs, sevišķi – saistītās ar tehniku, tās eksistē arī ekonomikā, biznesā, pārvaldībā. Neskaidri jēdzieni traucē pieņemt optimālo lēmumu, piemēram, izsniegt kredītu: mazu, vidēju, lielu, ļoti lielu; iegādāties akcijas: daudz, maz?; prognozēt peļņu: mazu, vidēju, lielu?; prognozēt apgrozījumu, ieņēmumus utt.

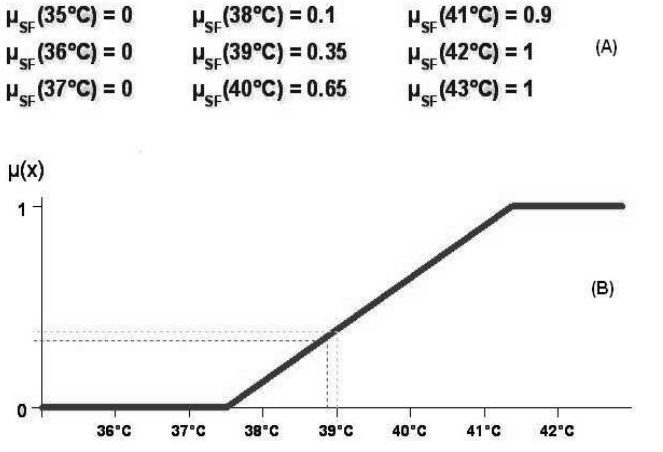
Ir zināms, ka klasiskā (binārā) loģika operē tikai ar diviem stāvokļiem: patiesība - nepatiesība, ja - nē, 0-1 utt. Taču ar šīm divām vērtībām diezgan grūti attēlot lielu daudzumu reālo uzdevumu. Tāpēc to risināšanai bija izstrādāts speciāls matemātisks aparāts, kuru nosauca par neskaidro loģiku. Neskaidrās loģikas pamata atšķirība no klasiskās, kā ir redzams no nosaukuma, ir ne tikai divu klasisko stāvokļu (vērtību), bet arī starpstāvokļu esamība: $F \in \{0 \ldots 1\}$.

Attiecīgi tiek ieviesti loģiskās reizināšanas, saskaitīšanas un noliegšanas (atņemšanas) pamata operāciju paplašinājumi (salīdziniet ar varbūtību teoriju atbilstošām operācijām):

$$a \cap b = \min\{a, b\}$$

$$a \cup b = \max\{a, b\}$$

$$\bar{a} = 1 - a$$



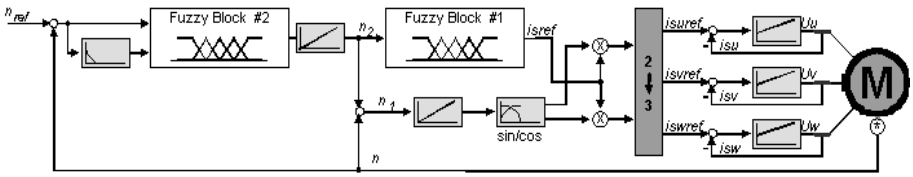
8. att. **Diskrēts (A) un Fuzzy Set (B) temperatūras definējums**

Kā var viegli pamanīt, izmantojot tikai klasiskos stāvokļus [nepatiesība (nē) – 0, patiesība (ja)- 1], mēs nonākam līdz klasiskiem loģikas likumiem. Neskaidrās loģikas vadības princips tiek izmantots dažādo automatizācijas un specifisko automātikas intelektuālo funkciju īstenošanai visdažādākās elektriskās ierīcēs, mājas tehnikā, auto elektronikā, ražošanas un tehnoloģisko procesu vadīšanā (7., 8., 9. att).

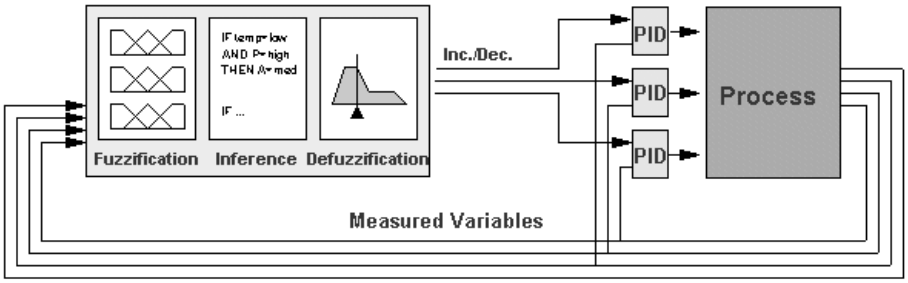
Faziloģikā izmanto t.s. *dalības funkcijas*, kuras ļauj vienā konkrētā situācijā saskatīt vairākus aspektus, tikai ar dažādiem pārliecības koeficientiem, piemēram, temperatūru 18 °C var aprakstīt kā normālu ar koeficientu 0.9, vēsu ar koeficientu 0.6, siltu ar koeficientu 0.3. Faziloģika būtu jālieto tad, kad:

- ievadam pieejami precīzus datus, kurus var pārveidot vērtējumos: liels, vidējs, mazs;
- mērs, kādā kāds izteikums ir patiess, mainās pakāpeniski, nevis lēcienveidīgi;
- lietotājam nav svarīgi izsekot precīzai sprieduma pieņemšanas gaitai;
- kā rezultāts arī var būt konkrēts skaitlis (nevis cipars!).

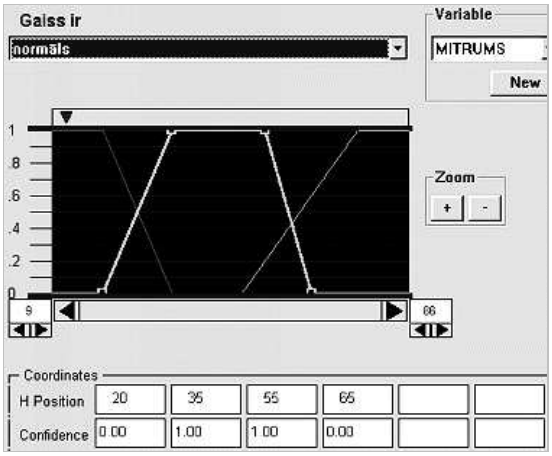
Faziloģikas pielietošanas piemērs. Piemēram, pārtikas uzņēmuma tehnoloģiskai iekārtai jāregulē ieplūstošā ūdens temperatūra. Tad varētu izmantot šādu likumsakarību: *JA* ieplūstošais ūdens ir par karstu, *TAD* pievienot ieplūstošam ūdenim auksto. Tātad tiks uzdots jautājums: ieplūstošais ūdens ir par: aukstu, karstu, normāls? Atbildes iespējamas subjektīvas un cik tad daudz jāpievieno aukstais ūdens? Tāpēc vajadzētu izveidot papildus likumsakarību: *JA* ieplūstošā ūdens temperatūra pārsniedz 60 ^{o}C, *TAD* ieplūstošais ūdens ir par karstu. Tātad tiks uzdots cits jautājums: kāda ir ieplūstošā ūdens temperatūra? Ieplūstošā ūdens temperatūru var uzdot cilvēks, var mērīt aparāts.



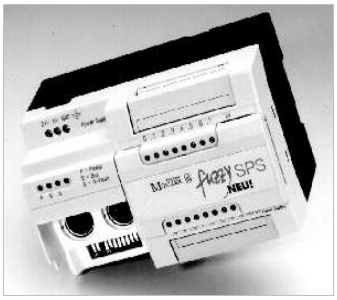
a



b



c

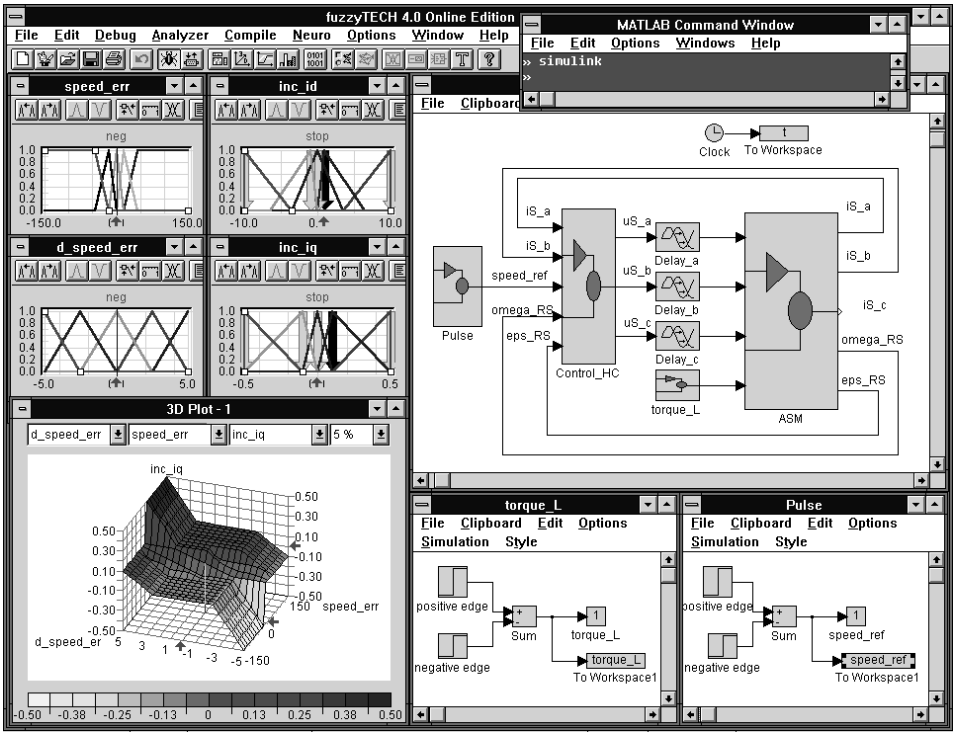


d

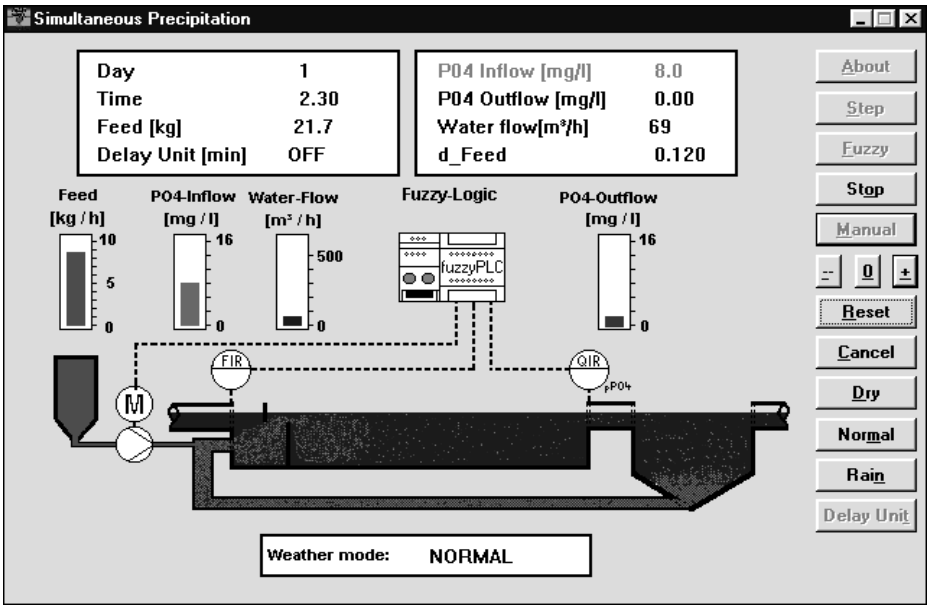
9. att. **Faziloģiskās vadības principa izmantošana:**
a – elektropiedziņā, b – tehnoloģisko procesu automatizācijā, c – mikroklimata regulēšanā; d – fuzzy SPS kontrolleris.

Var uzdot papildus likumsakarības ūdens daudzuma regulēšanai: *JA* ieplūstošā ūdens temperatūra ir mazliet par karstu, *TAD* auksto ūdeni pievienot mazliet, vai *JA* ieplūstošā ūdens temperatūra ir daudz par karstu, *TAD* auksto ūdeni pievienot daudz utt. Uzdod likumsakarības „maz", „daudz", „vidēji", noteikšanai izmantojot kontrolējama parametra mainīgos un to vērtības.

Par praktiski izmantojamiem piemēriem faziloģikas jomā var minēt piegādes izmaksu noteikšanu, piemērotākās maksājumu kartes izvēli, interneta pieslēguma izvēli, operētājsistēmas izvēli, tiešo maksājumu noteikšanu lauksaimniecībā, degvielas, ūdens, elektroenerģijas un citu energoresursu patēriņa noteikšanu, datora, kopētāja un printera izvēli, dzīvokļa izvēli, ceļojuma maršruta un izmaksu vērtējumus, braukšanas ātruma izvēli, kredītreitinga noteikšanu, atlaižu lieluma noteikšanu, sakaru izmaksu noteikšanu, profesionālo darbinieku izvēli utt.



10. att. **Faziloģikās vadības parametru modelēšana programmas MATLAB vidē**



11. att. **Faziloģikās vadības funkcionālā monitoringa logs**

3.11. Optimālās vadības princips

Mūsdienu jaunākās tehnikas un automatizēto ražošanas tehnoloģiju ērai ir raksturīgi izvelēties tādu optimālās vadības stratēģiju, kura visracionālāk izmantotu mūsu rīcībā esošos resursus. Optimālās vadības teorija ar matemātisko metožu un instrumentu palīdzību pētī neklasiskos variācijas uzdevumus. Atšķirībā no klasiskiem variācijas uzdevumiem, kur vadības parametri mainās noteiktā atklātā apgabalā (bez robežas), optimālās vadības teorija iekļauj sevī arī tādus gadījumus, kad vadības parametri var pieņemt arī robežlielumu vērtības. Šis apstāklis ir sevišķi svarīgs no lietišķas pieejas puses, jo tieši tehnisko iekārtu darbības robežlielumu kontrole ļoti bieži nodrošina optimālo vadību. Optimālās vadības teorijas attīstības galvenais rezultāts ir L.S.Pontrjagina (1908-1988) maksimuma princips [103]. Risinot optimālās vadības uzdevumus, izmanto arī R.Bellmana (*Richard Ernest Bellman*, 1920-1984) dinamiskās programmēšanas teoriju.

Optimālās vadības principa realizācijas piemērs. Izskatīsim tādu vadāmo objektu (mašīna, aparāts, process), kuram ir „stūre", t.i. „vadības groži". Manipulējot ar tiem un izmantojot esošus vadības resursus mēs nosakām objekta vadības trajektoriju. Tehnoloģiskais process vai objekts var būt uzskatīts par vadāmo, ja tam ir iepriekš noteikti parametri un faktori, kuri ietekme procesa kvalitatīvo norisi. Lai noskaidrotu, kā atsauksies objekts uz dažādām arējam vadības iedarbēm, mums nepieciešams zināt procesa izmaiņas trajektoriju, tas ir, vadības likumu, kurš apraksta objekta dinamiskās īpašības un atspoguļo objekta stāvokļa evolūciju. Jāatzīmē, ka objekta vadības iespējas limitējas ne tikai ar vadības resursiem, bet arī ar to, lai vadāmais objekts nenokļūstu fiziski neregulējamā zonā vai atrastos nepieļaujamā, neregulējamā stāvoklī. Vispār pastāv ļoti daudz objektu vadības metožu kuri ļauj sasniegt vadības mērķus. Bet vienmēr rodas problēma izvēlēties tādu optimālo vadības metodi, kura dotu iespēju sasniegt maksimālo rezultātu (efektu, kvalitāti) ar minimāliem resursiem. Optimālās vadības principa ilustrācijas veidā paņemsim vadāmo objektu, kuram vadības likums ir aprakstīts ar diferenciālvienādojumu sistēmu:

$$\frac{dx^i}{dt} = f^i(x^1, \dots x^n, u^1, \dots, u^r); i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

kur - $x^1, \dots x^n$ - fāzes koordinātes, kuri raksturo objekta stāvokli laika momentā t, bet $u^1, \dots u^r$ - vadības parametri. Objekta vadīšanas būtība sastāv no vadības parametru laika funkcijas izvēles

$$u^j = u^j(t); j = 1, \dots, r \quad , \qquad (2)$$

ievērojot vadības resursu ierobežojumus un nosacījumus. Piemēram, lietišķos uzdevumos bieži tiek prasīts, lai katrā laika momentā punkts $(u^1, \dots, u^r)$ piederēja iepriekš uzdotam daudzumam U. Šis apstāklis klasificē izskatāmu variācijas uzdevumu kā neklasisku. Lai tiek uzdotas sākuma $(x_0^1, \dots, x_0^n)$ un beigas $(x_1^1, \dots, x_1^n)$ objekta stāvokli. Par objekta vadības esamību var runāt tikai tad, kad tiek realizēts vadības mērķis, tas ir, kad tiks atrasts tāds laika moments $t_1 > t_0$, kad uzdevuma risinājums

$$\frac{dx^i}{dt} = f^i(x^1, \dots x^n, u^1(t), \dots, u^r(t)); x^i(t_0) = x_0^i, i = 1, \dots, n \qquad (3)$$

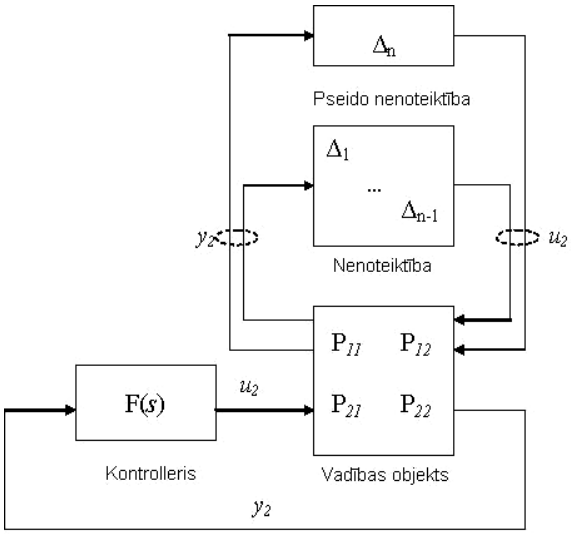
atbilst nosacījumam $x^i(t_1) = x_1^i$. Vadības kvalitāte var būt novērtēta ar funkcionāla vērtības aprēķināšanu

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_1} f^0(x^1(t), \ldots, x^n(t), u^1(t), \ldots, u^r(t))dt \quad , \qquad (4)$$

kur $f^0(x^1, \ldots, x^n, u^1, \ldots, u^r)$. Optimālās vadības uzdevums tiek nodrošināts, ja funkcionāla (4) aprēķinātā vērtība ir minimāla. Diferenciālvienādojumu veidā (1) parasti apraksta tādus mehāniski vadāmos objektus, kuriem ir galīgs brīvības pakāpju skaits. Reālos apstākļos var rasties arī citi optimālās vadības uzdevumu formulējumi un vadības trajektorijas matemātiskie modeļi. Piemēram, vadāma objekta stāvokļa raksturojošais lielums X var būt ne tikai laika, bet arī telpisko koordinātu funkcija (piemērām, aktuālās temperatūras kontrole objektā reālā laika mērogā). Tad objekta vadības likums tiek aprakstīts diferenciāl-vienādojumu veidā ar aktuāliem atvasinājumiem [104].

Lauksaimniecībai raksturīga stohastisko objektu esamība vadāmā sistēmā, kas ir saistīts ar augiem, baktērijām un dzīvniekiem [48-51]. Tāpēc lauksaimniecisko objektu un tehnoloģiju optimizācijai pielieto arī optimālās vadības teorijas atsevišķo nodaļu – stohastisko objektu vadības teoriju, kad vadāmais stohastiskais process *(stochastic process)* tiek aprakstīts ar mainīgiem lielumiem, kuru vērtības mainās laikā.

Vadāmas sistēmas nenoteiktības situācijā, kad vadāma objekta raksturojums nav pilnīgi detalizēts vai vispār nav zināms vadības objekta matemātiskais modelis, pielieto nevis optimālās vadības, bet *robustu (neprecīzas)* vadības teorijas metodes. Šim nolūkam izmanto speciālus - robustu μ - tipa, H∞ , LMN, fuzzy SPS un cita tipa vadības kontrollerus. Robustu sistēmu vadības princips shematiski paradīts 12. att.



12. att. **Robustu vadības princips,**
kur Δ_n – pseido nenoteiktības matrica, $\Delta_1 \ldots \Delta_{n-1}$ – nenoteiktību matrica, $P_{11} \ldots P_{22}$ – vadības objekta pārvades funkciju parametru matrica, F(s) – kontrollera pārvades funkcija

Robustu sistēmu sintēzes galvenais uzdevums ir tāda vadības likuma meklēšana, kurš saglabātu sistēmas izejas parametru mainīgos uzdotās pieļaujamās robežās, neskatoties uz

nenoteiktību esamību vadības kontūrā. Nenoteiktības var būt dažādās formās, toties visbūtiskākās ir trokšņi, nelinearitāte un neprecizitātes vadības sistēmas pārvades funkciju noteikšanā. Vispārīgā formā robustu vadības kanoniskais uzdevums var būt aprakstīts ar matemātisko modeli.

Apzīmēsim ar P(s) vadības objekta pārvades funkciju. Nepieciešams sintezēt tādu kontrolleru ar pārvades funkciju F(s), lai noslēgtās sistēmas pārvades funkcija T_{y1u1} apmierinātu robustu kritērija nevienādībai:

$$\frac{1}{K_M(T_{y1u1}(j\omega))} < 1,$$

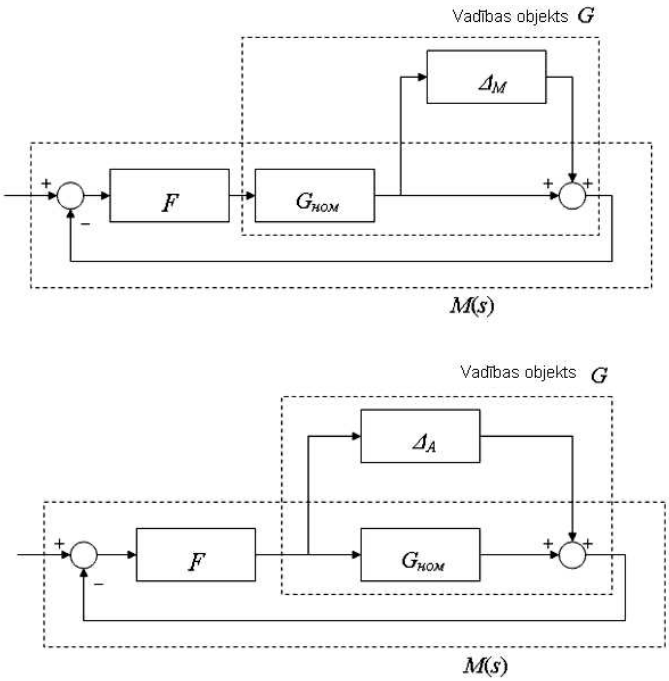
kur $K_M(T_{y1u1}(j\omega)) = \inf[\sigma_n(\Delta)|det((I - T_{y1u1})\Delta) = 0]$,

Δ – nenoteiktību matrica,

σ_n – *n*–singulārs matricas skaitlis,

K_M - nenoteiktības „izmērs”, kurš var destabilizēt sistēmu.

Robustu sintēzes gaitā vadības procesa kvalitātes kontrolei izmanto t.s. pseido nenoteiktību - Δ_n. Ja pseido nenoteiktība Δ_n netiek izmantota, tad kļūst aktuāls robustu stabilitātes nodrošināšanas uzdevums. Robustu analīzes uzdevums ir noteikt stabilitātes robežu K_M, bet robustu sintēzes uzdevums ir noteikt kontrollera pārvades funkciju, kura atbilst robustu kritērijam.



13. att. **Aditīva un multiplikatīva tipa nenoteiktības**

Strukturālās un nestrukturālās nenoteiktības. Robustu vadībā pielieto divu veidu - strukturālās un nestrukturālās nenoteiktības. Nestrukturālās nenoteiktības parasti ir tie elementi, kuri ir atkarīgi no biežuma. Nestrukturālo nenoteiktību ietekme uz vadības objektu var būt gan aditīva,

$$G = G_{nom} + \Delta_A$$

gan multiplikatīva

$$G = (I + \Delta_M)G_{nom}$$

Strukturālās nenoteiktības atspoguļo izmaiņas vadības sistēmas dinamikā. Kanoniska uzdevuma veida pieeja robustu vadības sistēmas projektēšanas stadijā atļauj noteikt strukturālās un nestrukturālās nenoteiktības un izmantot tos robustu kontrollera sintēzes gaitā.

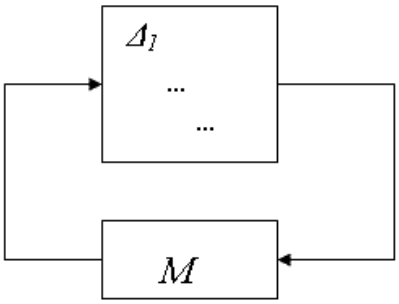
Robustu analīze. Robustu analīzes mērķis ir tādas nenoteiktības Δ meklēšana, pie kuras sistēma kļūst nestabila.

Analīzes gaitā tiek risināti divi uzdevumi:

1. nenoteiktības modeļu noteikšana;
2. strukturālās shēmas sakārtošana atbilstoši standartizētai (M – Δ) struktūrai, kad visas nenoteiktības strukturālā veidā tiek atdalītās no sistēmas nominālās shēmas.

Pēc robustu stabilitātes teorēmas (M – Δ) sistēma ir stabila pie visiem Δ(s), ja tiek izpildīts nosacījums:

$$\sigma(\Delta(j\omega)) < \frac{1}{\sigma[M(j\omega)]}$$



14. att. **Robustu sistēmas strukturālā (M – Δ) shēma**

Jāatzīmē, ka mazam σ(Δ) izmaiņām nekad neseko lielas izmaiņas. Šī teorēma nodrošina pietiekošus nosacījumus sistēmas robustu stabilitātei. Pastāv arī citas speciālās robustu analīzes metodes [103-104].

3.12. Ģenētiskie algoritmi

Ģenētiskie algoritmi – ir viena no neironu tīklu (NT) optimizācijas jaunām metodēm. *Ģenētiskie algoritmi* (ĢA) ir pašapmācošs modelis, kurš uzlikto uzdevumu risināšanai izmanto dabīgās atlases algoritmus [105-108]. Šeit tiek izmantoti tādi jēdzieni, ka populācija, īpatnis, mantošana un mutācija. Vispirms algoritms izvirza iespējamos risinājumus. Pēc tam, katrā paaudzē, līdzīgi bioloģiskiem organismiem, „visspēcīgākie" risinājumi „krustojas", radot jaunus risinājumus, bet „vājie" aiziet bojā. ĢA iespējas neierobežo neironu tīklu noskaņošana. ĢA – ir pašu dažādāko uzdevumu risināšanas metode. *Ģenētisko algoritmu* izmantošana kopā ar neironu tīkliem izejas datu izvēlei un tīklu un apmācības parametru optimālo konfigurāciju izvēlei jau parādīja savas stiprās puses un izplatās arvien vairāk automātiskās vadības sistēmās ar ierobežotu intelektu. Kad mēs, beidzot, uzzinām, kādā tieši veidā tiek apmācīti dzīvie smadzeņu neironi, tad arī MI sistēmas, kas izmanto NT un ĢA, varēs konkurēt ar cilvēka dabīgo intelektu (DI). Protams, mākslīgie NT un ĢA vēl nevar konkurēt ar cilvēka smadzenēm. Problēma ir nevis sistēmas apmācības veidā, bet dzīvā neirona izejas modeļa eksistences lielā noslēpumā.

Ģenētiskie algoritmi izmanto dabā eksistējušu mehānismu: gēnu mutācijas, evolūcijas process. Objekts, problēmas risinājums vai algoritms tiek attēlots kā pietiekami gara bitu rinda.

Ģenētiskie algoritmi veicina problēmu risināšanu, pat ja nav pilnībā skaidri cēloņi. ĢA pirmā paaudze tiek ģenerēta nejauši vai zinot kādus fragmentus. Svarīgākais etaps – iegūto kombināciju (algoritmu paaudzes) vērtēšana: daļa tiek noraidīti (neizdzīvojušie), pārējos izmanto evolūcijas procesā. Nākošo paaudzi veido dalot un kombinējot tos algoritmus, kuri izdzīvoja.

Ģenētiskais algoritms šobrīd ir pats slavenākais evolucionāro algoritmu pārstāvis, un pēc būtības tas ir algoritms globālā ekstrēma atrašanai. ĢA ir dzīvo organismu vairošanās modelis. No sākuma, iedomāsimies mērķa funkciju no daudziem mainīgajiem, kurai ir nepieciešams atrast globālo maksimumu vai minimumu:

$$F(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_N).$$

Lai ĢA sāktu darboties, mums vajag parādīt neatkarīgos mainīgos hromosomu veidā. Kā to padarīt? Kā radīt hromosomas? Pirmais solis būs neatkarīgo mainīgo pārveidošana hromosomās, kuras saturēs visu nepieciešamo informāciju par katru radāmo objektu. Pastāv divi parametru kodēšanas varianti:

1) binārā formātā;
2) formātā ar brīvo komatu.

Gadījumā, ja mēs izmantojam bināro kodēšanu, mēs izmantojam *N* bitus katram parametram, pie tam *N* var būt katram parametram dažāds. Ja parametrs var mainīties starp minimālo vērtību *MIN* un maksimālo *MAX*, tad pārveidošanai izmantojam sekojošas formulas:

$$r = g\,(MAX - MIN) / (2^N - 1) + MIN,$$

$$g = (r - MIN) / (MAX - MIN)\ \ (2^N - 1),$$

kur *g* – veselu skaitļu binārie gēni, *r* – gēnu ekvivalents formātā ar brīvo komatu. Hromosomas formātā ar brīvo komatu tiek radīti, izmantojot iekodēto parametru izvietošanu vienu pēc otra. Salīdzinot šos divus attēlojuma veidus, ir redzams, ka labākie varianti dod attēlojuma variantu binārā formātā (it īpaši, izmantojot *Greja* kodus). Bet tomēr šinī gadījumā mums ir jāapmierinās ar pastāvīgu parametru kodēšanu/dekodēšanu. Kā praktisko piemēru ģenētisko algoritmu izmantošanā var minēt *General Electric* – reaktīvo dzinēju turbīnu projektēšanu, kur ap 100 mainīgo un 50 konstanšu rastie risinājumi tiek testēti ĢA simulācijas darba stacijās.

Kā darbojas ģenētiskais algoritms? Kopumā, ģenētiskais algoritms darbojas šādā veidā. Pirmajā paaudzē visas hromosomas ģenerējas nejauši. Tiek noteikta to „lietderība". Sākot ar šo punktu, ĢA var sākt ģenerēt jauno populāciju. Parasti, populācijas izmērs ir pastāvīgs. Reprodukcija sastāv no četriem soļiem:

1) selekcijas un triju ģenētisko operatoru (pielietošanas kārtība nav svarīga):
2) krosovers,
3) mutācija,
4) inversija.

Selekcijas lomu un nozīmi mēs jau apskatījām evolucionāro algoritmu pārskatā. Krosovers ir vissvarīgākais ģenētiskais operators. Tas ģenerē jaunu hromosomu, apvienojot divu vecāku (tēva un mātes) ģenētisko materiālu. Pastāv daži krosovera varianti. Visvienkāršākais ir vienpunktu krosovers Šinī variantā vienkārši tiek ņemtas divas hromosomas, un tās tiek pārgrieztas nejauši izvēlētajā punktā. Rezultējošā hromosoma veidojas no vienas vecāku hromosomas sākuma un otrās beigām.

001100101110010|11000	→	0011001011100101**11100**
110101101101000|11100		

Mutācija ir hromosomas nejaušā izmaiņa (parasti ar viena no bitiem vienkāršu izmaiņu uz pretējo). Dotais operators ļauj ātrāk atrast ĢA lokālos ekstrēmus no vienas puses un ļauj „pārlēkt" uz citu lokālo ekstrēmu no otras.

001100101110010**1**1000	→	001100101110011**1**1000

Inversija invertē (izmaina) bitu kārtību hromosomā ar ciklisko pārvietošanu (nejaušo reižu skaitu). Daudzas ĢA modifikācijas iztiek bez dotā ģenētiskā operatora.

00110010111001011000	→	**11000**001100101110010

Ir jāsaprot, kāpēc ĢA uz dažām kārtām pārsniedz ātrumā nejaušo meklēšanu daudzos uzdevumos? Šeit, acīmredzams, lieta ir tā, ka vairākumam sistēmu ir diezgan neatkarīgas apakšsistēmas. Tā dēļ ģenētiskā materiāla maiņas laikā bieži var rasties situācija, kad no katra no vecākiem tiek paņemti gēni, kuri atbilst noteiktās apakšsistēmas vislabākam variantam (pārējie „kroplīši" pakāpeniski iet bojā). Citiem vārdiem sakot, ĢA ļauj uzkrāt veiksmīgos risinājumus sistēmām, kuras sastāv no relatīvi neatkarīgām apakšsistēmām (lielākā daļa mūsdienu sarežģīto tehnisko sistēmu un visi zināmie dzīvie organismi). Attiecīgi var pareģot arī ĢA kļūmes laiku (vai, galu galā, neparādīs īpašo priekšrocību priekš *Monte-Karlo metodes*) – sistēmas, kuras ir grūti sadalīt apakšsistēmās (mezgli, moduļi), kā arī gēnu izvietošanas neveiksmīgās kārtības gadījumā (tuvu ir izvietoti parametri, kuri attiecas uz dažādām apakšsistēmām), kurā apmaiņas ar ģenētisko materiālu priekšrocības tiecas (novelkas) uz nulli. Pēdējā piezīme tiek nedaudz pavājināta sistēmās ar diploīdo (dubulto) ģenētisko kopumu. *Evolucionārā (ģenētiskā) programmēšana.*

Dati, kuri ir iekodēti genotipā, var būt kaut kādas virtuālās mašīnas komandas veidā. Tādā gadījumā mēs runājam par evolucionāro vai ģenētisko programmēšanu. Vienkāršākā gadījumā mēs varam neko nemainīt ģenētiskā algoritmā. Taču tādā gadījumā, darbību (programmas) iegūstamajā secība sanāk neatšķirīga no tās (vai tām), kuru mēs ievietojām kā piekodinājumu. Mūsdienu ģenētiskās programmēšanas algoritmi paplašina ĢA sistēmām ar mainīgo genotipa garumu [109].

Dažas piezīmes attiecīgai ĢA izmantošanai. Var atzīmēt, ka ĢA ir jauktais algoritms gan globālā, gan lokālā ekstrēma meklēšanai. Tas dod mums iespēju atvieglot globāli-optimālo struktūru meklēšanas shēmu, izmantojot tajā ĢA gan kā PSS, gan kā LMS algoritmu. Kādi ir dotās shēmas plusi un mīnusi? Plusi – realizācijas vienkāršums, universālums. Mīnusi – salīdzinājumā ar speciāliem PSS algoritmiem, kuri dos mums daudz vairāk dzīvotspējīgo eksemplāru, ļoti samazināsies algoritma darbības ātrums. Tādā veidā, ĢA labāk izmantot sekojošos gadījumos:

- vienkāršie gadījumi, kad speciālās metodes programmēšana turpināsies daudz ilgāk, nekā risinājuma meklēšana ar lēno metodi;
- sarežģīts gadījums, kad mēs pat nezinām, no kādas puses pieiet pie uzdevuma. Interesanti arī atzīmēt ĢA un nejaušās meklēšanas algoritma apakštelpās kopīgās puses.

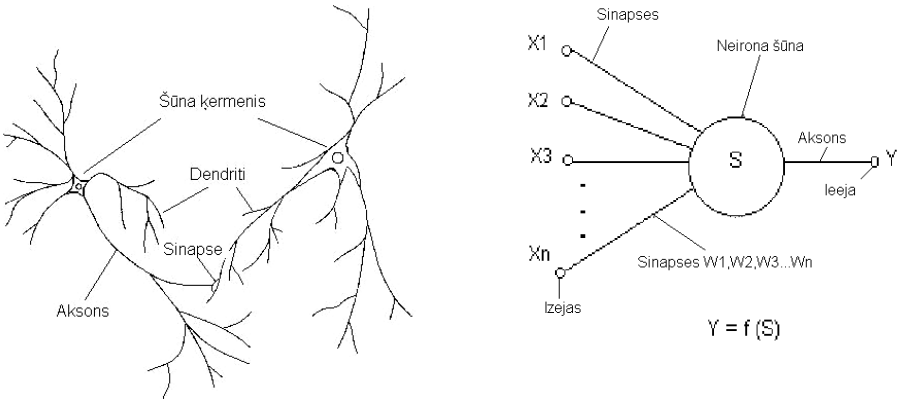
Abi šie algoritmi optimuma meklēšanā izmaina ne visus iespējamos mainīgos, bet tikai daļu no tiem. Šis, liekas, sīks uzlabojums sekmē apbrīnojamus rezultātus – šie algoritmi vidēji dod risinājuma darbietilpību par kārtu zemāku, nekā saistīto gradientu metode, un par divām kārtām zemāku, nekā nejaušās meklēšanas metode pa visu mainīgo telpu.

Citiem vārdiem sakot, šie algoritmi izmanto vienu no mūsu pasaules īpašībām – objektu dažādu apakšsistēmu neatkarību. Atgriežoties pie pamata jautājuma – intelektuāliem uzdevumiem, teiksim, ka dotie algoritmi uzvedās kā pieredzējuši inženieri, meklējot traucējumus (ļoti intelektuāls pēc visiem parametriem uzdevums), un ievēro bausli (likumu) - „nekad neaizskart visu uzreiz, tikai pēc kārtas".

3.13. Neironu tīkli ar apmācību bez apmācītāja

Neironu tīklu apmācība. Pirms neironu tīklu varētu izmantot, tas ir jāapmāca. Apmācības procesā tiek mainītas izeju un ieeju saistošās pretestības – tas nosaka, cik būtiski viena ieeja ietekmē citu. Parasti izmanto apmācību „ar piemēriem" – dod ieejas datu komplektu ar zināmu rezultātu un katrs iegūtais rezultāts tiek salīdzināts ar pareizo.

Neironu tīkla (15. att) apmācības algoritmā ar apgrieztās izplatīšanas procedūru (*back propagation method* - BPM metode) ir domāta kāda ārējā posma klātbūtne, kas dod tīklam ne tikai ieejas, bet arī mērķa izejas tēlus. Algoritmi, kuri izmanto tādu koncepciju, saucas par apmācības algoritmiem ar apmācītāju. To veiksmīgai funkcionēšanai ir nepieciešama ekspertu klātbūtne, kuri rada iepriekšējā etapā katram ieejas tēlam etalona izejas tēlu. Tā kā mākslīgā intelekta radīšana kustās pa dabas pirmtēlu kopēšanas ceļu, zinātnieki nepārtrauc strīdu par tēmu, vai var uzskatīt apmācības algoritmus ar apmācītāju par naturālajiem, vai tie ir pilnīgi mākslīgi. *Neironu tīkls* nav specializēta sistēma, bet apmācāma. *Neironu tīklu* būtiskākā īpašība ir spēja mācīties. Atšķirībā no tradicionālām automatizētām sistēmām neironu tiklos nenotiek procesu modelēšana [18-19,23-24].



15. att. **Neironi (a- smadzeņu neirons, b- mākslīgais neirons)**

Piemēram, cilvēka smadzeņu apmācība, ar pirmo skatienu, notiek bez apmācītāja: uz redzes, dzirdes, taustes un citiem receptoriem nonāk informācija no ārpuses, un nervu sistēmas iekšā notiek kāda pašorganizācija. Tomēr, nevar noliegt arī to, ka cilvēka dzīvē ir diezgan daudz apmācītāju – gan burtiskā, gan pārnestā nozīmē, kuri koordinē ārējās iedarbības. Līdz ar to, ar ko arī nebeigtos šo divu apmācības koncepciju piekritēju strīds, tām abām ir tiesības uz eksistenci. Galvenā iezīme, kura padara apmācību bez apmācītāja par pievilcīgu – ir tās „patstāvība". Apmācības process, tāpat kā apmācības ar apmācītāju gadījumā, ir sinapšu svaru pieskaņošanā.

Neironu tīkli ir no dabas aizņemts neironu darbības principa modelis:

- centrā neirons, kurš apstrādā ienākošos signālus un ģenerē izejošos;
- vairāki ieejas signāli no citiem neironiem, kuru līmeni regulē apmācības procesā;
- ļoti liels skaits elementu – neironu;
- tie visi saistīti savā starpā un darbojas paralēli.

Neironu tīklus izmanto ražošanā, transportā, ekonomikā, medicīnā, zinātnē, biznesā: situāciju atpazīšanā, prognozēšanā, finansu analīzē, procesu vadīšanā un optimizācijā. Neironu tīklus izmanto arī lai atrastu tipveida situāciju milzīgās datu krātuvēs, parasti tas

saistīts ar ieguldījumiem īpašumos, uzņēmumu akcijās utt. Parasti šādas sistēmas izmanto kā palīgu cilvēkam, lai atsijātu „derīgus gadījumus", galīgo lēmumu pieņem NT lietotājs. *Neironu tīklu trūkums* – nepieciešamība veikt apmācību. Jo, kad apmācība bijusi nepietiekama vai bijusi par garu, tad neironu tīkls darbojas neefektīvi un vadāmā sistēmā var parādīties defekti. Neironu tīkli nevar arī sniegt nekādus paskaidrojumus par pieņemtajiem lēmumiem un negarantē lietotājam pilnīgi drošu vai pilnīgi optimālu lēmumu.

Apgrieztās pārveidošanas metode (APM - metode, patentēta pasaules prioritāte pieder LLU profesoram G.Moskvinam) un gandrīz pilnīgi analoģiska metode – t.s. „apgrieztās izplatīšanas" metodes (BPM) šodien ir plaši pielietojami NT apmācībai, jo tie pietiekoši labi darbojas, radot priekšstatus par noteicamo metrisko tēlu apslēptos tīkla elementos. Apgrieztās pārveidošanas un izplatīšanas metodes šodien ir plaši pielietojamas, jo tās pietiekoši labi darbojas, radot priekšstatus par noteicamo redzes un metrisko tēlu apslēptos tīkla elementos. Darbā [56] pirmoreiz ir salikti dažādu autoru prioritāšu akcenti uz apgrieztās pārveidošanas un izplatīšanas metožu algoritmiem, kuri parādīja NT apmācības procedūru, kļūdas samazināšanas un intelektuālo sistēmu precizitātes korekcijas augstu efektivitāti, pie tam to svars pakāpeniski mainās. Ir jāatzīst daudzu zinātnieku maldīšanās, kuri apmēram pirms 30 gadiem uzskatīja, ka līdzīgas metodes būs pilnīgi bezjēdzīgas, tāpēc, ka tām, pēc viņu viedokļa, bija neizbēgami jānoved pie lokāliem optimumiem, un plašākā mērogā – pie nepareiziem risinājumiem. Izrādījās nepamatota arī tāda izplatīta pārliecība, ka apmācības procedūrai ir jēga tikai tajā gadījumā, ja tā garantē konverģenci pie globālā optimālā risinājuma. Apgrieztās pārveidošanas (APM) un izplatīšanas metodes (BPM) parādīja, ka daudziem uzdevumiem globālā konverģence nav nepieciešamas nosacījums, lai sasniegtu pieņemamos rezultātus. Bet no bioloģijas vadības sistēmu viedokļa ir jāatzīst, ka apgrieztās pārveidošanas un izplatīšanas metodes, līdzīgi galvas smadzeņu darbībai, šodien jau neizskatās tik pārliecinoši. Vairāk acīmredzama viennozīmīga apgalvojuma grūtums ir tas, ka informācijai ir jāaiziet pa tādām pašām saitēm pretējā virzienā, no katra nākošā līmeņa pie iepriekšējā. Bet patiesībā, reālos smadzeņu neironos pastāv daudz ceļu, kuri noved no turpmākajiem nervu šūnu slāņiem pie iepriekšējiem. Šīs neironu saites var tikt izmantotas informācijas pārnesei, kura ir nepieciešama apmācībai. Vai tāda atgriezeniskā saite patiešām tiek īstenota dzīvo smadzeņu neironu tīklos? Zinātne par smadzenēm līdz šim neatbildēja viennozīmīgi uz šo jautājumu. Sarežģītākā problēma ir apgrieztās pārveidošanas un izplatīšanas algoritmu ātrdarbība. Šeit centrā nonāk jautājums par to, cik ātri palielinās laika daudzums, kas ir nepieciešams apmācībai, tīkla izmēru palielināšanas gaitā. Laiks, kas ir nepieciešams, lai aprēķinātu atvasinājumus no svaru kļūdas dotajā vingrinājumu piemērā, proporcionāli tīkla izmēriem, jo aprēķinu apjoms ir proporcionāls svaru skaitam. Taču lielāki tīkli prasa lielāku vingrinājumu piemēru skaitu, un tiem ir vairakkārt jāmodificē svarus. Tātad, apmācības laiks palielinās daudz ātrāk, nekā tīkla izmēri.

No mākslīgā intelekta (MI) radīšanas viedokļa visnopietnākā apgrieztās pārveidošanas un izplatīšanas metožu pielietošanas problēma šodien ir tā, ka tāds NT prasa mācītāju, kurš dod gaidāmo izeju katram vingrinājuma piemēram. Bet pirmkārt, dabiskā dzīvojamā vidē cilvēks apmācās bez mācītāja palīdzības [87-88]. Bet otrkārt, neviens mums nedod iepriekš detalizētu aprakstu un pielietošanai gatavos ideālos pasaules tēla priekšstatus, pēc kuriem mēs varētu iemācīties iegūt labumu, izmantojot mūsu pašu, lokālo sensoru ieeju. Treškārt, mēs mācamies izprast runu vai vizuālos skatus bez jebkādām tiešām instrukcijām, tas ir, mēs vienalga esam spējīgi uztvert gatavās pielietošanai zināšanas atklāti, ezoteriski, bez intelektuālo starpnieku līdzdalības. Ja neironu tīkls saduras ar lielu signālu kombināciju kopu, bet tai nav nekādas informācijas par to, kas ar tām ir jādara, tad, acīmredzami, uzdevums neironu tīklam vienkārši ir neskaidri noformulēts. Pētnieki izstrādāja dažas universālās, nekontrolējamās procedūras, kuras var pareizi regulēt tīkla svara parametrus. Visām šīm procedūrām ir divas vienādas īpašības: tās operē, atklāti, vai neatklāti, ar kādu priekšstata kvalitātes sajēgu un darbojas, mainot svarus, lai paaugstinātu priekšstata kvalitāti, kuru

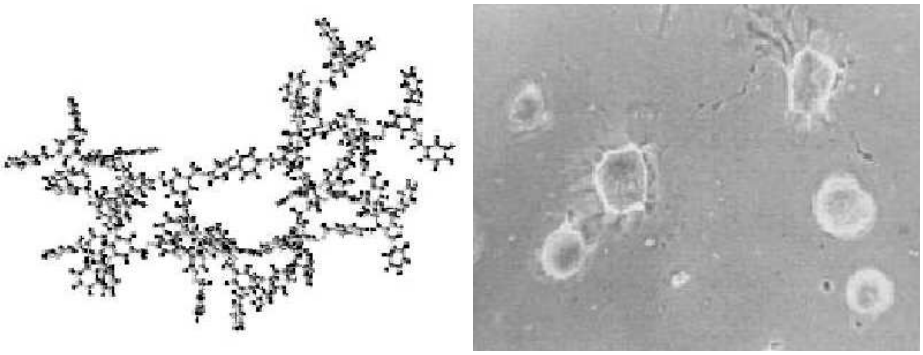
izstrādā slēptie elementi. Neskatoties uz atzīmētiem trūkumiem, apgrieztās pārveidošanas un izplatīšanas metožu pielietošana šodien ir visai efektīva, jo samazinās sistēmas nenoteiktības pakāpe un tāpēc nerodas darbību nenoteiktības situācijas. Pie tam, šīs darbības ir jāveic ar informāciju, kura nonāk uz atsevišķu neironu tīklu vai MI sistēmas kopumā izeju. Informācijas tehnoloģiju ieviešana visās ražošanas sfērās noteica intensīvu sadalītā intelekta intensīvu pielietošanu jau pastāvošās funkcionālajās struktūrās ar tendenču uzskaiti mikrodatoru un MI attīstībā. Tehnoloģisko procesu automatizācijas un produkcijas kvalitātes kontroles problēmā vadošā loma ir mērījumu rezultātu, sensoru un mērīšanas ierīču apstrādes intelektualizācijai [65-79]. Pie tam, elektronika un elektroniskās ierīces tāpat ietekmēja mērīšanas ierīču attīstību kā fizikas sasniegumi savā laikā ietekmēja metroloģijas attīstību. Intelektuālās mērīšanas ierīces ir automatizēto tehnoloģisko procesu un produkcijas kvalitātes kontroles vadības sistēmu izstrādāšanas pamats. Intelektuālo sistēmu izstrādāšana kļūst par galveno automatizācijas virzienu, tāpēc visā pasaulē ir novērojama pētījumu finansēšanas intensifikācija šajā jomā. Pie tam pilnveidošana var būt sasniegta ar mērīšanas pārveidotāju, sensoru un ierīču apgādāšanu ar skaitļošanas ierīcēm, mikroprocesoriem. Mūsdienu skaitļošanas tehnikas iespējas ļauj ātri un droši apstrādāt jebkuru informācijas apjomu saskaņā ar noteikto algoritmu, kas nodrošina mērīšanas sensoru optimālā stāvokļa kontroli, kā arī kļūdu korekciju un mērīšanas rezultātu vizuālo interpretāciju saskaņā ar infoergonomikas prasībām.

3.14. Biosistēmu vadības modeļi

Intelektuālās sistēmas jēdziens, kas attiecas uz bioloģisko sistēmu sfēru, ir kaut kas vairāk, nekā parastā to atsevišķo komponenšu summa. Tas ir saistīts ar to, ka jebkura reāla bioloģiskā sistēma raksturojas ne tikai ar fizisko un ķīmisko aprakstu, bet arī ar informācijas saturu, kā arī vadības sistēmu. Piemēram, gēni DNS molekulā - ir ne tikai struktūra, bet arī informācija, iekodēta molekulu konfigurācijā un molekulārās nanomašīnas vadības sistēmas kontūrās, kura sintezē olbaltumvielas. Tāpēc bioloģiskās sistēmās jēdzienus „informācija" un „vadība" var apskatīt kā jēdzienus „matērija" un „enerģija". Beidzot, kas tas ir mākslīgais (MI) vai dabiskais (DI) intelekts? Autora interpretācijā intelekts – ir optimālo risinājumu laikā un telpā meklēšanas procesors, kuri vislabākā veidā apmierina radītāja mērķa sasniegšanas apstākļus. Atšķirībā no MI, dabiskais intelekts (DI) kā „dabiskais procesors", ir dzīvās matērijas īpašība. MI mērķis ir labums radītājam. MI optimālums ir identisks lietderīgumam. Mērķis attaisno šo lietderīgumu un dzīves jēgas „slēpto kārtu". DI mērķis – izdzīvošana ierobežotu resursu un citu intelektu pretdarbības apstākļos. Atšķirībā no DI, mērķa sasniegšanai ar MI palīdzību nav nepieciešams izskaidrot „dzīves jēgu", jo tas aprobežojas ar labumu cilvēkam. Informācija MI izskatās kā motivēto, potenciālo zināšanu avots. Informācija ir kā struktūra MI – tā ir savdabīga sistēmas hologramma, iekšējās aktivitātes, vēstures paiešanas un mācītāja dabiskās dzīves (DD) evolūcijas pēda. DD – ir „tehnoloģiskā prāta" radītājs vai mākslīgā dzīve (MD), t.i. pēda, ar iedarbību un laika dominanti atstāts komponents noteiktā jēdzienu telpas punktā. Intelektam, kā vektoram, ir kvantitatīva vērtība, virziens un tieksmes pēc mērķa dominanti. Bet, jo augstāk atrodas intelekts, jo augstāka ir tā nenoteiktības, neprognozejāmības pakāpe. MI izstrādātāju mēģinājumi novest mākslīgā intelekta problēmu tikai līdz programmēšanas uzdevumam dabiskā valodā (DV) neizskatās pārliecinoši. Tāpat kā aparātu iespējas ne vienmēr ir adekvātas to uzdevumu sarežģītumam, ko risina ar MI palīdzību. Taču valoda nekad nekļūs par tiešu domas realitāti, jo domāšana ir primāra un tas ir „process", bet valoda ir sekundāra un tas ir „instruments". Perspektīvāk izskatās fraktāļu, neironu tīklu (NT) un ģenētisko algoritmu (ĢA) pielietošana. MI mašīnas apmācība domāt ar fraktāļiem tēliem tuvina tās procesoru cilvēka domāšanas asociatīvai metodei. Fraktāļu tēli ieslēdz sevī telpas laikā *(infokvarku)* elementārās pēdas un tur glabājas

pagātnes, tagadnes un nākotnes tēlu izejas forma [53-59]. Tāpēc principiāli ir iespējama dažādu ieviržu apmācības algoritmu pielietošana, t.i. interpolācijas, filtrācijas un ekstrapolācijas algoritmu tēlu stāvokļa virziena secības veidā. Bet jebkura secība realizējas laikā. Fraktāļiem ir raksturīga ne tikai iekšējā tēlu formēšanas, transformācijas un evolūcijas secība, bet arī iekšējais, endohronais laiks, kas noteic tēlainās domāšanas ātrumu. Intelektuālo mašīnu gandrīz radošu īpašību realizācijai vadošās elektroniskās kompānijas aktīvi izstrādā tā sauktos dinamisko tēlu secības videoprocesorus *(Imaging Processors)*. Tādi fraktāļi tēli „spēj" pareģot savu stāvokli un virzīt pašattīstības evolūciju, pie tam tiem ir iekšējā potencialitāte, „intuīcija". Piemēram, ar fraktāļiem tēliem un *Černova seju* tehnikas tēliem *(Chernoff faces)* intelektuālā mašīna var izpaust pamata emocijas. Biokibernētiskā pieeja intelektuālo sistēmu modelēšanā ļauj apskatīt divus „intelektuālos" mērīšanas, kontroles un vadības modeļu tipus. Pirmā tipa modeļu izstrādāšanai pietiek izpētīt tikai procesa vai pētījuma objekta „iekšējās" saites un parametrus, neņemot vērā ārējo faktoru īpatnības. Šāda tipa modeļi var būt derīgi atbilstības objekta iepriekšējai identifikācijai. Tālākā modeļa izmantošana ir atkarīga tikai no tā, cik veiksmīgs būs uzceltā modeļa teorētiskais un tehniskais turpinājums. Pētījuma objekta uzvedības modeļa faktoru analīzei ir jābūt apskatītai uz otra tipa biokibernētisko modeļu izmantošanas pamata, kad tiek veikta sistēmas uzvedības analīze un tiek noteiktas atskaņas funkcijas atgriezeniskās saites ieviešanai.

Tālāk, uz rekomendācijas funkciju pamata, noteicas ietekmes faktori uz mērāmās vides radīto metrisko tēlu un tiek izstrādāts apgrieztās saites algoritms. Ar algoritmu un programmu palīdzību formējamais metriskais tēls tiek sintezēts caur mērīšanas sistēmas pašmācību. Modeļu struktūras pamata kontūras veidojas pilnīgā atbilstībā ar mērīšanu problēmas mērķiem, esošiem dotiem un zināšanas līmeni attiecīgi pētījuma objekta īpatnībām saskaņā ar mērīšanas uzdevumu. Sistēmiskā pieejas būtība intelektuālo sistēmu izstrādāšanā ir apgalvojumā, ka jebkura „rezultējošā" sistēma jebkurā līmenī ir mērķtiecīga sistēma, kura var būt sadalīta un sintezēta no vienkāršāko mērķtiecīgo apakšsistēmu kopuma (16. att.). Tāda apakšsistēma interpretē, grasās un paredz, t.i. tai ir intelekta pazīmes.



a **b**

16. att. **Haoss un antihaoss biosistēmās.**
Bioloģiskās vadības sistēmas - nanomašīnu (a) un šūnu (b) pašorganizācija.

Mākslīgais intelekts (MI) attiecas uz jebkura objekta vai mērķa tādā veidā, kā to prasa tā būtība. Universālā domu neatkarība, intelekts var atrast oriģinālas, efektīvas un pat neparedzētas atbildes. Aparāta rādījumi, pie tam, var tik atšķirties viens no otra, ka tajos var nesaturēties vispār nekādas būtības, jo pētījuma objekts visu laiku ir saistīts ar noteiktu koordinātu nolasīšanas telplaika sistēmu. Pie intelektuālo mērīšanas sistēmu izstrādāšanas ir jāparedz, lai tāda sistēma būtu pieejama cilvēka (eksperta, speciālista) intelektam, pilnīgākām zināšanām, veselam prātam un praktiskās pieredzes attīstībai, tai skaitā arī neformalizētas un

nesistematizētas, kā arī DI intuīcijai. Turpmāk tāda mērīšanas – izzināšanas ekspertu sistēma var nepārtraukti pilnveidoties caur apmācību – kopā ar standartu, kritēriju un atbilstības vērtējumu atjaunošanu. Dialoga un pašmācības rezultātā veidojas atklāta tālākai attīstībai un pilnveidošanai indikācijas, identifikācijas, mērīšanas un korekcijas intelektuālā sistēma ar pētāmās fiziskās vides rekursīvā fraktāļa tēla funkcionālo attēlu. Tāda mērķtiecīga un iekšēji motivēta uz mērķa sasniegšanu intelektuālā sistēma ir virzīta nevis uz mērīšanas procesu, bet gan uz mērīšanas rezultātu. Fundamentālie pētījumi mākslīgā intelekta (MI) jomā ļauj radīt abstraktos universālos modeļus, kas uzlabo reālos procesus un rezultātā pētāmais stāvoklis kļūst caurspīdīgs, pieejams teorētiskai analīzei un apkopojumiem. Turpmāk tas atvieglo apjēgšanu, programmu lingvistisko aprakstu un jaunās zināšanas likumsakarību formulēšanu. Mūsdienu pasaulē, kas ir pildīta un nederīgas informācijas, progresīvo un atpalikušo tehnoloģiju plūsmām, viss ir savstarpēji saistīts.

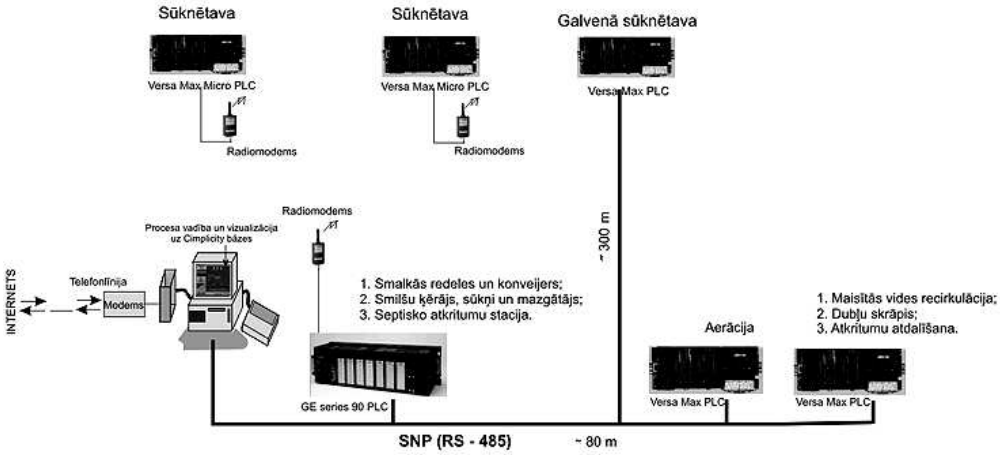
Haosa teorija rāda, ka šie procesi nav nejauši. Konkrēto modeļu pētīšanā labi palīdz imitācijas komplekso sistēmu pētījumi. Dinamiskā sistēma, kura sastāv no vairākiem komponentiem, ir labi attēlota modelī „smilšu kalniņš". Berot ārā smiltis uz galda, kalniņš no sākuma būs plakans, smilšu graudiņu izvietošana savstarpēji nav saistīta un sistēma kopumā savstarpēji neiedarbojas. Bet par cik smilšu kalniņš turpmāk kļūst stāvāks, tas sāk kustēties. Tas nozīmē, ka sistēmas atsevišķās daļas sāk savstarpēji iedarboties un sistēma nonāk kustības stāvoklī. Sīkākie kustības elementi, smilšu graudiņi, visu laiku kļūst aktīvāki un kalniņa augstums sasniedz kritiskās vērtības. Turpmāk smilšu graudiņi kustās visos iespējamos virzienos. Tas, kas notiek uz vienas kalniņa puses, ietekmē to, kas notiek kalniņa otrajā pusē. Mēs vairāk nepinamies tikai ar vienu smilšu graudiņu, bet mums ir tikai viens kalniņš, kas ietver sevī vienu lielu dinamisku sistēmu. Rezultātā sistēmas savstarpējā iedarbība iegūst globālu raksturu [49-51]. Ar tādām sistēmām mēs sastopamies visu laiku. Piemēram, bioloģisko stohastisko procesu analīzē lauksaimniecībā. Faktiski tas nozīmē, ka mūsu materiālā un garīgā pasaule - ir tā pati kritiskā joma, tāds pats smilšu pakalns, kas atrodas tādā stāvoklī, kad tas vairs nevar augt. Šis ir radikāli jauns priekšstats par pasaules attīstību un evolūciju, kas atšķiras no tradicionālā pasaules uzskata un to notikumu izpratnes, kas notiek mums apkārt.

Mēs uzskatām, ka atrodamies sabalansētā līdzsvarā, bet faktiski tāds priekšstats ir ļoti tālu no realitātes. Tas nozīmē, ka mēs dzīvojam nevis stabilā, proporcionāli attīstošā pasaulē, kā mēs līdz šim domājām, bet esam globālās sistēmas daļa, kura balansē uz kārtības un nekārtības, haosa un antihaosa robežas. Cilvēka dabas haoss tiek kompensēts ar pasaules antihaosu, kurš alkst pēc kārtības. Pasaules eksistencei šīs nosacījums ir sākotnējs, kā augstākā būtība, kura ir ieslēgta pašā antihaosa dabā [98]. Pasaules, globālā haosa un antihaosa likumu rakstura saprašana var, beigu beigās, novest mūs līdz sarežģītības skaidras saprašanas un visu Zemes un Visuma procesu augstās pakāpes integrētības, par matērijas, apziņas un tās sociālās vides garīgo dabu, kurā mēs visi dzīvojam un radam.

4. MŪSDIENU TEHNOLOĢISKO PROCESU UN IEKĀRTU AUTOMATIZĀCIJAS PIEMĒRI

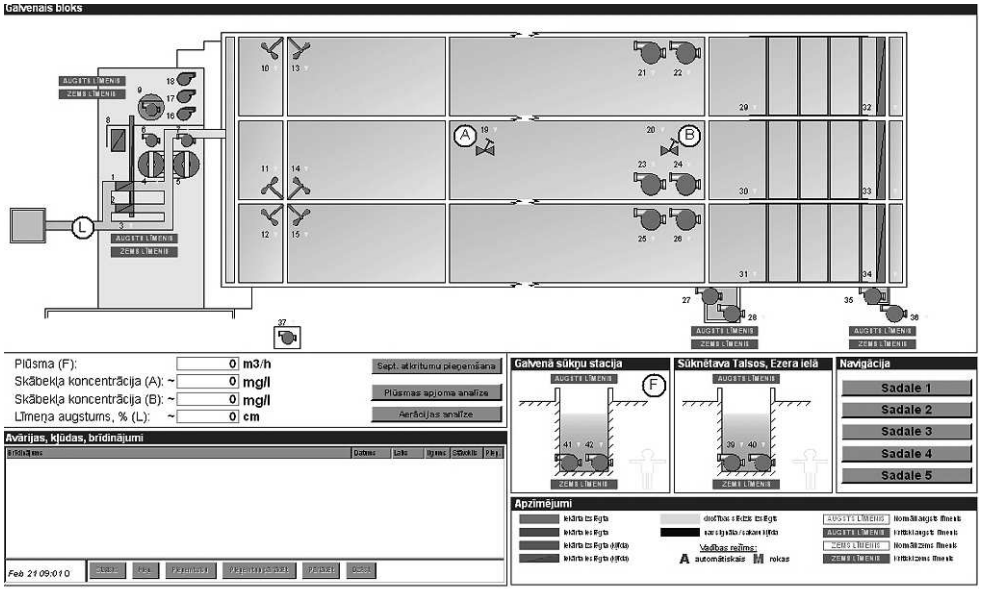
4.1. Mūsdienu automatizācijas principu īpatnības

Ražošanas un tehnoloģisko procesu (TP) automatizācijas aktuālie mērķi un uzdevumi ir cilvēkiem, l/s dzīvniekiem un videi draudzīgu tehnoloģiju attīstība rūpniecībā un lauksaimniecībā, rūpnieciskās, l/s un pārtikas produkcijas kvalitātes uzlabošana un drošības nodrošināšana, TP parametru automatizētas kontroles, automātiskās mērīšanas, dozēšanas un uzskaites jaunu metožu, kā arī vadības sistēmu izstrāde un pilnveidošana, produkcijas atbilstības kontroles metožu papildināšana un pilnveidošana; elektronisko un datorvadības metožu un instrumentu izstrāde, pielietošanas iespēju izpēte, zinātniski ietilpīgo un energotaupīgo tehnoloģiju ieviešana [111-113]. Mūsdienu TP (17.-21. att.) automatizācijas attīstības īpatnības:

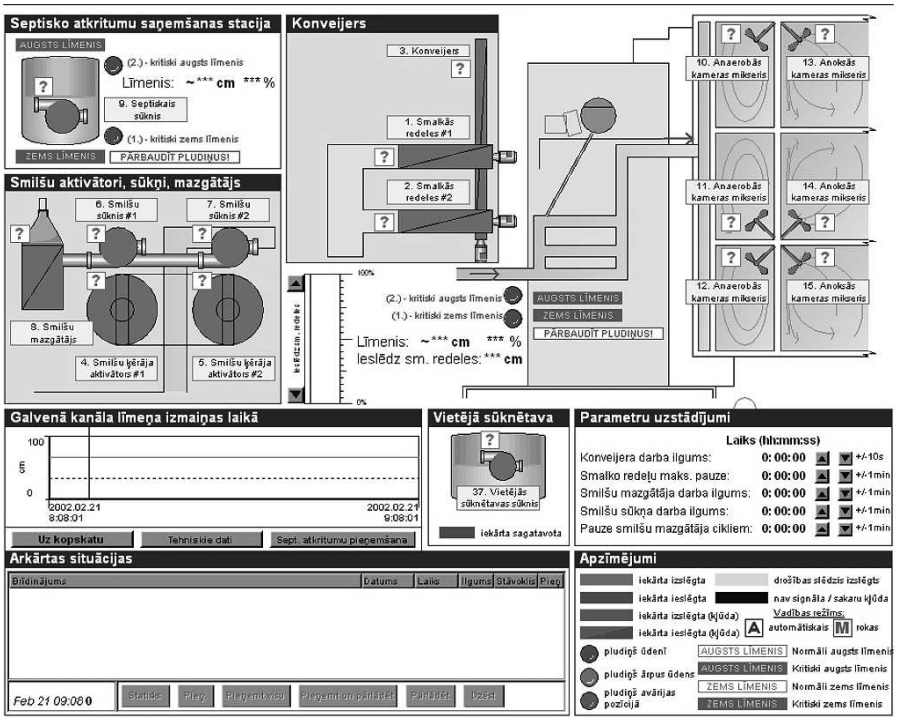


17. att. **Notekūdeņu attīrīšanas tehnoloģijas automatizācijas principiālā shēma**

- zemākas cenas, mazāki izmēri;
- programmējamie loģiskie kontrolieri (PLC), kuros ir ieprogrammēta procesa automatizācijas programma, ir centrālie procesu automatizācijas realizētāji;
- PLC piedāvājumā ir jūtama tendence, ka samazinās to cenas un izmēri kļūst kompaktāki. Tas ir saistīts galvenokārt ar pusvadītāju tehnoloģijas attīstību, kas dod iespēju to pašu atrisināt ar mazāku komponentu skaitu pie kompaktākiem izmēriem;
- operatoru paneļi saitē ar datoru;
- aizvien vairāk ražošanas procesu automatizācijā tiek izmantotas datorizētās procesu vizualizācijas programmas. Vizualizācijas programma pilda arī operatora paneļa funkcijas un tādā gadījumā, nav vajadzības pielietot specializētos PLC operatoru paneļus;
- programmējamie loģiskie kontrolieri (PLC) saitē ar datoru – tā ir dominējoša pieeja tehnoloģisko procesu kontrolē un vadībā. Aizvien plašākais kompleksais pielietojums maina pieeju procesu kontrolei un vadībai;

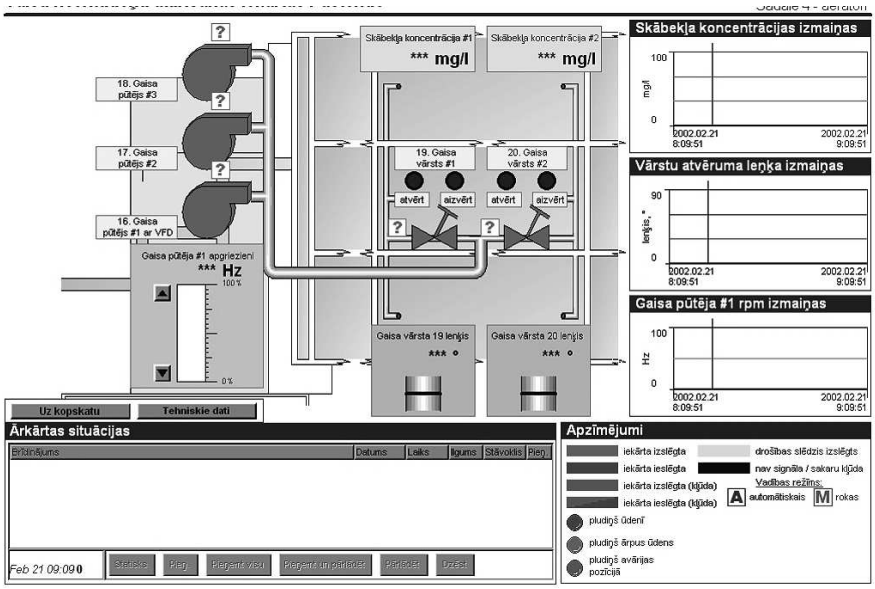


18. att. **Notekūdeņu attīrīšanas tehnoloģijas iekārtu strukturālā shēma**

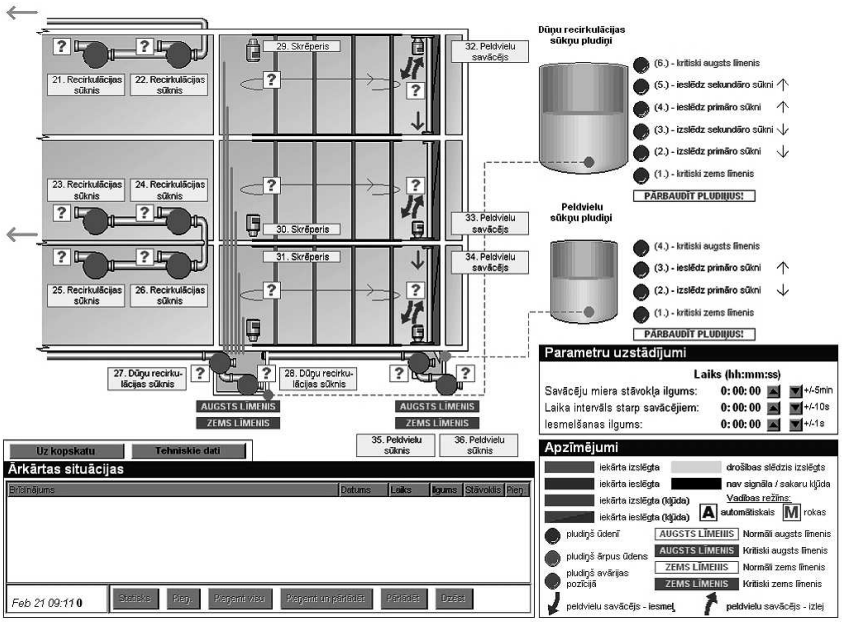


19. att. **Notekūdeņu attīrīšanas iekārtu automatizācijas funkcionālā shēma**

- balstoties uz PC radītām iespējām, uz sniegto informāciju, kā arī *Windows* draudzīgo interfeisu, operators aktīvi iesaistās procesa vadības pilnveidošanā (bieži pat pats to neapzinoties);
- komunikāciju pilnveidošana.



20. att. **Notekūdeņu attīrīšanas iekārtu funkcionālā shēma**



21. att. **Notekūdeņu attīrīšanas tehnoloģijas funkcionālā shēma**

PLC un citi industriālo komponentu ražotāji aizvien vairāk resursu patērē, lai nodrošinātu iekārtu sasaistes iespējas, t.i., attīsta komunikāciju protokolus. Vienkārši būtu, ja varētu ieviest dažus vienotus standartus. Tajā pat laikā katrs ražotājs gribēs nodrošināt, lai ar viņa industriālajām iekārtām varētu saistīties pēc iespējas vairāk. Tādā veidā rodas tendence, ka dažādu firmu protokoli kļūst līdzīgi, pieejamāki un rezultātā nākotnē varētu būt tendence uz pielietojamo komunikāciju protokola skaita samazināšanos. Kā izplatītākie komunikāciju protokoli būtu minami - *Device Net, Profibus, Modbus un Ethernet.* Attīstās arī paņēmieni kā saistīt dažādu firmu produktus.

Tādā veidā industriālo komponenšu ražotāji ir spiesti domāt par lietotāju, jo pretējā gadījumā ierobežoto komunikāciju iespēju dēļ dotais industriālais izstrādājums varētu palikt nepieprasīts. Īpaši aktuālā automatizācijas attīstības problēma paliek optimālās, precīzas (saudzējošas) lauksaimniecības *(Precision Agriculture)* tehnoloģiju izstrādē un pielietošanā, jo dzīvnieku un augu līdzdalība, bioloģisko procesu nepārtraukta norise, informatīvo procesu plūsmas un datu resursu neviendabīgums un lauksaimniecisko procesu stohastiskais raksturs nosaka bionisko sistēmu un tehnoloģiju attīstības un izmantošanas īpatnības lauksaimniecībā attiecībā uz optimālām bionisko vadības sistēmu iespējām, kas nosaka automatizācijas problemātikas aktualitāti lauksaimniecības nozarē ne tikai visā pasaulē, bet arī Latvijā [98].

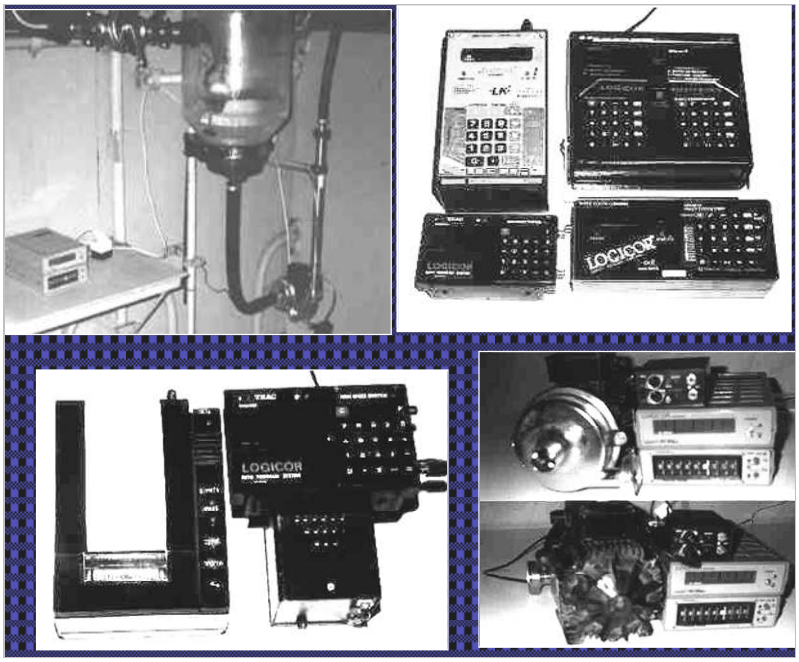
Īpaša uzmanība, izstrādājot automatizācijas sistēmas lauksaimniecībā, jāpievērš adaptīvo algoritmu izstrādei un optimizācijai, ievērojot lauksaimniecības tehnoloģiju īpatnības (augi un dzīvnieki). Veidojot vienotu mehānikas, elektronikas un informācijas tehnoloģiju sistēmu lauksaimniecības apstākļos jākonstatē šīs sistēmas principiāla atšķirība no, piemēram, mašīnbūvē pielietotajiem automatizācijas uzbūves principiem. Automatizētās sistēmas lauksaimniecībā pašreiz strauji attīstās [49-52, 80-82, 98] .

22. att. **Piena elektroniskais skaitītājs FULLWOOD govju slaukšanas procesa vadībai un barības devas sadales automatizācijai** *(avots: Fullwood, Vācija)*

Piemēram (22.-30. att.), slaukšanas procesa automātiskā kontrole, piena izslaukuma daudzuma noteikšana, barības devas automātiskā sadale atkarībā no dzīvnieku produktivitātes, slaukšanas robots, masas, veselības un fizioloģiskā stāvokļa, cūku un sivēntiņu lokāla apsilde atkarībā no dzīvās masas pieauguma un temperatūras izmaiņas telpā un ārā, slaucamo govju svaiga piena kvalitātes, govju tesmeņa un atsevišķo pupu veselības kontrole, optimālās apsēklošanas *("oestrus")* cikla un stadijas elektroniskā noteikšana lopkopībā, svaiga piena dzesēšanas un ūdens temperatūras kontrole, energotaupīgas piena dzesēšanas tehnoloģijas pienu fermās, piena skābuma un svaiguma, kā arī iepriekšēja normatīvo un higiēnisko parametru elektroniskā noteikšana fermas apstākļos utt.

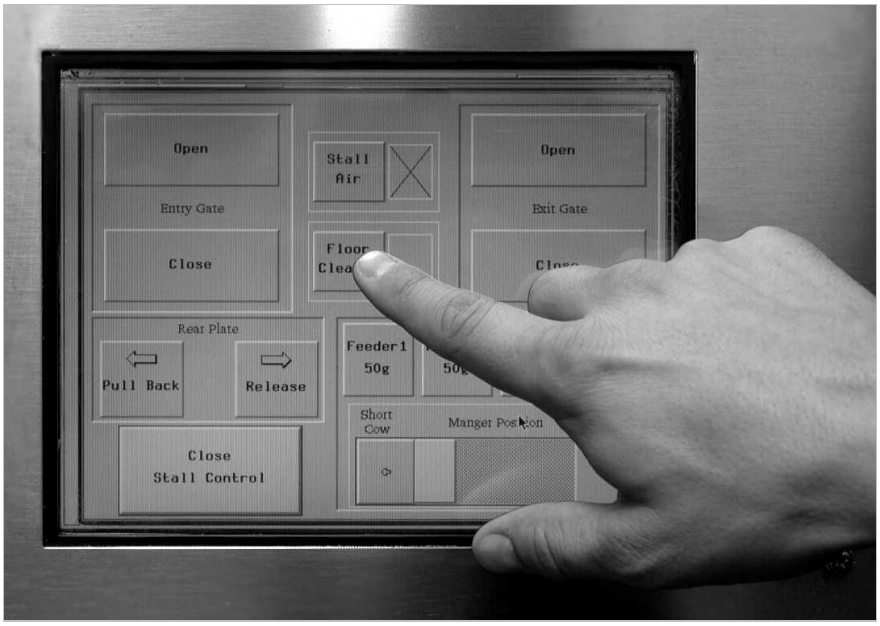
Automatizācijas attīstības problēmas lauksaimniecībā saistās arī ar atbilstības kontroles rezultātu analīzes un apstrādes problēmām, novērtējot lauksaimniecības produkcijas un izstrādājumu kvalitāti visos posmos - no lauka līdz patērētājam. Atzīstot automātisko ierīču aizvien pieaugošu intelektu, ir svarīgi optimizēt datortehnoloģijas atbilstoši automatizācijas un mehatronikas sistēmu ekspluatācijas apstākļiem lauksaimniecībā, jo bieži vien dzīvnieki "protestē" pret nekorekti izveidotu mehatronikas sistēmu un cenšas ar savu agresīvu uzvedību vienkārši ignorēt to.

Automatizētajā sistēmā informācijas lietotāja "intelekta" skaitļošanas funkcijas pārņem intelektuāla ierīce – mikroprocesors vai dators. Pie tam kontroles rezultātu interpretācijas un vizualizācijas formai jābūt maksimāli "draudzīgai" cilvēkam, tas ir, vienkāršotai un ergonomiskai (jā – nē, atbilst – neatbilst utt.).



23. att. **Piena fermu un pienotavu automatizācijas ierīces - automātiskie produkcijas skaitītāji un dozatori, automatizētie piena produktu sūkņi, slaukšanas iekārtu piena skaitītāji (***avots G.Moskvins, 2008***)**

24. att. **Lopkopības fermas govju barošanas punktu automatizācija**
(avots: LfL, Vācija)

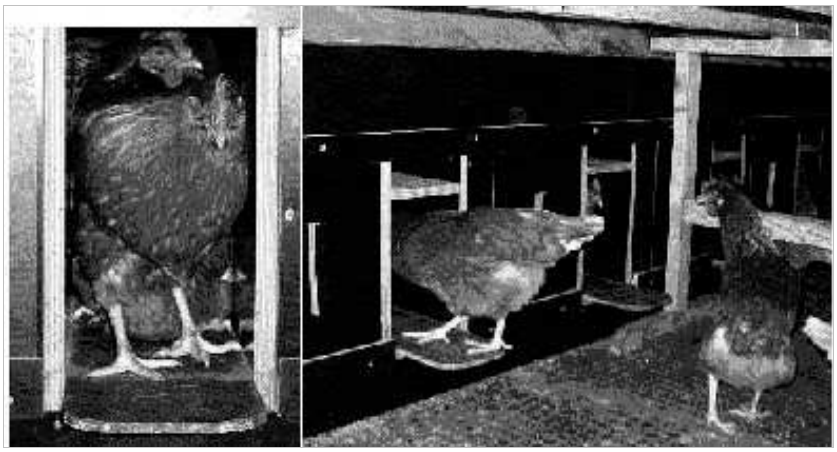


25. att. **Piena fermu automatizācija. Slaukšanas procesa un barības sadales automatizētā kontrole** *(avots: LfL, Vācija)***.**

Pamatojoties uz automatizācijas, mehatronikas un AVS teoriju principiem LLU izstrādātas kontroles, regulēšanas un vadības algoritmi, kuri balstās uz fraktāļu ģeometrijas tēlu izmantošanu lauksaimniecības produkcijas ražošanas un aprites stadijās. Tas ietver principiāli jaunu kontroles sistēmas uzbūves, vadības un atbilstības kontroles tehnoloģiju, kuras pamatā ir neatbilstības riska analīze.

26. att. **Govju fizioloģiskā stāvokļa, veselības, tesmeņu ceturkšņu piena atdeves ātruma un daudzuma kontrole govju slaukšanas procesā (***avots LfL, Vācija***).**

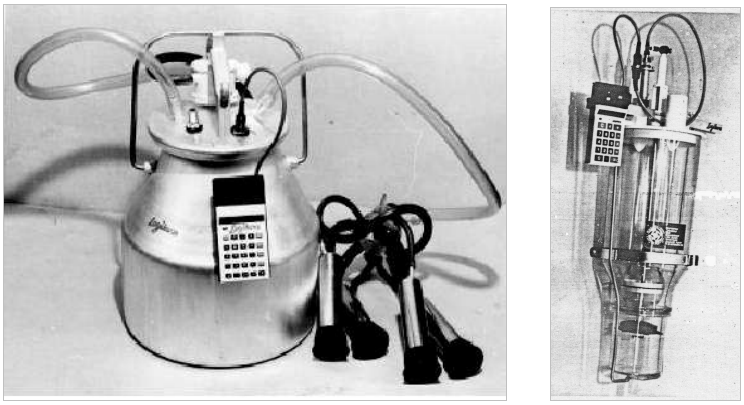
27. att. **Lopkopības fermu automatizācija. Slaukšanas robots darbā.**
(avots LfL, Vācija)



28. att. **Putnu fermu automatizācija, izmantojot individuālo identifikācijas transponderi**
(avots LfL, Vācija)

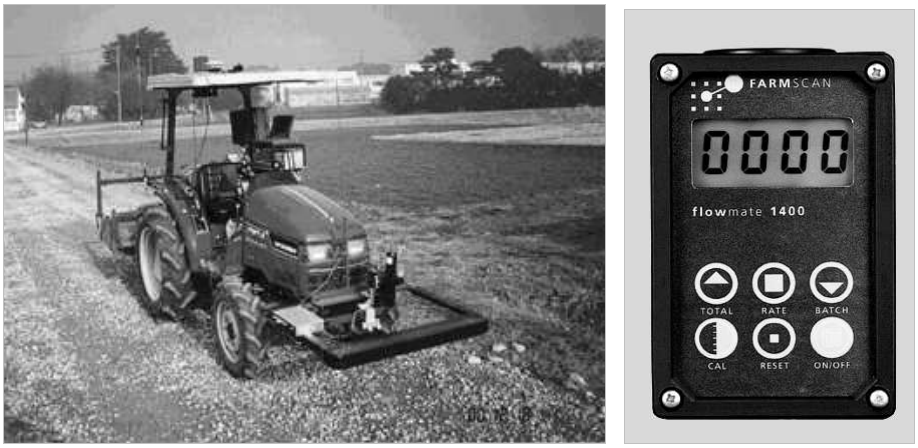
Šādas cilvēkam "draudzīgas" ergonomiskas informācijas iegūšanas, pārstrādes un interpretācijas tehnoloģijas galvenā īpatnība ir sensoru, mikroprocesoru vai datoru skaitļošanas intelekta piedalīšanās automatizētās sistēmas darbības un datu apstrādes procesā. Operatīvu paškontroli gan ražošanas tehnoloģiskajā procesā, gan l/s produkcijas preču apritē

nodrošina projektējamās automatizētās sistēmas elementu matemātiskā un fizikālā modelēšana, parametru identifikācija, kļūdu un noviržu noteikšana un novēršana.



a **b**

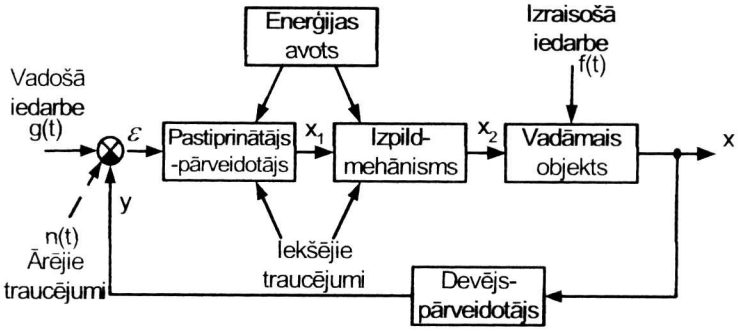
29. att. **Slaukšanas aparāts „Logicor" govju produktivitātes indeksa un barības devas automātiskai noteikšanai un inteliģents mikroprocesoru piena skaitītājs slaukšanas mašīnai** *(avots: G.Moskvins, New Zealand Patent 228984, USA Patent 501276, USA Patent 5161483)*



30. att. **Automatizācija un robotizācija precīzās lauksaimniecības tehnoloģijās** *(avots:LfL, Vācija)*

4.2. AVS funkcionālās shēmas jēdziens

Automātiskās vadības sistēmas (AVS) projektēšana sākas ar sistēmas struktūrshēmas sastādīšanu (31. att.). Sistēmas funkcionālajā shēmā ataino atsevišķus sistēmas elementus ar to izejas, izejas lielumiem un izraisošām iedarbēm, saites starp elementiem, signālu pārraides virzienu norāda ar bultām. Par sistēmas elementu sauc sistēmas daļu, kas realizē noteiktu funkciju, piemēram, pastiprināšanas, pārveidošanas.

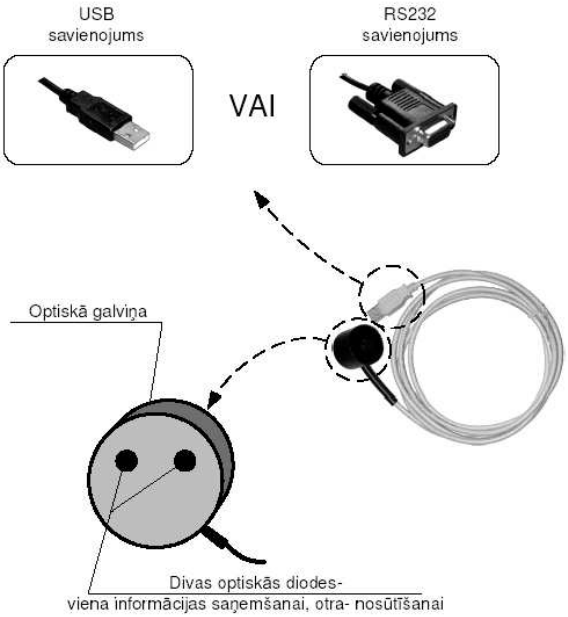


31. att. **AVS tipveida funkcionālā shēma**

Par funkcionālo shēmu sauc tādu automatizētās vadāmas sistēmas grafisko attēlu, kurā katram reālam elementam atbilst noteikts posms. Shēmu izmanto sistēmas darbības principu izpētītei un lai analizētu sistēmas struktūrelementu funkcijas.

4.3. Interfeisu tipi

Optiskais interfeiss - tas ir interfeiss, kuru lieto sakariem starp elektronisko elektroenerģijas skaitītāju un datoru, atbilstoši protokolam IEC1107. Vienā galā šis kabelis (interfeiss) ar spraudni ir savienojams ar datora RS232 tipa portu, bet otrā galā tam ir optiskā galviņa. Jaunākiem modeļiem RS232 porta vietā izmanto ērtāku un modernāku standartu - USB. Jaunākas paaudzes portatīvajiem klēpjdatoriem vispār komplektācijā nav paredzēts novecojušais RS232 jeb tā dēvētais "COM ports".



32. att. **Optiskais interfeiss**

Pasaulē novērojama pāreja no RS232 uz USB standartu, jo pēdējai USB 2.0 versijai datu caurlaides ātrums vairākkārtīgi pārsniedz RS232 interfeisa ātrdarbību. Svarīgs moments ir minams arī konstrukcijā - USB interfeisam ir tikai 4 kontakti, bet RS232 - 9 kontakti. Līdz ar to arī

korpusa izmēri USB gadījumā ir krietni mazāki un tas ir izturīgāks, kas ļoti svarīgi portatāvajiem klēpjdatoriem. 32. attēlā var redzēt kāds izskatās šis izmantotais kabelis.

4.4. Tehnoloģisko procesu vizualizācijas sistēmas

Tehnoloģisko procesu vizualizācijas sistēmas SCADA. Aizvien biežāk automatizācijas sistēmās tiek integrēti datori (PC) un to tīkli. Parasti PC uzdevums automatizācijas sistēmās ir procesu automatizētā kontrole, uzskaite un vizualizācija. Starptautiski šādas sistēmas pieņemts saukt par SCADA (angl.: *Supervisory Control and Data Acquisition).* Izplatītākais PLC un PC procesa uzdevumu sadales princips ir sekojošais: PLC kontrolē un regulē procesu, bet PC veic uzskaiti un pilda procesa paplašināta operatora paneļa funkcijas. Dažu firmu PLC (piemēram, *Allen — Bradley*) tiek veidoti ar PC līdzīgu ideoloģiju. Šādā gadījumā funkciju sadales princips var atšķirties. SCADA sistēmu programmu paketes piedāvā gandrīz visas izplatītākās PLC ražotāju firmas *(Siemens — WinCC, General Electric Fanuc—Cimplicity, u.c.*). Dažas firmas specializējas tikai SCADA programmās (piemēram, *Citect, Wonderware*). Jebkura SCADA mēģina rast iespēju nodrošināt komunikāciju ar dažāda veida apmaiņas protokolu palīdzību. Interfeisu starp SCADA programmu, citu izstrādātāju PLC un citu firmu iekārtām *(hardware)* var nodrošināt ar vairākām metodēm, no kurām kā perspektīvākā tiek uzskatīta OPC servera izmantošana. Galvenās SCADA funkcijas, ko nodrošina praktiski gandrīz visu firmu programmas: *Datu uzskaite.* SCADA jānodrošina nepārtraukta informācijas nolasīšana no PLC un citām iekārtām, tā jāanalizē saskaņā ar ieprogrammētajām formulām un loģiskajām sakarībām, kā arī jānodrošina to uzskatāma prezentācija grafiskā un tabulārā formā. Dati tiek uzkrāti, t.i., arhivēti, kā rezultātā procesa norisi var apskatīt par jebkuru sistēmas darbības laika periodu. *Interfeiss.* SCADA savāc visu informāciju par procesu un nodrošina tās uzskatāmu vizualizācija, lai operators varētu sekot līdzi procesa norisei. Šeit svarīgi ir izstrādāt - programmēt procesa vizualizācijas shēmu, kuras vizuālais variants cilvēka apziņā labi asociētos ar reālo procesu. Šai nolūkā veido iekārtu vizuālos attēlos, kur mainās iekārtu krāsas vai citas pazīmes atkarībā no to stāvokļa (iekārtas var būt ieslēgtas, izslēgtas, rokas režīmā, automātiskajā režīmā, operācijas veikšanas gatavības režīmā, avārijas vai brīdinājuma situācijā, u.c.). Procesa vizualizācijas shēmā bieži ir svarīgi redzēt gaidāmo procesa virzības ceļu. *Trauksmes un notikumu monitorings.* SCADA sistēmai jākonstatē, jāattēlo un jāsaglabā trauksmes un citi svarīgi procesu notikumi. Parasti šādās sistēmās paredzēta operatoru reģistrācijas iespēja, kā arī fiksēt laikus, kad trauksmes paziņojums parādījies, kad operators to konstatējis un kad novērsis. Trauksmes un citu paziņojumu ērta aplūkošana arhīvā dod papildus iespēju inženieriem un programmētājiem analizēt kļūmju cēloņus, kā rezultātā var uzlabot sistēmas darbības drošību. *Datu bāzes.* Kā svarīga SCADA iespēja ir datu bāzu uzkrāšana (SQL un citos formātos) un to eksportēšana citām uzņēmumu struktūrām. Piemēram, bieži ir nepieciešamība informāciju par noteiktu produkta patēriņu nodot finansu uzskaites departamentam.

4.5. Primāro mērīšanas pārveidotāju izvēle

Primārie mērīšanas pārveidotāji (PMP), vai jūtīgie elementi, devēji, sensori, kuri ir ievietoti ražošanas procesa vidē, fiksē vides stāvokli un tā izmaiņas dinamiku. Ražošanas vide var būt gan tvertne, kurā atrodas produkts vai starpprodukts (piemēram, mīklas maisījums, piens dažādās stadijās, alus ieraugs vai iejava, ķīmiska produkta masa u.c.), gan apkārtējā atmosfēra, vai arī pats produkts (piemēram, gaļas izstrādājumu ražošanā temperatūras sensori tiek arī ievietoti tieši pašā produktā). Izmantojamo sensoru klāsts var būt ļoti plašs, bet

ražošanā tomēr mēģina izmantot tikai praksē aprobētus sensorus, jo iespējamā sensora kļūda var dot nepareizu informāciju par procesa norisi. Rūpniecībā izplatītākie ir sensori šādu parametru mērīšanai: temperatūra, spiediens, pH, plūsma tilpuma un masas mērvienībās, līmenis, masa, apjoms, ražīgums, mitrums [78].

Protams, var būt sensori un iekārtas arī citu lielumu mērīšanai, jebkurā gadījumā to izvēli un piemērotību nosaka konkrētā pielietojuma prasības. Tā, piemēram, pārtikas rūpniecībā sensora ārējam apvalkam ir jābūt no nerūsējošā tērauda vai cita inerta materiāla. Prasības samazinās (bet ne vienmēr), ja sensors ir jāievieto vidē, kurai nav tieša saskare ar ražošanas produktu (piemēram, termostatējamais ūdens tehnoloģiskās tvertnes apvalkā). Izvēloties sensoru, bez augstāk minētā svarīgi ir ņemt vērā tā precizitāti (izšķiršanas spēju), inerces īpašības, stabilitāti un noturību konkrētajos ražošanas apstākļos.

Piemēram, bieži vien temperatūras regulācijas problēmas nerodas izšķiršanas spējas dēļ, bet gan inerces īpašību dēļ. Tas izpaužas tādā veidā, ka sensors reaģē ar aizturi uz vides temperatūras maiņām. Tādā gadījumā, jāizvēlas mazākas masas temperatūras sensors, kura konstrukcijā ir optimizēti arī citi parametri, no kuriem ir atkarīga inerce. Līdzīgā veidā jāanalizē citu sensora fizikālās īpašības konkrēta pielietojuma kontekstā. Tikai tādā veidā var noskaidrot tā piemērotību un vajadzības gadījumā veikt papildus pasākumus mērījuma korektuma uzlabošanai.

4.6. Komunikāciju protokoli

TP automatizētai vadīšanai ir izstrādāti daudzi komunikāciju protokoli, kas nodrošina saiti starp sensoriem, PLC, PC, izpildmehānismiem, internetu u.c. Kā plašāk pazīstamie un pielietotie komunikāciju protokoli būtu jāpiemin – *Profibus, DeviceNet, Ethernet, Modbus, AS-I, Lionwork, CAN, HART*.

1. tabula

Komunikāciju protokoli

Tīkls	Tīkla līmenis	Savienojuma veidi	Pārraides ātrums	Pieslē-gumu skaits	Maks. attālums
ARCNet	Uzņēmums	Vītais pāris, Koaksiālais kabelis, Optiskā šķiedra	Up to 10M	255	10,000 m
ASI	Iekārta	Plakanais kabelis vai Vītais pāris	167K	31	100 m
CANopen	Iekārta	Vītais pāris	Up to 1 M	127	1000 m
ControlNET	Vadība	Koaksiālais kabelis, Optiskā šķiedra	5M	99	30,000 m
DeviceNet	Iekārta	Vītais pāris	Up to 500K	64	500 m
EtherNet	Uzņēmums	10BaseT, 100BaseT, 100Base Optiskā šķiedra	10M, 100M	1024	4000 m
Foundation Fieldbus	Vadība	Vītais pāris	31.25K - 100M	240	1900 m
Interbus	Iekārta	Vītais pāris, Optiskā šķiedra	500K	256	400 m
LonWorks	Iekārta	Vītais pāris, Optiskā šķiedra, sprieguma līnija	1.25M	32000	2000 m
Modbus	RS-485	Vītais pāris	38.4K	250	500 m
Profibus — DP/PA	Iekārta/ Vadība	Vītais pāris, Optiskā šķiedra	12M	127	24,000 m

Daudzos gadījumos nebūt ne viennozīmīgi ir skaidrs uz kāda protokola (vai protokolu kombinācijas) realizēt noteiktu automatizācijas projektu [111-113]. Optimālo protokola izvēli nosaka konkrētā procesa kontroles uzdevuma iekārtu izvietojuma topoloģija, kopējais iekārtu skaits, ātrdarbība, kā arī pielietojuma joma. Dažiem protokoliem atšķiras to pielietojamības popularitāte Eiropā un ASV. Tā, piemēram, *AS-I, Profibus un CAN* ir izteikti populārāki Eiropā, bet, savukārt, *DeviceNet* ASV tiek pielietots relatīvi daudz plašāk nekā Eiropā.

4.7. PLC protokola izvēles piemērs

Piemēram, automatizācijas projekts attiecas uz miltu transportu, uzglabāšanu, homogenizāciju un citām operācijām beztaras noliktavā. Objekta elementi telpiski ir izvietoti samērā vienmērīgi. Šajā sistēmā digitālo ieeju/izeju skaits ir ap 1500. Projekta realizācija tika izvēlēta uz *Siemens Simatic S7-400* (ar procesoru CPU 414) bāzes. No komunikāciju tabulas tiek izvelēti *AS-I, Profibus un Ethernet* datu apmaiņas protokoli [112].
Analizējam trīs procesa kontroles struktūras variantus:

1. Izpildmehānismu vadības signālu, sensoru un gala slēdžu tiešā pieslēgšana pie centralizētajām kontroliera ieejām/izejām.
2. Attālināto ieejas/izejas staciju izmantošana, kuras saistās ar centrālo PLC ar *PROFIBUS* sakaru līnijas starpniecību.
3. AS interfeisa līnijas izmantošana, lai varētu izmantot attālinātos ieejas/izejas moduļus elektromagnētisko ventiļu darbināšanai un sensoru informācijas ievadīšanai. AS interfeisa moduļi izmantojot *PROFIBUS* līniju saistās ar centrālo PLC.

Visi trīs varianti tiek analizēti konkrētā uzdevuma kontekstā, ņemot vērā tehnisko risinājumu un kompleksās izmaksas. *Pirmais variants* ir nepiemērots tāpēc, ka sakarā ar lielo ieeju/izeju skaitu, objekta un kontrollera saitei būs ietilpīgas montāžas vadu līnijas. Tas apgrūtinās un sadārdzinās montāžas realizāciju, sistēmas diagnosticēšanu un remontu, samazinās ugunsgrēka drošību sakarā ar lielu kabeļu skaitu. *Otrais variants* pamatojas uz attālinātajām ieejas/izejas stacijām *(distributed I/O devices),* kuras ar *PROFIBUS* līniju saistās ar centrālo kontrolieri. Šā varianta izmantošana ir izdevīga tad, ja objekts ir sadalīts grupās. Šīs grupas pie tam ir relatīvi blīvas un attālums starp tām ir samērā liels. Dotajā gadījumā attālumi ir samērā nelieli un objekta elementi ir vienmērīgi izkliedēti telpā. Līdz ar to šim variantam ārējas montāžas izmaksas ziņā būs samērā nelielas priekšrocības salīdzinot ar pirmo variantu. Bez tam arī uzdevuma konfigurācijā šis variants ir visdārgākais. No visiem aspektiem raugoties, visizdevīgākais dotajā gadījumā ir *trešais variants.* Šis variants dod iespēju būtiski samazināt montāžas vadu ietilpību, nodrošina ērtu sistēmas paplašināšanu, labu pārskatāmību diagnosticēšanai un remontam. Bez tam šis variants ir arī samērā ekonomisks, tā izmaksas ir apmēram par 20% zemākas nekā otrajam variantam, un apmēram tādas pašas kā pirmajam variantam. Protams, var pielietot arī citus komunikāciju protokolus. Līdz ar to šajā variantā centrālais kontrolleris saistās ar sistēmas elementiem četros veidos:

1. Centrālā kontrollera ieejas/izejas tieši tiek saistītas ar MCC motoru vadības komutācijas signālu nodrošināšanai, to ieslēgšanai/izslēgšanai un pārslodzes kontrolei. Centrālā kontrollera un MCC tiešā saite ir pamatota ar ekspluatācijas drošības prasību nodrošināšanu.
2. Frekvenču pārveidotāji tiek vadīti, izmantojot *PROFIBUS* sakaru līniju. Dotā *PROFIBUS* līnija tiek arī izmantota saitei ar DP/AS interfeisa pārveidotājiem.
3. Visi elektromagnētiskie vārsti, līmeņu sensori, spiediena sensori, konveijeru kustības sensori un ventiļu gala slēdži tiek pievienoti ieejas/izejas moduļiem, kuri caur AS interfeisu nodrošina informācijas apmaiņu ar centrālo kontrolleri. Dotie ieejas/izejas

moduļi tiek pievienoti attiecīgās ražošanas līnijas AS interfeisam. Šāda interfeisa saišu nodrošināšanai dotā uzdevuma konfigurācijā ir nepieciešami 6 DP/AS interfeisa pārveidotāji, kuri saistīti ar centrālo procesoru caur *PROFIBUS* sakaru līniju. Dotajam uzdevumam nepieciešams pielietot 6 šādus pārveidotājus tāpēc, ka vienam DP/AS interfeisa pārveidotājam var pieslēgt līdz 31 ieejas/izejas moduļiem. Kopējais DP/AS interfeisa pārveidotāju skaits ir 7, jo viena AS interfeisa līnija ir paredzēta rezervē. Vienam šādam modulim ir 4 digitālās ieejas un izejas. Analogo lielumu moduļiem ir divas izejas vai ieejas. DP/AS — interfeisa pārveidotāju skaitu bija iespējams sasaistīt ar ražošanas līnijām.

4. Saite ar datoru tiek nodrošināta ar *Ethernet* līnijas palīdzību. Ja ir nepieciešams nodrošināt kāda parametra uzskaitei lielāku ātrdarbību, tad jāparedz iespēja, ka dotais sensors jāpievieno tieši centralizētajām ieejām.

5. DEGVIELAS UZSKAITES AUTOMATIZĀCIJA AUTOTRANSPORTA UZŅĒMUMOS

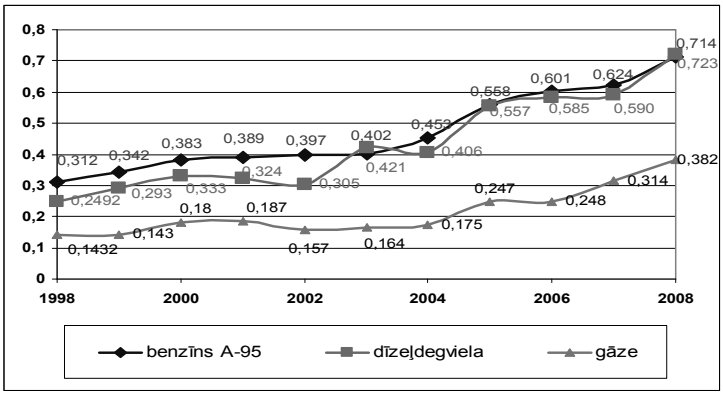
5.1. Problēmas analīze

Labas kvalitātes degviela ir svarīgākais faktors, kas nosaka ilgstošu un nevainojamu automobiļa dzinēja darbību. Katrs transportlīdzekļa īpašnieks, īpaši uzņēmumi, kuros ir autoparks, cenšas stingri kontrolēt degvielas patēriņu [114]. Degvielas uzpildes stacijās iepildot degvielu, uzskaiti veic automatizēti degvielas uzskaites skaitītāji. Pēdējos gados ļoti strauju pieaug energoresursu izmaksas (33. att.), tai skaitā, arī degvielas, tāpēc ir aktuāls degvielas precīzās uzskaites jautājums. Mērīšanas instrumenta precizitāte ir atkarīga no fiziskām, matemātiskām un metroloģiskām kļūdām. Tā kā degvielas uzskaites skaitītāju konstrukcijas un to ekspluatācija ne vienmēr atbilst mūsdienu normatīviem un standartiem, jāmeklē jaunas iespējas lai paaugstinātu mērīšanas precizitāti ar minimāliem izdevumiem un ar maksimālo efektivitāti. Vislielākās cerības energotaupīgo tehnoloģiju ieviešanā saistīti ar plašāku automatizācijas iespēju izmantošanu.

Aptuveni 2/3 no visa gada laikā iegūtā naftas daudzuma tiek izmantotas degvielas ražošanai. Degvielas lietderīgās izmantošanas koeficients ir 23%, kas nozīmē, ka 77% tiek sadedzināti veltīgi. Veicot pilnveidojumu cenšas ieviest degvielas ekonomijas, izstrādāt dažādus piejaukumus degvielai, kombinēt jaunus degvielas veidus. Ņemot vērā neiepriecinošās prognozes, ka naftas rezerves atlikušas kādiem 30 - 50 gadiem, nav jābrīnās, ka uz augošo mašīnu daudzumu aug arī degvielu patēriņa daudzums [115].

Ņemot vērā kopējā pasaules automobiļu parka ikgadējo pieaugumu, no kuriem 83,85% veido vieglie automobiļi, bet 15...17% - kravas automobiļi un autobusi, saprotams, ka tuvāko gadu laikā degvielas cena turpinās pieaugt. Degvielas patēriņš veido lielāko daļu no kopējiem autoīpašnieka izdevumiem. Tie var būt kā piespiedu, tā arī izdomātie. Pēc būtības, pielietojot speciālās degvielas uzskaites sistēmas, var novērst kā vienu, tā otru. Piespiedu izmantojamais degvielas daudzums ir saprotama un dabiskā lieta, jo tas ir lielāks, jo sliktākā stāvoklī ir automašīna. Tāpēc šajā gadījumā zelta ekonomijas likums – braukt tikai ar tehniskā kārtībā esošu automobili, tad degviela netiks izmantota lieki. Taču palielināt patērētās degvielas daudzumu var arī braukšana ar atvērtiem logiem, bet ar to neko izdarīt nevar. Izdomāts

izlietotās degvielas daudzums, tā ir vadītāju krāpnieciskā darbība ar izmantoto degvielu, piemēram, čeku aizvietošana, degvielas daļas pārdošana, spidometra rādījumu sagrozīšana, tas bieži notiek uzņēmumos, kur darbiniekam ir piešķirta darba automašīna. Lai cīnītos ar šādiem gadījumiem izmanto dažādas degvielas uzskaites metodes [78].



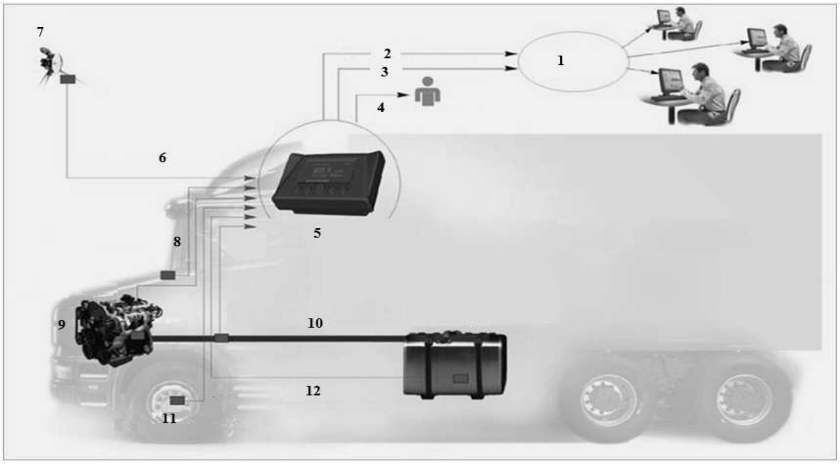
33. att. **Benzīna E-95, dīzeļdegvielas un gāzes cenas no 1998. līdz 2007. gadam un 2008. gada pirmajos trīs mēnešos**

Degvielas uzskaiti var veikt dažādi:

1) sekot līdzi degvielas uzpildēm no degvielas uzpildes stacijām vai uzņēmuma degvielas noliktavām. Aprēķina degvielas izmantošanu pēc aprakstītās degvielas normas, nobrauktajiem kilometriem, tonkilometriem, motostundām, nostrādātajām stundām, darbu veida, ziemas-vasaras sezonām, braukšanas pilsētā vai ārpus pilsētas, braukšanas ar piekabi vai vairākām piekabēm un citos veidos.
2) sekot degvielas uzpildēm pēc degvielas kartītes. Degvielas kartes uzskata par visvieglāko uzskaites veidu. Uzskaites veida būtība ir degvielas limita definēšana degvielas kartē – nosaka uzpildes stacijā maksimāli pieļaujamo iegādājamās degvielas daudzumu. Par degvielas pilnu apjomu tiek veikta priekšapmaksa pilnā apmērā ar atlaidēm, tāpēc degvielas cenu kāpums kartes īpašnieku neietekmē. Vēl viena degvielas kartes priekšrocība ir plašas informācijas glabāšana par katru no degvielas iegādēm: kas, kur, kādā automobilī, ar kādu degvielu un kādā daudzumā. Šī informācija ir precīza līdz litra daļām un sekundēm, kurās process sākās un beidzās? Tas viss tiks atspoguļots uz saņemtā čeka. Galvenā priekšrocība – pat ja čeks tiek pazaudēts, informāciju no kartes viegli atjaunot. Tādā veidā, ja ir zināms braukšanas maršruts? Var viegli sekot, kad un kādā daudzumā pildīta degviela. Balstoties uz šo informāciju var izdarīt secinājumu par katra vadītāja godīgumu. Var noteikt pat dienas limitu, tas nodrošinās papildus drošību, ka degviela tiks izmantota tikai piespiedu vajadzībām. Degvielas karte ir bezskaidrās naudas līdzeklis, kas padara cenu svārstības dažāds degvielas uzpildes stacijās nenozīmīgas. Uzpildes staciju skaits, kur tiek pieņemta degvielas karte, arvien pieaug, kas nozīmē, ka kontrole tiek vienkāršota [110].
3) veikt uzņēmuma degvielas noliktavu degvielas uzskaiti (saņemšana, izdošana);
4) veikt degvielas izlietošanas analīzi (vērot automašīnu degvielas pārtēriņu vai ekonomiju);
5) veikt uzskaiti pēc mašīnas degvielas kontroles sistēmas. Lieli transporta uzņēmumi bieži izmanto speciālās degvielas izlietošanas kontroles sistēmas (DIKS), kas sevī apvieno degvielas kontroli un transportlīdzekļa monitoringu. Atšķirībā no citām sistēmām DIKS ņem vērā ne tikai degvielas daudzuma devēja rādījumus, bet arī maģistrālā patēriņa devēja,

ātruma devēja, dzinēja apgriezienu devēja un GPS devēja datus. Sistēmu ierīko uz vilcējiem, furgoniem, traktoriem, krāvējiem. Tiek nodrošināts monitorings ar iebūvētā GPS raidītāja starpniecību. DIKS monitoringa apstrāde notiek ar pēcapstrādi, kas ļauj atteikties no abonēšanas maksās pretstatā reāla laika monitoringa sistēmām (34. att.).

Datu nodošana notiek, veicot savienojumu vai pa *Bluetooth* bezvadu kanālu, kā manuāli, tā arī automātiskā režīmā. Analītiskās datu apstrādes programmas sagatavo dažādas teksta un grafiskās atskaites par izmantoto degvielas daudzumu, kustības maršrutu un mašīnas ekspluatācijas parametriem. Apstrādes algoritmi ļauj noteikt degvielas nolaišanas gadījumus, spidometra rādījumu sagrozīšanu. Precīza laika, daudzuma un uzpildes laika kontrole neļauj veikt nelikumīgas darbības ar degvielas iegādes čekiem. Kopumā sistēma veido tā saucamo ceļa norīkojumu lapu, nosakot degvielas normas un braukšanas laiku.

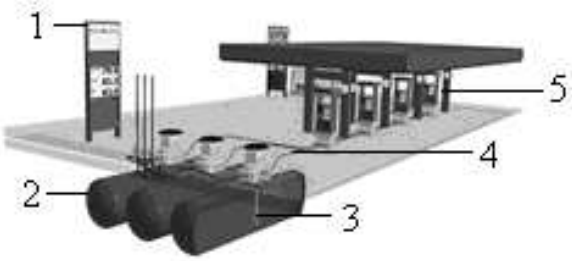


34. att. **GPS degvielas izlietošanas kontroles sistēma:**
1 – analītiskās programmas; 2 – bluetooth; 3 – USB kabelis; 4 – vizuālā kontrole; 5 – reģistrācijas termināls; 6 – atrašanas vietas koordinātes; 7 – GPS; 8 – spriegums tīklā; 9 – dzinēja apgriezieni; 10 – degvielas patēriņš pēc skaitītāja devēja; 11 – braukšanas ātruma devējs; 12– degvielas daudzums tvertnē

5.2. Degvielas uzpildes stacijas un to aprīkojums

Parasti patērētāji uzpilda degvielu degvielas uzpildes stacijās (DUS – 35. att.), kur degvielas piegādi nodrošina degvielas tirdzniecības kompānijas. Pēc būtības tās veido virspusēju organizāciju, kura nodrošina degvielas piegādes pasūtījumu izpildi no pirmās līdz pēdējai minūtei. Degvielas piegāde parasti notiek ne ilgāk kā divu diennakšu laikā no pasūtījuma saņemšanas brīža.

Degvielas kompānijām ir savs autoparks, kas nodrošina bīstamo kravu kā benzīna, tā arī dīzeļdegvielas piegādi gandrīz jebkuros apstākļos. Mašīnas ir aprīkotas ar sakariem caur mākslīgo pavadoni un tiek kontrolētas no menedžeru puses. Kopumā degvielas vedēji atgādina pārvietojamo dispečeru centru. Bez tam uz tiem ir uzstādītas degvielas patēriņa uzskaites iekārtas. Šodien pircējs var izvēlēties dažādus degvielas veidus, kuru piegādi veic degvielas kompānijas. To var pārliet citā cisternā vai tieši uz iekārtu, kur degviela ir vajadzīga. Mūsdienīgs degvielvedēja aprīkojums ļauj izliet degvielu pat visnepieejamākajās vietās, pateicoties dažāda garuma (no 15 līdz 50 metriem) un formas šļūtenēm. Degvielvedēji strādā visu diennakti un bez brīvdienām, kas nodrošina nepieciešamo piegādes veidu.

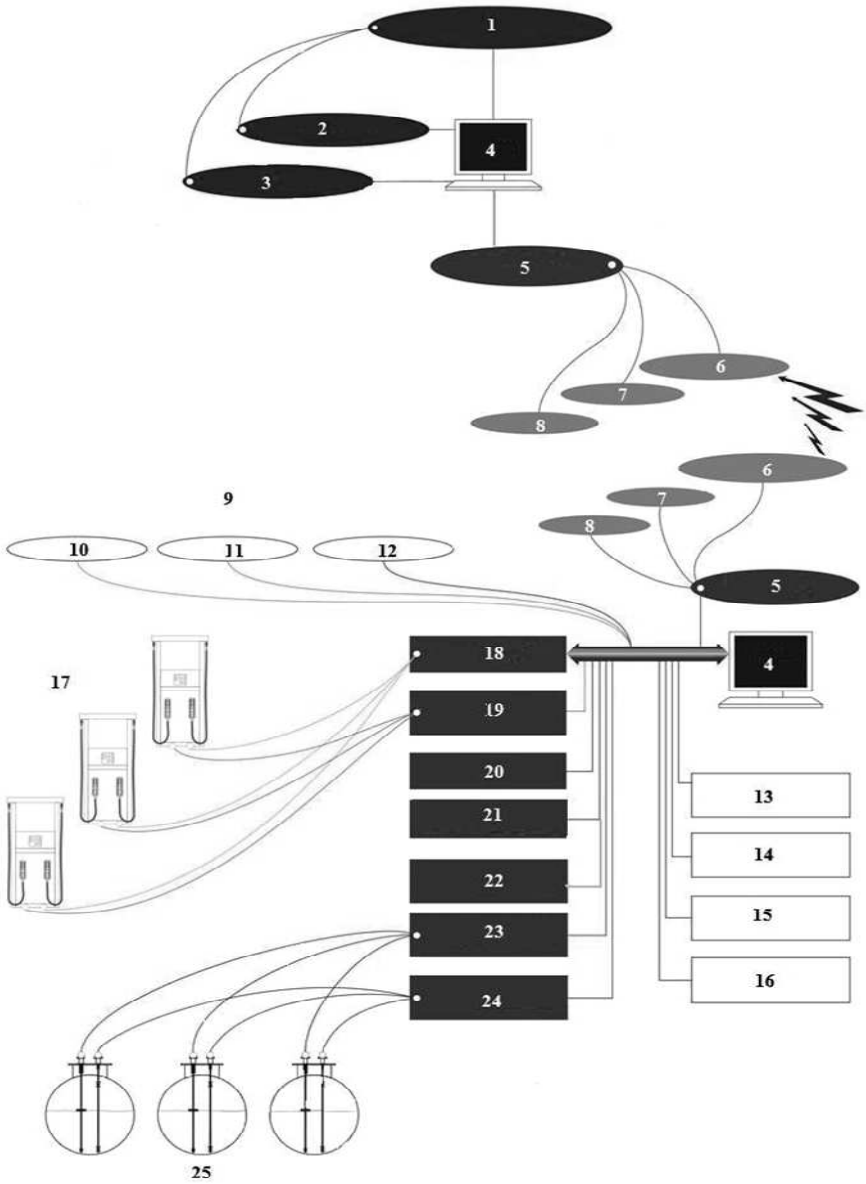


35. att. **Degvielas uzpildes stacijas kopskats:**
1 – DUS informācijas stends; 2 – degvielas tvertne; 3 – degvielas tvertnes līmeņa mērītājs;
4 – degvielas šļūtenes ; 5 – DUS aparāts

Mūsdienu degvielvedējiem ir sekcijās (kā minimums divās) sadalītas tvertnes, tāpēc viens vedējs var piegādāt dažādus degvielu veidus un apjomus, kas ļauj samazināt piegādes izmaksas, jo nebūs jāpasūta vairākas mašīnas. Degvielvedēju tvertnes apjoms svārstās no 1000 līdz 50000 litriem. Uz katru piegādātu degvielas partiju slēdz atsevišķu līgumu, noformē kvalitātes pasi un sertifikātus, bet degvielas skaitītāji, iebūvēti tvertnēs, veic uzskaiti.

Jebkuras darbības ar naftas produktiem, tādas kā transportēšana, glabāšana, iepildīšana, izliešana vai uzpilde ar šķidro degvielu, saistās ar produkta zudumiem. Pēc vairāku pētījumu un testu veikšanas bija noskaidrots, ka benzīna iztvaikošana, pie tā transportēšanas un nepareizi veiktas transportēšanas, var sasniegt vienu simtdaļu no kilograma, bet veicot iepildīšanas darbības – 0,71 kg uz 1m^3 no cisternas tilpuma. Lielāka iztvaikošana ir karstā laikā. Speciālisti, kuriem ir liela pieredze darbā ar naftas produktiem, apgalvo, ka visizdevīgākais ieliešanas veids ir apakšējais.

Degvielas produktu tirdzniecība ir viens no visienesīgākajiem biznesa veidiem pasaulē. Par svarīgu faktoru labās degvielas produktu tirdzniecības kompānijās uzskata plaša tīkla esamību lielākajās pasaules pilsētās. Tādu kompāniju speciālistiem jāseko visiem objektīviem tirgu ietekmējošiem faktoriem – pieprasījumam, piedāvājumam un degvielas krājumiem. Kompānijai ne tikai jāseko informācijas plūsmām, bet arī laikā jānodod informācija klientiem [116]. Informācijas iegūšana un apstrāde notiek savā starpā mijiedarbojoties dažāda veida DUS tehnoloģiskām iekārtām (36. att.).



36. att. **DUS tehnoloģiskā aprīkojuma mijiedarbības shēma:**
1 – vadītājs; 2 – finanšu nodaļa; 3 – grāmatvedība; 4 – dators; 5 – datu pārraides kanāls; 6 – GPRS; 7 – tālruņa līnija; 8 – datu nesējs; 9 – informācijas līdzekļi; 10 – pulkstenis; 11 – uzpildes indikators; 12 – cenas indikators;13 – noslodzes komutators; 14 – programmnodrošinājums; 15 – preču koda nolasītājs; 16 – preču koda printeris;17 – degvielas uzpildes stacijas aparāti; 18 – koncentrators; 19 – degvielas uzpildes stacijas aparātu vadības bloks; 20 – kases aparāts; 21 – ārējās maksāšanas termināls; 22 – karšu nolasītājs; 23 – degvielas līmeņa mērīšanas sistēma; 24 – degvielas robežlīmeņu kontroles sistēma; 25 – degvielas tvertnes

5.3. Degvielas uzpildes aparātu raksturojums

Agrāk degvielas stacijas un pat tagad nelielās DUS lauku reģionos ir aprīkotas ar DUS degvielas uzpildes iekārtas Hapa 27M1C (37.-a. att.) tipiem, kuru bāzes komplektācijā ir aprīkota ar bultveida atskaites skaitītāju.

a **b**

37. att. **Hapa 27M1C degvielas uzpildes iekārta (a) un Global Star LHR degvielas uzpildes iekārta (b)**

Šajā aparātā izmantotā hidraulika, kura pārbaudīta daudzu gadu laikā un ir pelnījusi pozitīvas atsauksmes. Ideāli der reģionos ar traucējumiem elektroapgādē. Degvielas uzpildes aparāts *Hapa 27M1C* (2. tabula) ir domāts degvielas daudzuma ar viskozitāti no 0,55 līdz 40 cSt uzpildīšanai degvielas tvertnēs. Pieļaujamā izdotās degvielas temperatūra ir no -40 °C līdz +35 °C. Vairākas degvielas uzpildes stacijas (*STATOIL*, *NESTE*, *DINAZ*, *ASTARTE* u.c.) izmanto *Global Star LHR* degvielas uzpildes iekārtas (37. att. b). 3. tabulā ir apkopota informācija par pieejamiem modeļu variantiem un 4. tabulā dati par šļūtenes veidiem.

38. att. **Degvielas komerciālās uzskaites skaitītāji**

2. tabula

Iekārtas Hapa 27M1C tehniskie dati

Nominālais patēriņš, l/min	50
Minimāls izdošanas daudzums, l	2
Dozēšanas impulss	1
Precizitātes klase	0,25
Aparāta precizitātes pamatkļūda, %	±0,25
Aparāta varbūtības kļūda, %	±0,5
Maksimālais spiediens, mPa	0,3
Šļūtenes diametrs, mm	40
Šļūtenes garums, m	4
Gabarītizmēri, mm	660x445x1330
Svars, kg	135
Sūkņa motora sinhronā frekvence, apg/min.	1500
Sūkņa motora jauda, kW	0,55
Sūkņa motora spriegums, V	380
Skaitītāja dalījuma vērtība, l	1

Iekārtas tehniskie dati:

- režīms - Naudas/Apjoma iepriekšēja ievadīšana;
- summējošs elektromehāniskais skaitītājs;
- augstsprieguma barošanas pieslēguma kārba;
- sakaru pieslēguma kārba;
- degvielas attīrīšanas filtrs;
- darbības vadība pēc IFSF sakaru protokola;
- barošanas slēdzis;
- drošības vārsti;
- degvielas markas izvēles poga;
- dīzeļdegvielas padeves ražības izvēles poga;
- iebūvētais karšu termināls;
- degvielas plūsmas indikators;
- cenas displejs;
- avārijas apturēšanas poga STOP;
- elektroniskā bloka automātiskais apgaismojums.

3. tabula

Global Star LHR degvielas uzpildes aprāta modeļu varianti

Modelis	Vien-laicīgo lietotāju skaits	Pro-duktu skaits	Degvielas padeves pistoļu skaits	Litri / minūtē	Ga-rums, mm	Pla-tums, mm	Augs-tums, mm	Svars, kg
C11-11 BA	2	1	2	40/40	1100	520	1630	310
C22-22 BA	2	2	4	40/40	1250	520	1630	390
C33-33 BA	2	3	6	40/40	1390	520	1630	470
C44-44 BA	2	4	8	40/40	1770	520	1630	550

Elektriskie pievienojumi var būt 230/400 V maiņstrāvas ar 3 fāzēm vai 230 V maiņstrāvas ar 1 fāzi. Frekvence ir 50 Hz ±2 %. Darbības temperatūras standarta režīms ir no -30 °C līdz +60°C – standarts, bet uzpildījums pie zemām temperatūrām - no -40 °C līdz +60 °C.

4. tabula

Global Star LHR degvielas uzpildes aprāta šļūtenes veidi

Šļūtenes diametrs, mm	Darbības rādiuss
SL16 priekš 40 l/min.	4.5 m
SL21 priekš 70 l/min.	
SL25 priekš 90/130 l/min.	
Koaksiāla šļūtene SL21 COAX	

Šobrīd lielākās DUS pieprasītākie ir *Self Service* sērijas dīzeļdegvielas uzpildes automāti. Tie nodrošina automātisko uzpildi. Iekārtu raksturo spēcīga konstrukcija, liels ātrums un precizitāte degvielas izsniegšanā, augsts informācijas vadības un apstrādes līmenis. Informāciju par lietotājiem iespējams iegūt pieslēdzot iekārtu datoram vai izdrukājot tieši no iekārtas ar čeku printeri.

Aparātos ir iebūvētais līmeņa mērītājs, kurš ļauj vieglāk sekot atlikumiem rezervuārā, bet ūdeni absorbējošais filtrs nodrošina tikai ļoti kvalitatīvas degvielas uzpildi. Tam ir viegli veikt tehnisko apkopi [117].

Programmu nodrošinājums datoram tiek realizēts caur bezkabeļa pieslēgumu līdz 800 m un dod iespēju analizēt informāciju pēc dažādiem parametriem (laika periods, lietotājs, automašīna).

39. att. ***Self Service* sērijas degvielas uzpildes iekārta**

5. tabula

Self Service tehniskie dati [43]

Nominālais patēriņš, l/min	70 un 90 l/min
Aparāta precizitātes pamatkļūda, %	0,5
Šļūtenes garums, m	4
Printeris izsniedz čeku ar informāciju par uzpildi, datumu un laiku	ir
Datu vadība	ir
Sūkņa motora jauda, kW	70 un 90
Sūkņa motora spriegums, V	220
Atmiņas apjoms - pēdējās 255 uzpildes	
Automātiska sūkņa izslēgšanās pie zema degvielas līmeņa rezervuārā	
Automātiskā pistole ar drošības vārstu	
Programmu nodrošinājums informācijas apstrādei	

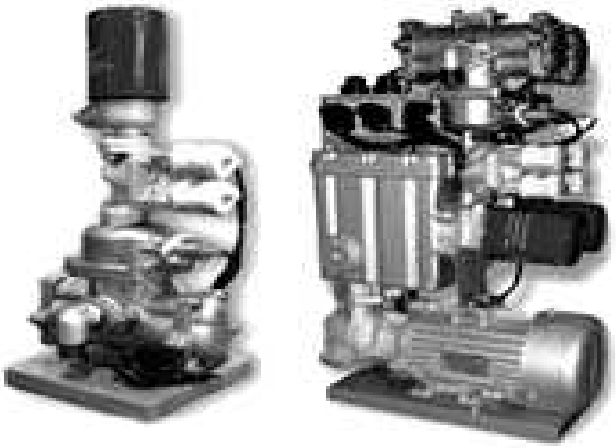
5.4. Degvielas sūkņi

40. att. **Degvielas sūkņa izvietojums degvielas uzpildes aparātā**

Degviela no degvielas tvertnēm līdz degvielas uzpildes aparātam tiek padota ar degvielas sūkņiem, kuri ir iebūvēti katrā uzpildes aprātā (40. att.).

Visbiežāk lietoto sūkņu veidi:

- ar hidraulisko spiedienu, piemēram, ANP-10, kas var darboties attālumā no tvertnes līdz uzpildes stacijai līdz 150m (41.att. - a);
- ar ieplūdes hidrauliku, piemēram, BSHM-50, kas var darboties attālumā no tvertnes līdz uzpildes stacijai līdz 30m (41.att.- b).



a **b**

41. att. **Degvielas sūkņu veidi:**
a – ar hidraulisko spiedienu; b – ar ieplūdes hidrauliku

5.5. Skaitītāji un to vispārīgs raksturojums

Degvielas skaitītāji mēra degvielu pēc tilpuma, līmeņa, masas un patēriņa. Degvielas skaitītājus pēc darbības principa var iedalīt pēc tilpuma, ātruma, pastāvīgā un mainīgā spiediena kritumiem. Pie ātruma skaitītājiem var pieskaitīt indukcijas, ultraskaņas un radioaktīvas tipa skaitītājus [118]. Tilpuma skaitītāju darbības princips balstās uz periodisku vai nepārtrauktu degvielas devu uzskaiti, izmantojot mērkameras ar noteikto tilpumu. Izmērītais patēriņš, kurš ir noteikts ar skaitītāju, ir vienāds ar dažādu devu kopsummu attiecināms uz noteiktu mērījumu laiku.

42. att. **Informācija uz DUS aparātiem par mērīšanas precizitāti**

Skaitītājiem ar pastāvīgo un mainīgo spiediena kritumu mērāmā degviela plūst tieši caur skaitītāju, pie kam caurplūdes laukums mainās atkarībā no patēriņa. Spiediena kritums degvielai plūstot caur skaitītāju paliek nemainīgs. Ātruma skaitītāju darbības pamatā ir patēriņa noteikšana atkarībā no plūsmas ātruma, kā mērīšanas elementus izmanto sensorus. Mainīgā līmeņa skaitītāju darbības būtība ir tvertnē laikā vienībā ieplūstošās degvielas līmeņa izmaiņas noteikšana. Masas skaitītāji darbojas pēc degvielas plūsmas rādītā inerces momenta mērījumu principa. Indukcijas skaitītāju mērījumi ir atkarīgi no elektrodzinējspēka izmaiņām, kas rodas inducēta elektrovadītspējīga šķidruma plūsmā elektromagnētiskā lauka iedarbībā.

Indukcijas skaitītāju mērījumi nav atkarīgi no mērāmo šķidrumu parametriem (temperatūras, blīvuma, viskozitātes, spiediena, siltumvadītspējas un citiem).Visi skaitītāji ir izgatavoti no speciāliem sprādziendrošiem materiāliem, lai novērstu iespējamo detonāciju.

Neatkarīgi no darbības veida un principiem katram skaitītājam piemīt mērījumu kļūdas un precizitāte parasti ir atkarīga no degvielas uzpildāmā daudzuma, tāpēc DUS var redzēt informācijas zīmes uz aparātiem, kas informē par mērījumu precizitātes sākšanos no noteiktiem litriem (42. att.), kas savukārt pierāda, ka mērījuma precizitāte ir atkarīga no uzpildītā degvielas daudzuma. Zemāk tiek apskatīti dažādi skaitītāju veidi un to darbības principi.

5.6. Skrūvveida skaitītāji

Degvielas skrūvveida ППВ skaitītāji (43. att. un 6. tabula) tiek izmantoti degvielas daudzuma uzskaitei ar kinemātisko viskozitāti no 0,55 līdz 300 cSt pie temperatūras no -50 līdz +50 ^{o}C. Precizitātes klase 0,25 un 0,5. Skrūvveida skaitītāja darbības princips – divas skrūves griežas un degvielas plūsmas ietekmē pie katra apgrieziena mēra kaut kādu degvielas daudzumu. Skrūvju griešanās caur magnētisko uzmavu tiek nodotas uz uzskaites mehānismu, pārveidojoties par daudzuma vienībām.

43. att. **Skrūvveida skaitītāji**

6. tabula

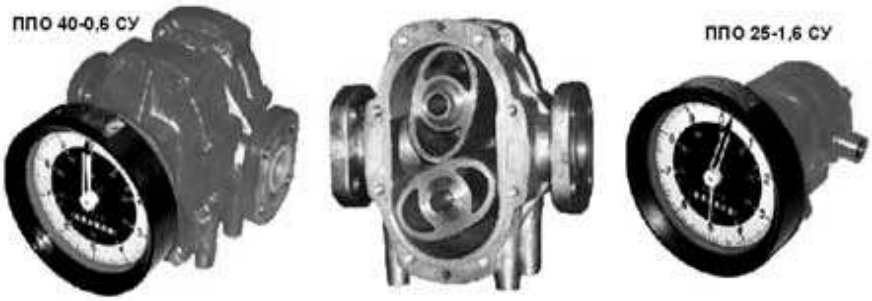
Skrūvveida skaitītāju ППВ-100 un ППВ-150 tehniskie raksturlielumi

Skaitītāja tips	Skaitītāja dalījuma vērtība, l		Darbības spiediens, mPa	Svars, kg	Caurplūdes diametrs, mm	Precizitātes klase
	Meh.	Elektr.				
ППВ-100/1,6	10	1	1,6	45	100	0,25; 0,5
ППВ-100/6,4			6,4	135	100	
ППВ-150/1,6			1,6	270	150	
ППВ-150/6,4			6,4	270	150	

44. att. **Automatizēto DUS veidi**

5.7. Skaitītāji ar ovalveida zobratiem

Degvielas skaitītāji ar ovalveida zobratu ППО (45. att. un 7. tabula) darbības diapazons ar kinemātisko viskozitāti no 0,55 līdz 300 cSt, var darboties pie temperatūras no -40 līdz +60 ^{o}C. Precizitātes klase no 0,25 līdz 0,5. Skaitītāja darbības princips – divi ovālie zobrati griežas un degvielas plūsmas ietekmē pie katra apgrieziena mēra kaut kādu degvielas daudzumu. Zobratu griešanās tiek nodotas uz uzskaites mehānismu, pārveidojoties par daudzuma vienībām.



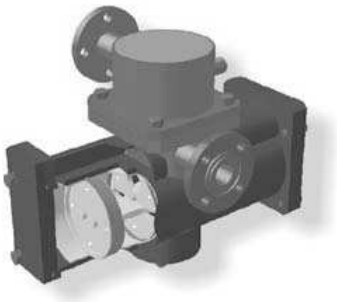
45.att. **Ovalveida zobratu skaitītāji**

7. tabula

Ovalveida zobratu skaitītāju ППО-25 un ППО-40 tehniskie raksturlielumi

Skaitītāja tips	Skaitītāja dalījuma vērtība, l		Darbības spiediens, mPa	Svars, kg	Caurplūdes diametrs, mm	Precizitātes klase
	Meh.	Elektr.				
ППО-25/1,6	0,1	0,1	1,6	7,5	25	0,25; 0,5
ПП)-40/6,4	1	1	0,6	20	100	

5.8. Virzuļveida skaitītāji



46. att. **Virzuļveida skaitītājs**

Degvielas skaitītāju ar virzuļiem (46. att. un 8. tabula) darbības diapazons pie temperatūras no -40 līdz +100 ^{o}C. Precizitātes klase no 0,1 līdz 0,15. Viskozitātes diapazons no 0,55 līdz 2000 cSt. Skaitītāja darbības princips – degvielas daudzuma mērīšana notiek divu cilindru virzuļu secīgas degvielas ieplūdes un izplūdes rezultātā. Cilindra kulise ir savienota ar klani, kas vada plūsmdaļa kustības, kas savukārt nosaka cilindru savienošanas secību ar ieplūdes un izplūdes caurumiem. Klaņa griešanās tiek nodota uz uzskaites mehānismu, pārveidojoties par daudzuma vienībām.

8. tabula

Virzuļveida skaitītāju PZ tehniskie raksturlielumi

Skaitītāja tips	Skaitītāja dalījuma vērtība, l		Darbības spiediens, mPa	Svars, kg	Caurplūdes diametrs, mm	Precizitātes klase
	Meh.	Elektr.				
PZ-1	0,1	0,1	1,6	12	15	0,1; 0,15
PZ-2	1	1		90	40	

5.9. Karioliusa (masas) skaitītāji

47. att. **Karioliusa skaitītājs**

Degvielas skaitītāju (47. att. un 9. tabula) darbības diapazons pie temperatūras no -50 līdz +125 ^{o}C. Precizitātes klase 0,5. Viskozitātes diapazons no 0,55 līdz 2000 cSt. Skaitītāja darbības princips balstās uz karioliusa inerces spēka ietekmes izmantošanu uz konsoli piestiprinātās u-veida caurules pašfrekvenču deformācijas svārstību mērīšanu. Karioliusa

inerce rodas degvielas plūšanas ietekmē. Mērījumi nav atkarīgi no viskozitātes, spiediena, blīvuma un ārējās vides temperatūras.

9. tabula

Karioliusa skaitītāju LZYN-10, LZYN-15 un LZYN-25 tehniskie raksturlielumi

Skaitītāja tips	Skaitītāja dalījuma vērtība, l		Darbības spiediens, mPa	Caurplūdes diametrs, mm	Precizitātes klase
	Meh.	Elektr.			
LZYN-10	1	0,1	1,6	10	0,5
LZYN-15				15	
LZYN-25				25	

5.10. Ultraskaņas degvielas skaitītāji

Degvielas skaitītāju (48. att. un 10. tabula) darbības diapazons pie temperatūras no -40 līdz +50 ^{o}C. Precizitātes klase no 0,25. Ultraskaņas skaitītāji nosaka degvielas masu, tilpumu, blīvumu un temperatūru. Viskozitātes diapazons no 0,2 līdz 50 cSt.

Darbības princips – ultraskaņas, impulsu, kas balstās uz tiešo dinamisko tilpuma mērījuma metodi un netiešo produkta masas dinamisko metodi, kur aprēķini notiek pēc matemātiskām formulām. Degviela plūst pa cauruli ar devējiem un pārveidotājiem, kuros tiek uzkrāti un īslaicīgi uzglabāti dati, nodrošinot izejošo elektrosignālu.

48. att. **Ultraskaņas skaitītājs CENTROSONIC-M**

10. tabula

Skaitītāju CM-50, CM-100 un CM-500 tehniskie raksturlielumi

Skaitītāja tips	Minimālā ieliešanas masa,tl	Darbības spiediens, mPa	Caurplūdes diametrs, mm	Precizitātes klase
CM-50	1	6,3	50	0,25
CM-100	10		100	
CM-500	50	2,5	500	

5.11. Automatizētās uzskaites vadības kontrolleri

Kontrolleri (49. att.) tiek izmantoti uzpildītās degvielas daudzuma, viena litra cenas un kopējās cenas atspoguļošanai degvielas uzpildīšanas laikā. Darba temperatūru diapazons no -40 līdz +50 ^{o}C. Kontrolleriem ir sprādziendrošuma marķējums 2ExeIIT3. Patērētā jauda ir ne lielāka par 20 W (kontrolleriem ar gaismas diodēm vai elektromehāniskiem indikatoriem), 3 W (kontrolleriem ar šķidro kristālu ekrānu). Kontrolleri var būt mehāniskie, elektromehāniskie un elektroniskie. Kontrolleri neveic degvielas uzskaiti, bet tikai atspoguļo informāciju, saņemtu no skaitītāju impulsiem.

49. att. **DUS skaitītāju kontrolleru veidi**

5.12. Degvielas pildpistoles

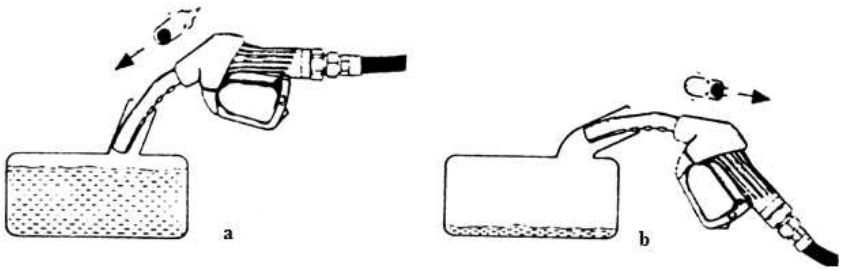
50. att. **ZVA 200 GR pildpistole**

DUS degvielas uzpildei pārsvarā lieto ZVA 200 GR pildpistoles (50. att.) ar caurplūdes ātrumu līdz 45 l/min. Pildpislote neveic degvielas uzskaiti, bet ar to var kontrolēt izdotās degvielas daudzumu, ņemot vērā kontroliera rādījumus.

Pildpistoles izmantošana:

1) pildpistole ievietota automobiļa degvielas tvertnē, atrodas horizontālā stāvoklī, apaļais vārsts netraucē gaisa ieplūdei, degviela plūst (51. att. a);

2) nepareizi novietota pildpistole, kad apaļais vārsts traucē gaisa ieplūdei – novirzīts no horizontālā stāvokļa, degviela neplūst (51. att. b).



51. att. **Pilpistoļu novietojuma stāvokļi:**
a – pareizs novietojums, b – nepareizs novietojums

Degvielas arī neplūst, kad degvielas tvertne ir pilna, jo nav gaisa ieplūdes un apaļais vārsts ir ciet.

5.13. Degvielas uzskaites tiesiskā bāze un normatīvie akti

Saskaņā ar Ministru kabineta 2000. gada 5. septembra noteikumu Nr. 311 "Naftas produktu (degvielas) aprites noteikumi" 79. punktu 2001. gada 7. februārī apstiprināja kārtību, kādā mērāmi naftas produktu (degvielas) krājumu atlikumi kontroles procesā un naftas produktu (degvielas) atlikumu mērījumos fiksēto naftas produktu (degvielas) iztrūkuma (zuduma) un pārpalikuma pieļaujamo apjomu [119-121].

Vispārīgie jautājumi.

Noteikumi nosaka likuma "Par akcīzes nodokli naftas produktiem" 3. pantā minēto naftas produktu (degvielas) aprites kārtību. Uzņēmums, kurš ir saņēmis vienu no „Noteikumu...” 13. punktā minētajām licencēm, katru mēnesi līdz piecpadsmitajam datumam iesniedz Valsts ieņēmumu dienestā pārskatu par degvielas apriti iepriekšējā mēnesī. Pārskata formu un iesniegšanas veidu nosaka Valsts ieņēmumu dienests. Degvielas atlikumu mērījumos fiksētais degvielas iztrūkuma (zuduma) un pārpalikuma pieļaujamais apjoms ir piemērojams arī uzņēmumos (uzņēmējsabiedrībās), kuri reizi mēnesī veic degvielas atlikumu mērījumus saskaņā ar Ministru kabineta 2000. gada 5. septembra noteikumu Nr. 311 "Naftas produktu (degvielas) aprites noteikumi" 72.2. apakšpunktu [122-125].

Degvielas krājumu atlikumu faktiskā daudzuma mērījumus kontroles procesā veic attiecīgās degvielas tilpnes (tilpņu) valdītājs vai viņa rakstiski pilnvarots pārstāvis valsts institūcijas, kura savas kompetences ietvaros veic kontroli, pilnvarotas amatpersonas (turpmāk - amatpersona) tiešā uzraudzībā. Degvielas krājumu atlikumu mērījumu kontroles procesā rezultātus amatpersona fiksē "Naftas produktu (degvielas) krājumu atlikumu mērījumu kontroles procesā rezultātu tabulā" (pielikumā), kuras otrais eksemplārs izsniedzams degvielas tilpnes (tilpņu) valdītājam vai viņa pārstāvim. Pieļaujamā degvielas iztrūkuma (zuduma) vai pārpalikuma aprēķina rezultātus amatpersona fiksē dokumentāri. Dokumenta, kurā fiksēti aprēķina rezultāti, otro eksemplāru amatpersona izsniedz degvielas tilpnes (tilpņu) valdītājam vai viņa pārstāvim. Ja kontroles procesā tiek konstatēts, ka degvielas iztrūkuma (zuduma) vai pārpalikuma apjoms pārsniedz pieļaujamo iztrūkuma (zuduma) vai pārpalikuma apjomu, valsts institūcija turpina veikt pārbaudi.

Nosakot degvielas iztrūkuma (zuduma) un pārpalikuma pieļaujamos apjomus, tiek ņemti vērā šādi faktori:

- degvielas dabiskie zudumi - zudumi (degvielas masas samazināšanās kvalitātei saglabājoties normatīvo dokumentu prasību līmenī), kuri izriet no degvielas fizikāli ķīmiskajām īpašībām un meteoroloģisko faktoru iedarbības;
- degvielas dabiskā zuduma norma ir neatgriezenisks degvielas zudumu lielums, kurš rodas kā fizisko procesu tiešās sekas, kā arī ar tehnoloģisko iekārtu pielietošanu saistītie zudumi (piemēram, iztvaikojumi no visu veidu tilpnēm, sūkņu un aizbīdņu blīvslēgiem);
- mērījumu kļūda - izmērīto vērtību novirze no patiesajām vērtībām, kura rodas no mērīšanas līdzekļa neprecizitātes (mērīšanas līdzekļu kļūdas) un mērījumu veicēja darbības, mērīšanas apstākļu, mērāmā lieluma svārstību rezultātā;
- degvielas tilpuma izmaiņas temperatūras ietekmē - tilpuma izmaiņas mainoties temperatūrai dažādos mērījumu veikšanas laikos un vietās.

Šīs kārtības ietvaros degviela, ievērojot tās fizikāli ķīmiskās īpašības, tiek iedalīta šādās grupās:

1) benzīns, tā aizstājējprodukti un komponenti (turpmāk - benzīns);
2) dīzeļdegviela (gāzeļļa), petroleja, tās aizstājējprodukti un komponenti (turpmāk - dīzeļdegviela);

3) degvieleļļa, tās aizstājējprodukti un komponenti (turpmāk - degvieleļļa);
4) naftas gāzes un pārējie gāzveida ogļūdeņraži, izņemot dabasgāzi (turpmāk - gāze).

Pieļaujamā degvielas iztrūkuma (zuduma) vai pārpalikuma aprēķinu degvielas uzpildes stacijās (turpmāk - DUS) neveic, ja kontroles mērījumā konstatētā iztrūkuma (zuduma) vai pārpalikuma apjoms nepārsniedz trīssimt litrus no degvielas atlikuma pēc uzskaites datiem mērījumu veikšanas dienā. Aizliegta saskaņā ar šo kārtību noteikto pieļaujamo iztrūkumu (zudumu) vai pārpalikumu apjomu norakstīšana (korekciju veikšana uzskaitē).

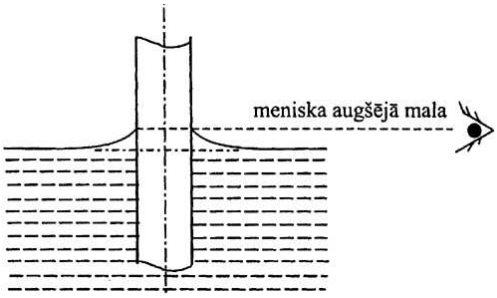
Degvielas krājumu atlikumu faktiskā daudzuma mērīšanas kārtība kontroles procesā un salīdzināšana ar grāmatvedības uzskaitē reģistrēto atlikumu.

Degvielas krājumu atlikumu faktiskais daudzums tiek mērīts ar attiecīgajā uzņēmumā esošajiem mērīšanas līdzekļiem. Ja uzņēmumā nav nepieciešamo mērīšanas līdzekļu vai ja mērījumus nevar veikt citu iemeslu dēļ, amatpersonai šīs ziņas jāfiksē pārbaudes aktā. Pirms degvielas krājumu atlikumu mērīšanas sākuma:

- amatpersona pārliecinās, vai degvielas mērīšanas līdzekļi ir verificēti un vai nav beidzies to verifikācijas termiņš;
- tiek pārtraukta degvielas izsniegšana un saņemšana;
- amatpersona fiksē grāmatvedības uzskaitē reģistrēto degvielas atlikumu mērīšanas uzsākšanas brīdī (litros vai kg), (tālāk formulās tiek apzīmēts ar Ag);
- amatpersona fiksē atskaites periodā (laika periodā no pēdējās degvielas krājumu atlikumu mērījumu dienas līdz kontroles procesā veicamo degvielas krājumu atlikumu mērījumu dienai) saņemto degvielas daudzumu (litros vai kg), (tālāk formulās - S);
- amatpersona fiksē atskaites periodā izsniegto degvielas daudzumu (litros vai kg) (tālāk formulās - I).

Degvielas tilpuma noteikšana tilpnē:

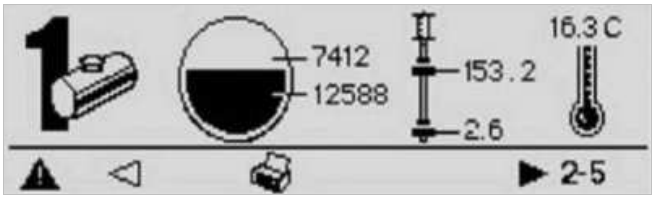
- izmantojot mērīšanas līdzekli (mērlenti, mērstieni vai automatizētu mērīšanas iekārtu), izmēra degvielas un ūdens kopējo līmeni tilpnē [cm] ar precizitāti līdz 1 mm (tālāk formulās - Mm);
- degvielas un ūdens kopējais līmenis tilpnē tiek aprēķināts kā vidējais no diviem mērījumiem, ja starpība starp šiem mērījumiem nepārsniedz 6 mm. Ja starpība ir lielāka par 6 mm, jāveic trešais mērījums un jāaprēķina vidējais starp diviem tuvākajiem mērījumiem;
- izmantojot tilpnes kalibrēšanas tabulu, nosaka izmērītajam līmenim atbilstošo degvielas un ūdens kopējo tilpumu. Atņemot no šī tilpuma mērījumu rezultātā konstatēto ūdens daudzumu tilpnē, iegūst izmērīto degvielas atlikumu tilpnē kontroles brīdī (tālāk formulās - Am) (litros);
- DUS no degvielas un ūdens kopējā tilpuma tilpnē ūdens tilpums netiek atskaitīts;
- degvielas blīvumu nosaka, ja uzskaite tiek veikta kilogramos. Ja uzskaite tiek veikta litros, nosaka tikai degvielas temperatūru. Degvielas blīvumu un temperatūru nosaka šādi:
  - cilindru novieto uz līdzenas virsmas;
  - degvielas paraugu uzmanīgi gar sieniņu ielej cilindrā un raugās, lai neveidotos gaisa pūslīši;
  - tīru un sausu areometru, turot aiz augšējā gala, lēni un uzmanīgi iegremdē cilindrā ar degvielu;
  - kad areometra svārstības ir norimušas, nolasa rādījumus (temperatūru un blīvumu) pēc augšējās meniska malas. Nolasītāja acīm jāatrodas vienā līmenī ar menisku (52. att.). Areometra skalas rādījums atbilst degvielas blīvumam (r) mērīšanas temperatūrā (g/cm3);
  - degvielas blīvuma un temperatūras noteikšanai var izmantot arī digitālo mērīšanas līdzekli (piemēram, naftas produktu līmeņa mērīšanas sistēmu *SiteSentinel 1* – 53. att.);



52. att. **Areometra skalas rādījuma nolasīšana**

53. att. **Naftas produktu līmeņa mērīšanas sistēma *SiteSentinel 1***

- Integrētā naftas produktu līmeņa mērīšanas sistēma *SiteSentinel 1* var uztvert informāciju no 16 zondēm vai rezervuāru stāvokļa devējiem - sensoriem un dod iespēju katrā laikā iegūt pilnīgus un precīzus datus par produkta daudzumu un citiem parametriem [126].
- Ar ērta grafiskā interfeisa palīdzību (54. att) uz displeja tiek attēloti rezervuāru inventarizācijas dati, tiek nodrošināta datu pārraide uz DUS kases sistēmu, lai brīdinātu par rezervuāra pārpildi vai pārāk zemu produkta līmeni tajā.



54. att. **Sistēmas *SiteSentinel 1* grafiskais interfeiss**

- blīvuma un temperatūras mērījumus nosaka tilpnes trīs dažādos līmeņos;
- aprēķina vidējo blīvumu un temperatūru, ja temperatūra tilpnē tiek noteikta automātiski, fiksē tikai vienu mērījumu.

Degvielas masas noteikšana:

- izmantojot iegūtos blīvuma un tilpuma lielumus un zemāk minēto aprēķina formulu, aprēķina degvielas daudzumu kilogramos:

$$m = r \cdot V \cdot 1000,$$

kur r – blīvums, *g/cm*^{3} (areometra rādījums mērīšanas temperatūrā);

V – tilpums, *litros* (attiecīgās tilpnes kalibrācijas tabulās atrastais tilpums izmērītajā degvielas līmenī);

m – masa, *kilogramos*;

Iegūtais lielums ir izmērītais degvielas atlikums tilpnē kontroles brīdī kilogramos (tālāk formulās - *Am*).

Degvielas faktisko iztrūkumu (zudumu) vai pārpalikumu aprēķina šādi:

- iztrūkuma (zuduma) vai pārpalikuma aprēķinu veic, grāmatvedības uzskaitē uzrādīto daudzumu (*Ag*) atņemot no faktiski izmērītā atlikuma (*Am*):

$$D = Am - Ag,$$

kur D – degvielas faktiskais iztrūkums (zudums) vai pārpalikums, kg;

Am – izmērītais degvielas atlikums tilpnē kontroles brīdī, kg;
Ag – grāmatvedības uzskaitē uzrādītais degvielas daudzums, kg.

- iegūstot negatīvu skaitli, veic pieļaujamā iztrūkuma (zuduma) aprēķinu, bet pozitīva skaitļa gadījumā - pieļaujamā pārpalikuma aprēķinu.

5.14. Degvielas dabiskie zudumi

Degvielas dabiskajos zudumos neietilpst ar normatīvi tehniskajos dokumentos noteikto prasību neievērošanu saistītie degvielas zudumi. Dabiskā zuduma normās neietilpst ar degvielas tilpņu un cauruļvadu remontu un tīrīšanu saistītie zudumi, ar visu veidu avārijām saistītie zudumi un zudumi, kas radušies degvielas pārsūknēšanas rezultātā. Degvielas dabiskā zuduma normas nav attiecināmas uz fasētu degvielu, kuru transportē un glabā slēgtā tarā, un zudumu pieļaujamās normas tiek noteiktas atkarībā no tilpnes tipa, kā arī atsevišķi pa gada periodiem:

- rudens - ziemas (1. oktobris - 31. marts);
- pavasara - vasaras (1. aprīlis - 30. septembris).

Degvielas dabiskie zudumi vienmēr ir ar negatīvu (-) zīmi. Degvielas dabisko zudumu normās ietilpst dabiskie zudumi, degvielu:

- saņemot (tālāk formulās - *is*);
- glabājot (tālāk formulās - *ig*);
- izsniedzot (tālāk formulās - *ii*).

DUS degvielas kopējo dabisko zudumu normas tiek noteiktas, aprēķinot atskaites periodā saņemto attiecīgās degvielas daudzumu un reizinot to ar 12. tabulā minēto dabisko zudumu normu procentos.

$$Dz = S \cdot is \,,$$

kur: Dz – dabiskie zudumi (litros);
S – atskaites periodā saņemtais daudzums (litros);
is – dabisko zudumu normas koeficients DUS.

11. tabula

Degvielas dabiskās zuduma normas

	Rudens - ziemas periods (1. oktobris-31. marts)		Pavasara - vasaras periods (1. aprīlis-30. septembris)	
	Zem- zemes tilpnes	Virs zemes tilpnes	Zem zemes tilpnes	Virs zemes tilpnes
Benzīns	0,06	0,1	0,08	0,126
Dīzeļdegviela	0,002	0,006	0,004	0,006
Gāze	0,4			

5.15. Mērījumu kļūdas

Pēc likumdošanas aktiem atskaites periodā izrēķina saņemtās degvielas mērījuma kļūdu. Mērījumu kļūdu saņemot, degvielu aprēķina 0,5 % apmērā no atskaites periodā saņemtā degvielas daudzuma (litros vai kilogramos):

$$K_s = S \cdot 0{,}5\% \,,$$

kur K_s – mērījumu kļūda, saņemot degvielu (litros vai kilogramos);

S – atskaites periodā saņemtais degvielas daudzums (litros vai kilogramos).

Atskaites periodā izsniegtās degvielas mērījumu kļūda. Mērījumu kļūdu izsniedzot, degvielu aprēķina 0,5 % apmērā no atskaites periodā izsniegtā degvielas daudzuma (litros vai kilogramos):

$$K_i = I \cdot 0{,}5\%,$$

kur K_i – mērījumu kļūda, izsniedzot degvielu (litros vai kilogramos);

I – atskaites periodā izsniegtais degvielas daudzums (litros vai kilogramos).

Degvielas faktiskā daudzuma (atlikuma) kontroles brīdī mērījuma kļūda:

- kontroles mērījuma kļūdu nosaka no degvielas līmeņa mērījuma (*Mm*) +(-) 3 mm robežās. Iztrūkuma gadījumā degvielas līmeņa mērījumam (*Mm*) pieskaita 3 mm un kalibrācijas tabulā nosaka iegūtajam līmenim atbilstošo tilpumu (*Am + 3mm*). Pārpalikuma gadījumā no degvielas līmeņa mērījuma (*Mm*) atņem 3 mm un kalibrācijas tabulā nosaka iegūtajam līmenim atbilstošo tilpumu (*Am – 3 mm*).

Kontroles mērījuma kļūdu aprēķina pēc šādas formulas:

Iztrūkuma gadījumā:

$$K_{m1} = (A_m + 3mm) - A_m;$$

Pārpalikuma gadījumā:

$$K_{m1} = A_m - (A_m - 3mm);$$

kur *Km1* – kontroles mērījuma kļūda (litros);

Am – izmērītais atlikums kontoles brīdī (litros);

(*Am+3mm*) – tilpums no tilpnes kalibrācijas tabulas līmenī *Mm +3mm*;

(*Am-3mm*) – tilpums no tilpnes kalibrācijas tabulas līmenī *Mm-3mm*;

Ja degvielas uzskaiti veic kilogramos, kontroles mērījuma kļūdu litros reizina ar degvielas blīvumu. Iegūtais lielums ir kontroles mērījuma kļūda kilogramos. Mērīšanas aparāta kļūdu (tālāk formulās – *Km2*) aprēķina, izmantojot mērīšanas līdzekļa tehniskajā pasē norādīto iespējamo mērījumu kļūdu atbilstošajā tilpnes līmenī (*Mm*). Tilpnes kalibrācijas tabulas kļūdu aprēķina 0,5 % apmērā no izmērītā degvielas atlikuma kontroles brīdī (Am):

$$Km^3 = Am \cdot 0{,}5\%,$$

kur Km^3 - tilpnes kalibrācijas tabulas kļūda (litros vai kilogramos);

Am – izmērītais degvielas atlikums kontroles brīdī (litros vai kilogramos).

5.16. Degvielas tilpuma izmaiņas temperatūras ietekmēšana

Lai veiktu tilpuma izmaiņu korekciju, jāfiksē šādas temperatūras:

Tp - degvielas vidējā temperatūra nosūtītāja iekraušanas (iepildīšanas) vietā.

Vidējo temperatūru iekraušanas (iepildīšanas) vietā aprēķina no temperatūras rādījumiem, kas fiksēti katrai iekrautajai kravai nosūtītāja iekraušanas vietā atskaites periodā;

Tt - degvielas temperatūra saņēmēja izkraušanas tilpnē;

Vidējo temperatūru izkraušanas tilpnē aprēķina no temperatūras mērījumiem, kas veikti pirms katras kravas saņemšanas izkraušanas tilpnē atskaites periodā;

Tk - degvielas temperatūra saņēmēja izkraušanas tilpnē kontroles brīdī.

Tilpuma korekciju veic, ja uzskaite tiek veikta litros. Ja uzskaite tiek veikta kilogramos, korekciju neveic. Tilpuma korekcija netiek veikta arī tādā gadījumā, ja nav fiksēta degvielas temperatūra nosūtītāja iekraušanas (iepildīšanas) vietā (*Tp*) un/ vai degvielas temperatūra saņēmēja izkraušanas tilpnē (*Tt*).

Tilpuma korekcija saņemtajai degvielai. Tilpuma korekciju saņemtajai degvielai aprēķina no saņemtā daudzuma atskaites periodā atbilstoši degvielas temperatūras starpībai saņemšanas un iekraušanas (iepildīšanas) vietā:

$$Kt_1 = S \cdot Td_1 \cdot t\,,$$

kur Kt_1 - tilpuma korekcija saņemtajai degvielai (litros);

S - atskaites periodā saņemtais daudzums (litros);

Td_1 - temperatūras starpība saņēmēja izkraušanas tilpnē un nosūtītāja iekraušanas (iepildīšanas) vietā (^{o}C);

t - tilpuma izmaiņas uz vienu grādu (benzīnam 0,12 %, dīzeļdegvielai 0,08 %).

Degvielas temperatūras starpību saņēmēja izkraušanas tilpnē un nosūtītāja iekraušanas (iepildīšanas) vietā (Td_1) aprēķina kā starpību starp vidējo temperatūru saņēmēja izkraušanas tilpnē (*Tt*) un nosūtītāja iekraušanas (iepildīšanas) vietā (*Tp*). Tilpuma korekcijā saglabā temperatūras starpības zīmi:

$$Td_1 = Tt - Tp\,,$$

kur Td_1 - temperatūras starpība saņēmēja izkraušanas tilpnē un nosūtītāja iekraušanas (iepildīšanas) vietā (^{o}C);

Tt - vidēja temperatūru saņēmēja izkraušanas tilpnē (^{o}C);

Tp - vidēja temperatūra nosūtītāja iekraušanas (iepildīšanas) vietā (^{o}C).

Tilpuma korekcija degvielas kontroles mērījumam:

tilpuma korekciju kontroles mērījumam aprēķina no izmērītā degvielas atlikuma kontroles brīdī pēc šādas formulas:

$$Kt_2 = Am \cdot Td_2 \cdot t\,,$$

kur Kt_2 - tilpuma korekcija kontroles brīdī (litros);

Am - izmērītais atlikums kontroles brīdī (litros);

Td_2 - temperatūras starpība starp temperatūru kontroles brīdī un saņēmēja izkraušanas tilpnē (^{o}C);

t - tilpuma izmaiņas uz vienu grādu (benzīnam 0,12 %, dīzeļdegvielai 0,08 %);

Temperatūras starpību starp temperatūru kontroles brīdī un saņēmēja izkraušanas tilpnē (Td_2) aprēķina kā starpību starp temperatūru kontroles brīdī (*Tk*) un vidējo temperatūru saņemšanas tilpnē atskaites periodā (*Tt*). Tilpuma korekcijā saglabā temperatūras starpības zīmi:

$$Td_2 = Tk - Tt\,,$$

kur Td_2 - temperatūras starpība starp temperatūru kontroles brīdī un saņēmēja izkraušanas tilpnē (^{o}C);

Tk - temperatūra kontroles brīdī (^{o}C);

Tt - vidēja temperatūru saņēmēja izkraušanas tilpnē (^{o}C).

5.17. Degvielas krājumu atlikumu mērījumi

Fiksētā degvielas iztrūkuma (zuduma) un pārpalikuma pieļaujamais apjoms aprēķini.

Degvielas pieļaujamā iztrūkuma (zuduma) aprēķins:

● degvielas pieļaujamā iztrūkuma (zuduma) aprēķinā korekcijas faktoriem jālieto to faktiskā zīme;

● degvielas pieļaujamais iztrūkums (zudums) tiek aprēķināts pēc formulas:

$$Di = Dz - Ks - Ki - Km1 - Km2 - Km3 + Kt_1 + Kt_2,$$

kur Di - degvielas iztrūkuma (zuduma) un pārpalikuma pieļaujamais apjoms;

Dz - dabiskie zudumi (litros);

Ks - mērījumu kļūda, saņemot degvielu (litros vai kilogramos);

Ki - mērījumu kļūda, izsniedzot degvielu (litros vai kilogramos);

Km1 - kontroles mērījuma kļūda (litros);

Km2 - mērīšanas aparāta kļūda (*Mm*);

Km3 - tilpnes kalibrācijas tabulas kļūda (litros vai kilogramos);

Kt1 - tilpuma korekcija saņemtajai degvielai (litros);

Kt2 - tilpuma korekcija kontroles brīdī (litros).

Degvielas pieļaujamā pārpalikuma aprēķins:

-degvielas pieļaujamā pārpalikuma aprēķinā korekcijas faktoriem jālieto to faktiskā zīme;

-degvielas pieļaujamais pārpalikums tiek aprēķināts pēc formulas:

$$Dp = Dz + Ks + Ki + Km1 + Km2 + Km3 + Kt_1 + Kt_2,$$

kur Dp – degvielas pieļaujamais pārpalikums.

5.18. Mērīšanas rezultātu novērtēšanas varbūtības–statistisko metožu analīze

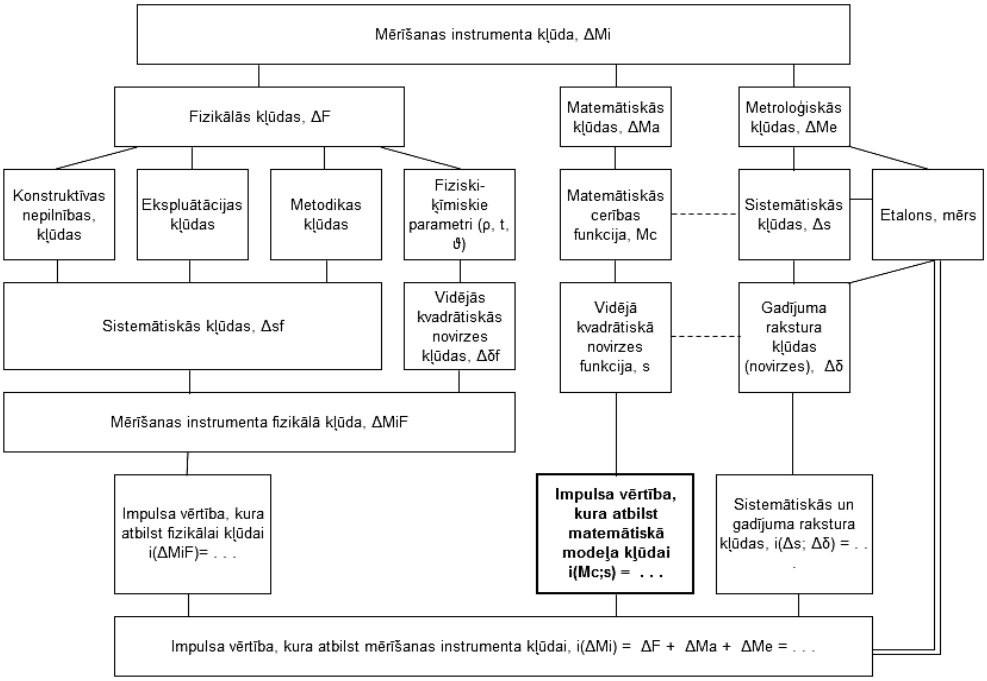
Novērtējot un apstrādājot mērīšanas rezultātus ir svarīgi kritiski izvērtēt tradicionālās un modernās statistiskās metodes [78]. Vispirms jākonstatē, ka tradicionālās statistikas analīzes un mērīšanas rezultātu apstrādes metodes, piemēram, *R.Fišera* maksimālās ticamības kritērijs (1912. g.) balstās uz nosacījumu, ka eksperimenta gaitā notiek tieši tas, kam arī bija jānotiek un bija novērojams eksperimentāli. Tāpēc visi nezināmie lielumi, ko mums jāiegūst no eksperimenta, jāiegūst tādā veidā, lai tie vislabāk saskaņotos ar esošiem datiem. Tad iegūto mērīšanas lielumu un parametru novērtējums skaitās par „maksimāli ticamu”.

Vienlaikus nedrīkst nepievērst uzmanību vismaz 3 apstākļiem, kas neļauj apzināties un pieņemt šīs statistiskās koncepcijas priekšrocības:

- iespējama statistisko parametru un līdz ar to mērīšanas rezultāta novirzes pie nevienāda mērījuma skaitļa (bet tieši ar tādiem mērījumiem mums ir darīšanas pie mērāmās vides daudzuma noteikšanas automatizētās uzskaites sistēmās);
- nepieciešams liels iepriekšējas apriori informācijas masīvs (lielumu izkliedes likuma zināšana);
- iegūtas informācijas masīva apstrādes un skaitļošanas grūtības.

Tieši tādēļ jau pirmajā mērīšanas etapā ļoti svarīgi pielietot tādas metodes, kuras varētu izslēgt statistiskās izlases novirzes, vai samazināt tos līdz minimumam. Šādu metožu izstrādei ir gan zinātniska, gan teorētiskā, gan praktiskā nozīme.

Neapšaubāmi informācijas trūkums noveda pie neparametrisku un robastu metožu izveidošanas. *R. Fišers* piedāvāja nejaušo skaitļu ģenerācijas principu, eksperimenta gaitā mākslīgi ieviešot „nejaušības" elementus sistemātisku kļūdu pārvarēšanai.



55. att. **Galveno mērīšanas kļūdu klasifikācija**

Datu apstrādes un skaitļošanas grūtības ir iespējams pārvarēt līdz ar skaitļošanas un mikroprocesoru tehnikas attīstību, mērīšanas procesa un devēju intelektuālizāciju, kā arī pētāmā procesa organizēšanu konkrētas problēmas risināšanai ar mākslīgā intelekta sistēmu palīdzību. Tāpēc tieši pēdējos gados radušies nosacījumi arī citu netradicionālu statistiskās analīzes metodēm, tādiem kā *B. Efrona* „butstreps" *(bootstrap)* metode, *Monte - Karlo* metode, *Furjē* metode un citas jaunas metodes, kas izstrādātas statistisko datu apstrādes metožu trūkumu pārvarēšanai. Ka zināms, *R. Fišera* nejaušo skaitļu ģenerācijas metode bija domāta pašam eksperimentam, datu iegūšanai, nevis eksperimentālo datu apstrādei. *Stenfordas* universitātes (ASV) profesors *B. Efrons* 1979. gadā piedāvāja nejaušo skaitļu ģenerācijas principu izmantot iegūto statistisko datu apstrādei, tādējādi samazinot eksperimentālo datu izlases novirzes sistemātiskās kļūdas. *D. Glass* mēģināja koriģēt sistemātiskās kļūdas, mākslīgi sistematizējot datus pa grupām. Tātad eksperimentālais un datu apstrādes posms pētījumu procesā tika mākslīgi atdalīti. Līdz ar to pētāmais objekts tiek abstrakti pārcelts no vienas „laiks - koordināti" sistēmas uz citu – „koordinātu" sistēmu, no kuras parametrs „laiks" ir izslēgts. Rezultātā pētnieks iegūst nevis lietderīgu procesa vai objekta fizikālo modeli, bet tieši otrādi – „mirušu" matemātisko modeli. Tas ir galvenais kļūdu cēlonis un vairāku esošo statistisko teoriju spekulācijas objekts. Ideāli būtu vienlaicīgi apstrādāt iegūtos datus tieši eksperimenta gaitā, izmantojot fizikālas modelēšanas principus. Tad „novirzēs" būtu iespējams „izlabot", koriģēt bez speciālām matemātisku un fizikālo

modeļu saskaņošanai nepieciešamām „starpteorijām”, jo fizikālie modeļi maksimāli atspoguļo pētāmo objektu būtību.

Lai samazinātu vai izslēgtu iespējamas kļūdas jāizanalizē to rašanas cēloņi eksperimenta gaitā. Var saskatīt trīs galvenos cēloņus:

- mērījumu kļūdas, kas izskaidrojamas ar relatīvisma teorijas pamatprincipiem;
- statistiskās izlases novirzes kļūdas;
- kļūdas, kas izriet no statistisko modeļu un formulu neprecizitātes.

Šeit izšķirošā nozīme ir mērīšanas rezultāta novērtēšanas principam: lai, piemēram, saskaitītu govju daudzumu ganāmpulkā var saskaitīt tās „pēc galvām”, vai arī „pēc kājām”, izdalot beigu rezultātu ar četri. Matemātiski var viegli pierādīt otras metodes priekšrocības identifikācijas precizitātes ziņā, jo šeit ir lielāks izlases apjoms.

Skaitļošanas tehnika atļauj operatīvi apstrādāt lielu informācijas apjomu pēc noteikta algoritma un veicina kļūdu korekciju. Problemātisks paliek jautājums par tādu optimālu modeļu, programmu un algoritmu izstrādi kas atļautu pie minimāliem izdevumiem un masas – gabarītu parametriem pārvarēt „novirzes” problēmu, kas nosaka precizitātes kategoriālo jēdzienu [78].

Tāpēc tika izvirzīta hipotēze, ka uzskaitāmais degvielas daudzums ietekmē mērījumu precizitāti mainoties impulsa vērtībai. Lai hipotēzi apstiprinātu vai noliegtu, tika apkopoti statistiskie dati un veikta to analīze. Tā kā degvielas skaitītājam nav mērīšanas kameras ar mainīgo mērīšanas apjomu, dotajā pētījumā fizikāls modelis netiek izmantots, jo saskaņā ar izvirzīto hipotēzi mērīšanas rezultātu precizitāti ietekmē uzskaitāmās degvielas daudzums. Fizikālo modeli nevar pārbaudīt pēc izvirzītās hipotēzes, tāpēc veic šā procesa matemātisko modelēšanu, jo izsniedzamais degvielas daudzums ir saistīts ar elektroniskās uzskaites ierīces impulsa mainīgo vērtību. Automatizētais skatītāja impulsu bloks interpretē degvielas uzskaites procesa fizikālo modeli. Tādā veidā arī veic skaitītāju kļūdu izpēti. Pēc statistisko datu izpētes, var tikt izvirzīti priekšlikumi par degvielas uzpildes skaitītāju iespējamām konstruktīvām izmaiņām vai to regulēšanu.

Reālu degvielas uzskaitīšanas procesu var aizvietot ar modelēšanu. Analītiskā pētījuma rezultātā saskaņā ar izvirzīto hipotēzi tika izstrādāta un izgatavota ierīce *Logicor-SDK* (56. att.), kļūdu korekcijas koeficientu noteikšanai. Šī ierīce sastāv no impulsu ģeneratora, kas ģenerē noteiktu impulsu daudzumu ar noteiktu impulsa vērtību un uzskaites iekārtas, kas šos signālus uzskaita. Gan impulsa daudzumu, gan impulsa vērtību var iestatīt katrā mērījumā atsevišķi. Modelējot degvielas uzskaiti ar šo mērierīci, būtībā tiek interpretēts tas degvielas daudzums, ko uzskaita degvielas skaitītājs degvielas uzpildes stacijā, aizvietojot degvielas skaitītāja uzskaitīto degvielas daudzumu ar impulsiem.

56. att. **Automatizētais skaitītājs, dozators un autokalibrācijas ierīce LOGICOR-SDK**
(G.Moskvins, Eiropatents 0381762, ASV patents 5016569 un ASV patents 4989445)

12. tabula

Mērījumu dati pie dažādām impulsu vērtībām pie modelējamās vērtības 5 litri

N.p.k.	Impulsu vērtības					M_c	s
	i = 0,123	i = 0,375	i = 0,537	i = 0,742	i = 0,9		
1.	5,000	5,001	5,000	5,000	5,001	5,0004	0,000548
M_c	5,0005	5,0001	5,0003	5,0012	5,0006		
s	0,000688	0,000539	0,000786	0,001079	0,000674		

13. tabula

Mērījumu dati pie dažādām impulsu vērtībām pie modelējamās vērtības 10 litri

N.p.k.	Impulsu vērtības					M_c	s
	i = 0,123	i = 0,375	i = 0,537	i = 0,742	i = 0,9		
1.	10,001	10,001	10,003	10,001	10,001	10,0014	0,000894
M_c	10,0024	10,0027	10,0027	10,0004	10,0013		
s	0,002111	0,005101	0,005159	0,001286	0,001191		

14. tabula

Mērījumu dati pie dažādām impulsu vērtībām pie modelējamās vērtības 50 litri

N.p.k.	Impulsu vērtības					M_c	s
	i = 0,123	i = 0,375	i = 0,537	i = 0,742	i = 0,9		
1.	50,001	50,000	50,000	50,000	50,001	50,0004	0,000548
M_c	50,0004	50,0005	50,0018	50,0016	50,0016		
s	0,000674	0,000688	0,001401	0,000924	0,001433		

15. tabula

Mērījumu dati pie dažādām impulsu vērtībām pie modelējamās vērtības 100 litri

N.p.k.	Impulsu vērtības					M_c	s
	i = 0,123	i = 0,375	i = 0,537	i = 0,742	i = 0,9		
1.	100,016	100,001	100,002	100,003	100,003	100,0050	0,006205
M_c	100,0105	100,0033	100,0029	100,0020	100,0021		
s	0,004886	0,001902	0,001375	0,001612	0,001446		

16. tabula

Mērījumu dati pie dažādām impulsu vērtībām pie modelējamās vērtības 500 litri

N.p.k.	Impulsu vērtības					M_c	s
	i = 0,123	i = 0,375	i = 0,537	i = 0,742	i = 0,9		
1.	500,045	500,010	500,007	500,012	500,004	500,0156	0,016712
M_c	500,0468	500,0116	500,0099	500,0115	500,0057		
s	0,010216	0,006329	0,004300	0,004655	0,004174		

17. tabula

Mērījumu dati pie dažādām impulsu vērtībām pie modelējamās vērtības 1000 litri

N.p.k.	Impulsu vērtības					M_c	s
	i = 0,123	i = 0,375	i = 0,537	i = 0,742	i = 0,9		
1.	1000,103	1000,031	1000,018	1000,018	1000,011	1000,0362	0,038036
M_c	1000,0896	1000,0343	1000,0218	1000,0178	1000,0115		
s	0,011868	0,004541	0,004956	0,006809	0,003475		

Lai novērtētu iegūtos rezultātus, tika izmantota matemātiskās cerības funkcija jeb vidējo aritmētisko M_c, kas saistīta ar *sistemātisko kļūdu* un *vidējo kvadrātisko funkciju*, kas savukārt saistīta ar gadījuma rakstura kļūdu s. Vidējais aritmētiskais parāda, kāda pazīmes vērtība raksturotu katru vienību, ja pazīmes absolūto lielumu sadalītu visām vienībām vienmērīgi [78].

Sistemātiskā kļūda ir kļūda, kas viena un tā paša lieluma atkārtotos mērījumos ir konstanta, vai mainās pēc noteikta likuma. kas saistīta ar mērinstrumentu nepilnībām, nepareizām mērīšanas metodēm, vai noapaļošanu [78].

Sistemātiskās kļūdas pamatā var būt sekojoši cēloņi:

- tehniskās nepilnības, kas saistītas ar dotās ierīces konstrukciju;
- tehnoloģiskās nepilnības - šajā gadījumā degvielas plūsmas, var būt sprieguma, strāvas, frekvences svārstības;
- ekspluatācijas - nepareiza, iekārtas tehniskām prasībām neatbilstoša tās ekspluatācija;
- metodiskie - kādu metodiku pielieto precizitātes novērtēšanai:
- kļūdas, kuru izcelsme nav zināma, bet kuru var novērst vai novērtēt;
- kļūdas, kuru izcelsme zināma, bet skaitliskās vērtības nav (mērinstrumenta kļūdas degvielām $\delta \pm 0,5$);
- kļūdas, kuras atkarīgas no paša mērījuma objekta un kuru izcelsme nav zināma.

Gadījuma kļūdas – kļūdas, kuru cēloņi neskaidri un kuru vērtība ar laiku mainās. To ietekmē dažādi faktori - ārējās vides apstākļi, tādi kā temperatūras, spiediena izmaiņas, visi zināmie un nezināmie faktori, kas nepārtraukti iedarbojas un ietekmē skaitītāja optimālu funkcionēšanu. Šos faktorus pilnībā izslēgt nav iespējams. Tos var tikai minimizēt palielinot mērījumu skaitu, kā arī pielietojot dažādus matemātiskas statistikas datu apstrādes paņēmienus. Tāpēc arī skaitītāja precizitāti nosaka vidējās *kvadrātiskās novirzes* vērtība, kura kā kļūda nav pilnībā novēršama. Skaitītāja precizitātes resursi ierobežojas ar šo vērtību s un tie nevar būt mazāki par to. Precīzi noregulējot skaitītāju, samazinot sistemātisko kļūdu līdz minimumam, praktiski abu kļūdu lielumiem vajadzētu sakrist [127]. Efektīva metode šīs kļūdas samazināšanai ir daudzkārtēja eksperimenta atkārtošana.

Par n variantu x_1, x_2 ... x_n vidējo aritmētisko jeb matemātiskās cerības vērtību M_c sauc skaitli, kuru aprēķina, variantu summu dalot ar variantu skaitu, tas ir

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n},$$

kur M_c – matemātiskās cerības funkcijas vērtība;

x_i – apskatītais gadījums;

n – gadījumu skaits.

Standartnovirze (s) - vidējā kvadrātiskā novirze – galvenais un raksturīgākais variantu izkliedes pakāpes rādītājs ap vidējo aritmētisko:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}},$$

kur s – vidējā kvadrātiskā novirze;

x_i – apskatītais gadījums;

$\bar{x}$ – visu mērījumu vidējais aritmētiskais;

n – gadījumu skaits.

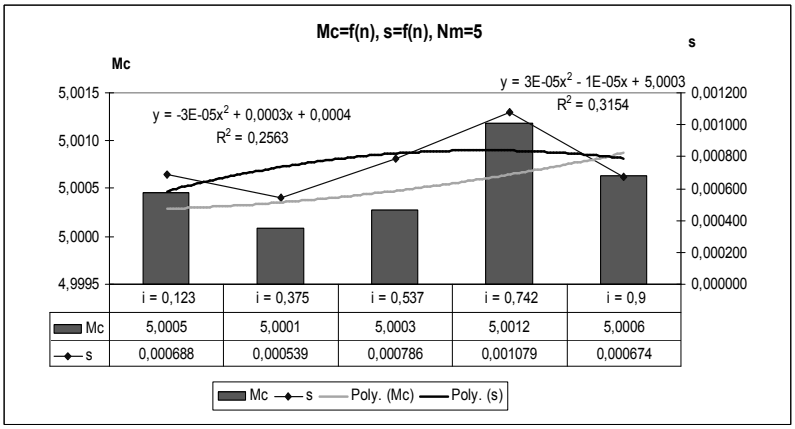
Aprēķināsim 1.1. tabulā 0,123 impulsa vērtībai atbilstošo 11 mēģinājumu matemātiskās cerības un vidējās kvadrātiskās novirzes funkciju novērtējumus.

$$M_{c_{0i=0,123}} = \frac{5{,}000+5{,}000+5{,}000+5{,}001+5{,}000+5{,}000+5{,}000+}{11}$$
$$\frac{+5{,}001+5{,}001+5{,}002+5{,}000}{11} = \frac{55{,}005}{11} \approx 5{,}0005$$

$$s_{i=0,123,Nm=5} = \sqrt{\frac{(5{,}000-5{,}0005)^2+(5{,}000-5{,}0005)^2+...+(5{,}000-5{,}0005)^2}{11-1}} =$$
$$= \sqrt{\frac{(5{,}000-5{,}0005)^2+(5{,}000-5{,}0005)^2+...+(5{,}000-5{,}0005)^2}{10}} = 0{,}000688$$

Apstrādājot rezultātus ar statistisko pētījumu metodēm, var redzēt, ka mainoties impulsa vērtībai, mainās arī sadalījums. Tas nozīmē, pastāv kaut kādas optimālas vērtības noteiktiem mērījuma rezultātiem.

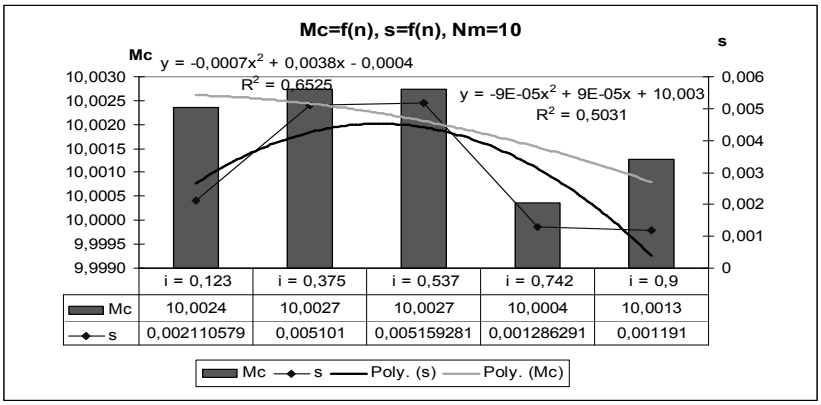
Zemāk ir attēlotas uzskaitītā degvielas daudzuma matemātiskās cerības funkciju (M_c) un vidējas kvadrātiskas novirzes funkciju (s) sadalījums atkarībā no impulsu skaita un modelējamām vērtībām. Tajos ir redzamas šo funkciju diskrētās vērtības, kā arī to aproksimētās līknes, kas raksturo katras funkcijas tendenci un ir aprakstītas katra ar konkrētu matemātisko modeli. Daudzi autovadītāji ikdienā iepilda degvielu pēc vajadzības, tas ir 5 vai 10 litrus, tāpēc apskatīsim funkcijas un kļūdu sadalījumu pie modelējamām vērtībām 5 un 10 litri (57. att. un 58. att.).



57. att. **Uzskaitītā degvielas daudzuma ietekme uz matemātiskās cerības funkcijas (M_c) sadali un gadījuma rakstura kļūdas funkcijas (s) sadali pie dažādām impulsa vērtībām pie modelējamā degvielas daudzuma 5 litri**

Pie vērtības 5 litri var redzēt, ka vismazākās kļūdas ir novērojamas pie impulsa vērtības 0,375, kur vidējā kvadrātiskā novirze ir 0,000539 un matemātiskās cerības funkcija jeb vidējais aritmētiskais ir 5,0001. Lielākās kļūdas ir pie impulsa vērtībās 0,742. Vidējās kvadrātiskās novirzes aproksimētos lielumus šajā apgabalā apraksta polinoms $y = -3\cdot10^{-5}x^2 + 0{,}0003x + 0{,}0004$ ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}2563$, matemātiskās cerības funkciju $y = 3\cdot10^{-5}x^2 - 10^{-5}x + 5{,}0003$ ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}3154$.

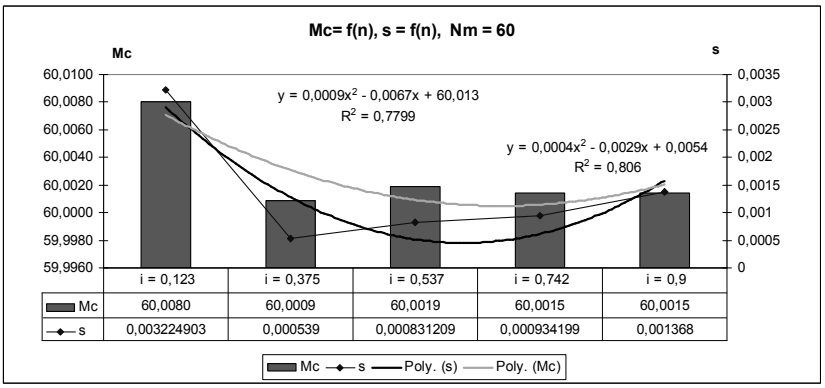
Pie iestatītā impulsu skaita 10 litri vismazākās kļūdas ir novērojamas pie impulsa vērtības 0,9, kur s = 0,001191. Interesanti, ka apskatītajā gadījumā minimālā vidējā kvadrātiskā novirze nesakrīt ar minimālo matemātiskās cerības funkcijas vērtību. Tas ir, pie i = 0,9 vidējā kvadrātiskā novirze s = 0,001191 un matemātiskās cerības funkcija M_c = 10,0013, bet minimālā matemātiskās cerības funkcija ir pie i = 0,742, kur kvadrātiskā novirze s = 0,001286 un matemātiskās cerības funkcija M_c = 10,0004. Lielākās kļūdas rodas pie impulsa vērtībās 0,537. Vidējas kvadrātiskās funkcijas sadalījuma līkni šajā apgabalā apraksta polinoms y = -0,0007x2 + 0,0038x - 0,0004 ar ticamības rādītāju R^2 = 0,6525, bet matemātiskās cerības funkcijas sadalījuma likni polinoms y = $-9\cdot10^{-5}x^2 + 9\cdot10^{-5}x + 10,003$ ar ticamības rādītāju R^2 = 0,5031.



58. att. **Uzskaitītā degvielas daudzuma ietekme uz matemātiskās cerības funkcijas (M_c) sadali un gadījuma rakstura kļūdas funkcijas (s) sadali pie dažādām impulsa vērtībām pie modelējamā degvielas daudzuma 10 litri**

Apskatītajos attēlos ir kopējā likumsakarības – zemas ticamības rādītāja vērtības [110].

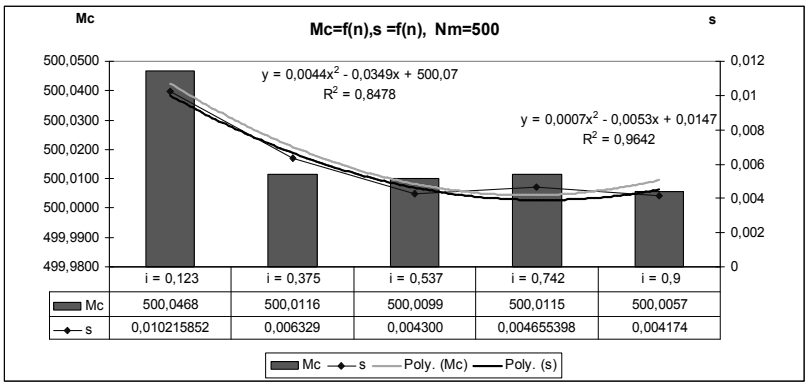
Tā kā daudziem automobiļiem degvielas tvertnes apjoms ir apmēram 60 litri (59. att.), apskatīsim sakarības pie vērtības N_m = 60 litri.



59. att. **Uzskaitītā degvielas daudzuma ietekme uz matemātiskās cerības funkcijas (M_c) sadali un gadījuma rakstura kļūdas funkcijas (s) sadali pie dažādām impulsa vērtībām pie modelējamā degvielas daudzuma 60 litri**

Novērtējot funkciju sadalījumu līknes pie modelējamās vērtības 60 litri, redzams, ka vismazākās kļūdas ir novērojamas pie impulsa vērtības 0,375 ar vidējo kvadrātisko novirzi s = 0,000539 un matemātiskās cerības funkciju M_c = 60,0009. Vislielākās kļūdas rodas pie impulsa vērtībās 0,123. Vidējās kvadrātiskās funkcijas sadalījuma līknes šajā apgabalā var aprakstīt ar sekojošiem polinomiem - vidējas kvadrātiskās funkcijas polinoms $y = 0{,}0004x^2 - 0{,}0029x + 0{,}0054$ ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}806$, matemātiskās cerības funkcijas polinoms $y = 0{,}0009x^2 - 0{,}0067x + 60{,}013$ ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}7799$.

Var redzēt, ka ticamības rādītāju vērtības ir lielākās nekā 5 un 10 litru apskatītajos attēlos. Izejot no izvirzītās hipotēzes tiek izanalizēta uzskaitīta degvielas daudzuma ietekme uz matemātiskās cerības funkcijas (M_c) sadali un gadījuma rakstura kļūdas funkcijas (s) sadali pie lieliem degvielas apjomiem dažādām impulsa vērtībām. Šim nolūkam izvēlas degvielas daudzuma vērtība 500 litri (60. att.).



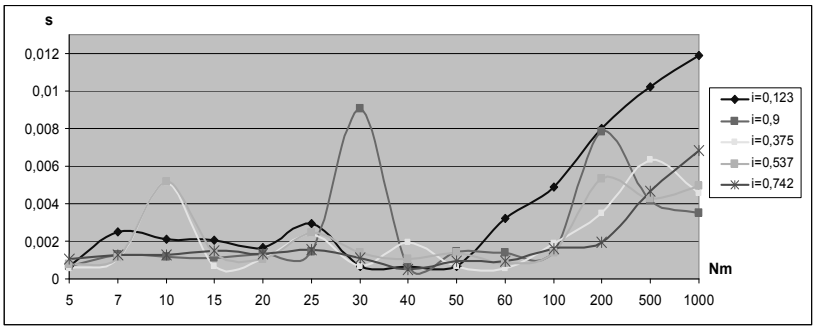
60. att. **Uzskaitītā degvielas daudzuma ietekme uz matemātiskās cerības funkcijas (M_c) sadali un gadījuma rakstura kļūdas funkcijas (s) sadali pie dažādām impulsa vērtībām pie modelējamā degvielas daudzuma 500 litri**

Veicot analīzi [110] pie modelējamām vērtībām 100 un 500 litri, ir konstatēts, ka pie liekākā impulsu skaita vērtības matemātiskās cerības funkcijas vērtība, kā arī vidējās kvadrātiskās novirzes funkcija samazinās, ir adekvāti, salīdzinoši augsti ticamības rādītāji.

Pie 100 litriem vidējas kvadrātiskās funkcijas polinoms y = 0,0005x2 - 0,0035x + 0,0076 ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}9075$, matemātiskās cerības funkcijas polinoms y = 0,001x2 - 0,0078x + 100,02 ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}9112$.

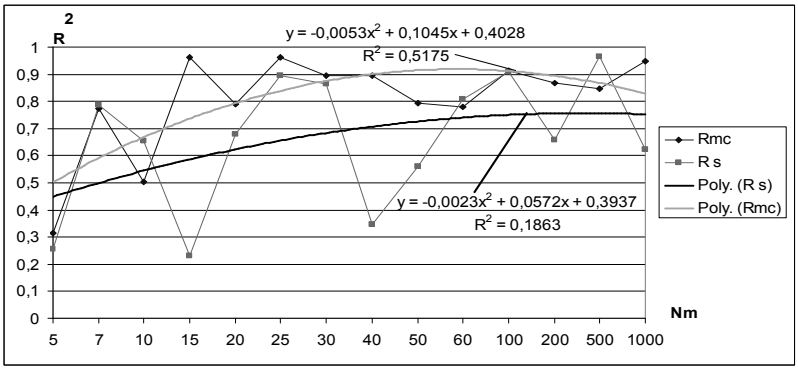
Pie 500 litriem vidējas kvadrātiskās funkcijas polinoms y = 0,0007x2 - 0,0053x + 0,0147 ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}9642$, matemātiskās cerības funkcijas polinoms y = 0,0044x2 - 0,0349x + 500,07 ar ticamības rādītāju $R^2 = 0{,}8478$.

Attēlojot vidējo kvadrātisko novirzi kā funkciju no modelējamas vērtības pie dažādām impulsa vērtībām (61. att.), tas ir, $s = f(N_m)$, var redzēt, ka, piemēram, 15 litrus degvielas ir izdevīgi uzpildīt ar impulsa vērtību 0,375, bet 25 litrus - ar impulsa vērtību 0,9, savukārt 200 litrus - ar impulsa vērtību 0,742.



61. att. **Uzskaitītā degvielas daudzuma ietekme uz funkcijas s = f (N_m) sadali pie dažādām impulsu vērtībām**

62. att. ir redzama ticamības rādītāja R^2 vērtības ir ļoti zemas, kas liecina par uzskaitāmā degvielas daudzuma ietekmi uz mērīšanas rezultātu precizitāti.



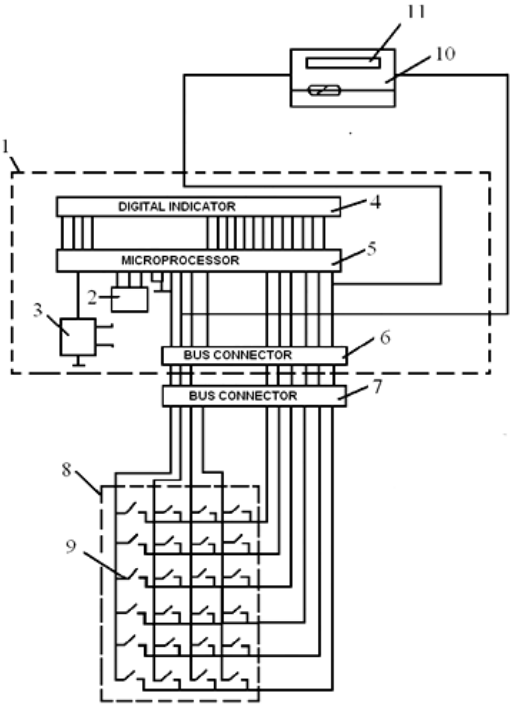
62. att. **Ticamības kritērija R2 vērtības izmaiņa mainoties uzskaitāma degvielas daudzumam**

Novērtējot visu impulsu vērtību raksturlīknes, redzams, ka uzskaites sistēmai visoptimālāk ir veikt mērījumus pie impulsa vērtības 0,375. Lielākās kļūdas ir novērotas pie impulsa vērtības 0,123. Var konstatēt, kā pie lielākiem apjomiem kopējā kļūda summējas.

5.19. Mērīšanas kļūdu novēršanas automatizācija

Veicot degvielas uzskaiti, parādās kļūdas, kas var būt gan gadījuma rakstura kļūdas, gan sistemātiskās kļūdas. Sistemātiskā kļūdas ir iespējams novērst, gan konstruktīvi uzlabojot skaitītāju, gan pēc iespējas izslēdzot visus ietekmējošos faktorus, kas ietekmē skaitītāja precizitāti. Lai nebūtu mehāniski jāiejaucas skaitītāja precizitātes uzlabošanā ar kādiem jauniem konstruktīviem risinājumiem ir iespējams kļūdu novēršanai izmantot matemātisku datu apstrādi ieviešot kļūdu korekcijas koeficientus. Korekcijas koeficienta noteikšana ir sekojoša - skaitītājam pievada zināmu etalonu degvielas daudzumu un nolasa skaitītāja rādījumus. Salīdzinot šos abus rādījumus ir iespējams aprēķināt korekcijas koeficientu - par cik reizēm jāizmaina degvielas skaitītāja rādījums, lai tas sakristu ar tam

pievadīto degvielas daudzumu. Programmējot skaitītāju šo korekcijas koeficientu, būtu nepieciešams ievadīt blokshēmas atmiņā, lai tas jau pats automātiski novērstu statistisko un metroloģisko modeļu neprecizitātes degvielas uzskaitē. Tā kā degvielas skaitītāja konstruktīvie parametri, tam nolietojoties mainās, vajadzētu paredzēt arī iespēju mainīt korekcijas koeficienta vērtību, skaitītāja parametrizācijas logā ieviešot šo koeficientu. Šādā veidā ir iespējams samazināt skaitītāja kļūdu nepieciešamos gadījumos vairākas reizes, neuzlabojot skaitītāju konstruktīvi. Tā resursiem nolietojoties, praktiski nemainīsies viņa precizitāte, laicīgi nosakot jaunu korekcijas koeficienta vērtību. Vēl labāks paņēmiens skaitītāja kļūdas novēršanai ir automatizācijas iespēju izmantošana, tas ir, ieviešot automātisku korekcijas bloku. 63. att. ir paradīts, kā var pieslēgt kļūdas korekcijas bloku pie degvielas uzskaites skaitītāja un tādejādi automatizēt gan precīzas uzkaitēs, gan metroloģiskas atestācijas operācijas.



63. att. **Kļūdu korekcijas bloka savienojuma shēma:**
1 – degvielas uzskaites kontrolleris; 2 – vadības bloks; 3 – taktu ģenerators; 4 – digitālais indikators; 5 – mikroprocesors ; 6 – savienojuma ieeja; 7 – savienojuma ieeja; 8 – tastatūra; 9 – tastatūras slēdži; 10 – degvielas skaitītājs ar impulsu signāliem; 11 – degvielas skaitītāja kontrolleris.

Rezultātā tiek izveidota ārkārtīgi precīza atklāta tipa automatizētā degviela daudzuma un patēriņa mērīšanas sistēma, kura vienlaicīgi apvieno sevī matemātiskās, fizikālās un metroloģiskās modelēšanas priekšrocības. Nepārtraukti automātiski kontrolējot visas izmaiņas sistēmā, kas ietekmē skaitītāja darbību un ar atgriezeniskās saites palīdzību automātiski mainot korekcijas koeficienta vērtību mēraparāta koeficientu atmiņas blokā atbilstoši izmaiņām sistēmā un iestatītājiem algoritmiem, kas iegūti tādā paša veidā kā modelējamā pētījumā, veicot statistisko izpēti un iegūstot matemātiskās sakarības, kas raksturo kļūdu izmaiņu pie dažādu parametru izmaiņām, var visai precīzi, vienkārši un efektīvi vadīt dažāda tipa precīzas tehnoloģijas un automatizētas iekārtas [110].

6. PIENA PRODUKTU RAŽOŠANAS TEHNOLOĢISKO PROCESU AUTOMATIZĀCIJA

6.1. Vidējais piena ķīmiskais sastāvs

Piena vidējais sastāvs: ūdens – 87,5 %; sausna – 12,5 %; olbaltumvielas – 3,3 %; tauki – 3,8 %; piena cukurs (laktoze) – 4,7 %; minerālvielas – 0,7 %. Piena sastāvs svārstās ļoti plašās robežās no laktācijas perioda, barības, šķirnes, kopšanas, veselības stāvokļa un dzīvnieka individuālajām īpašībām. Pēc tā vien nevar izvērtēt vai piens ir dabīgs, vai viltots.

Pieņemot pienu pārstrādei nosaka tā beztauku sausnas saturu, pēdējo izmanto arī produktu aprēķinos piena pārstrādei. Piena sausnas sastāvdaļas ir suspendētas vai izšķīdušas ūdenī. Tabulā ļoti atsevišķu sausnas sastāvdaļas – piena struktūras elementu daļiņu izmēri un redzams, ka tās atšķiras pēc lieluma.

Tauku lodītes: piena struktūras elementi pēc izmēriem ir lielāki. Tauki pienā atrodas emulsijas veidā, bet tauku lodītes stipri atšķiras no parastas emulsijas pilieniem. Tauku lodītes klāj komplicētas struktūras daudzu ķīmisko savienojumu veidots apvalks – membrāna. Daļa tauku lodītes ir šķidrā veidā, daļa saucās par piena plazmu.

18. tabula

Piena sausnas sastāvdaļu izmēri

Struktūras elementi	Izmēri, mm
Tauku lodītes	$10^{-2} – 10^{-3}$
Kazeīna micellas (kazeīna – kalcija fosfāta komplekss)	$10^{-4} – 10^{-5}$
Sūkalas olbaltumvielas	$10^{-5} – 10^{-6}$
Piena cukurs, minerālvielas u.c. ūdenī šķīstošas vielas	$10^{-6} – 10^{-7}$

Kazeīna micellas var saskatīt lielākā palielinājumā, tad redzams arī tauku lodīšu apvalks. Šķidrumu, kurā disperģētas tauku lodītes un kazeīna micellas (koloidālā suspensija) sauc par piena serumu. Sūkalu olbaltumvielas pienā atrodas molekulārā formā kā ļoti sīki agregāti. Ūdenī šķīstošās piena sastāvdaļas: piena cukurs, minerālvielas u.c. ir īsta šķidruma veidā.

6.2. Piena ķīmisko sastāvdaļu raksturojums

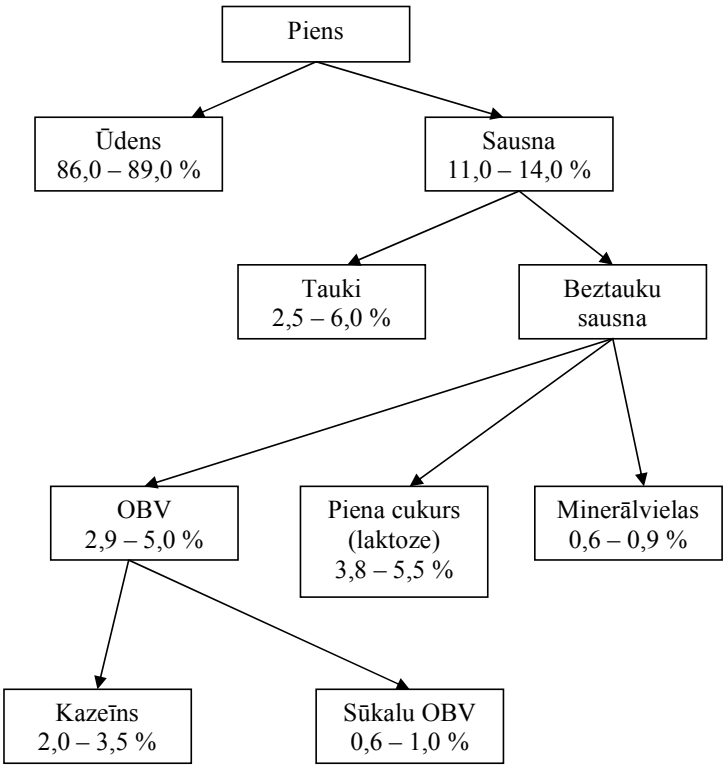
Ūdens ir skaitliski lielākā piena sastāvdaļa, tā saturs pienā 86 – 89 %. Ūdens pienā ir brīvā un saliktā – saistītā veidā.

Brīvais ūdens. Nav saistīts ar citām sastāvdaļām, var viegli atdalīt kaltējot, iebiezinot, saldējot. Tā kā mikroorganismi var attīstīties tikai brīvajā ūdenī, tā daudzumu samazināšana ļauj pagarināt produkta uzglabāšanas laiku. Piena cukurs, minerālvielas un citas vielas ir izšķīdušas brīvajā ūdenī. Brīvais ūdens pienā ir apmēram 85 % no kopējā ūdens daudzuma

Saistītais ūdens. Nevar izdalīt karsējot, tas nesasalst zemās temperatūrās, neattīstās mikroorganismi. Saistītais ūdens pienā atrodas divos veidos:

- Adsorbētais ūdens, to olbaltumvielu hidrofīlās grupas piesaistījušās ar molekulāro spēku palīdzību izveidojot hidratācijas apvalku ap olbaltumvielu daļiņām;

- Kristalizācijas ūdens saistīts ar laktozes kristāliem, jo laktoze kristalizējas ar vienu ūdens molekulu ($C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$).



64. att. **Vidējais piena ķīmiskais sastāvs**

Olbaltumvielas ir vien no vērtīgākajām, nozīmīgākajām piena sastāvdaļām, saturs svārstās no 2,9 – 5,0 % robežās. 0,5 litri piena nodrošina 40 % no cilvēkam dienā nepieciešamo olbaltumvielu daudzuma.

Tauki – lipīdi, to saturs pienā svārstās no 2,5 – 6,0 %. Piena tauki ir sīku lodīšu veidā. Vidējais to lielums ir 3 – 4 mm (1=0,001 mm), tas var svārstīties robežās no 0,1 – 20.

Piena cukurs – laktoze ir galvenais ogļhidrāts pienā, sastopams 3,8 – 5,5 %. Laktoze ir reducējošs cukurs, disaharīds, kas hidrolizējoties veido glikozi un galaktozi.

Laktoze ir mazāk salda nekā saharoze, saharozes salduma pakāpe ir 100, laktozes – 16. Laktozes šķīdība ūdenī ir 5 reizes mazāka nekā saharozei.

Minerālvielas, to saturs un sastāvs pienā ir atkarīgs no barības, augsnes, kur barība augusi, govs veselības stāvokļa. Pienā atrodas organisku un neorganisku sāļu veidā. Daļa sāļu šķīst ūdenī, daļa saistīta ar olbaltumvielām. Minerālvielas, kas atrodas pienā vislielākā nozīme ir kalcijam, fosforam, kālijam. 70 – 75 % kalcija ir kazeīna micellas sastāvā, tas veicina pilnīgu tā izmantošanu organismā. Kalcija un fosfora attiecības pienā ir ļoti piemērotas cilvēka organisma vajadzībām.

Vitamīni. Pienā atrodas visi vitamīni, daži ir nelielos daudzumos. Vitamīnu daudzums pienā ir atkarīgs no gadalaika, barības, govs veselības stāvokļa, citiem faktoriem. Vismainīgākais vitamīnu saturs pienā ir A un C.

19. tabula

Vitamīnu daudzums pienā (dažu).

Vitamīni	Saturs, mg $\cdot$ l^{-1}	Saturs 0,5 litri piena, % no dienā nepieciešamā
A	0,2 – 2	40 – 50
B_1	0,4	25 – 30
B_2	1,7	30 – 40
C	5 – 20	15 – 20

Fermenti pienā nokļūst no tesmeņa, tos izdala pienā esošie mikroorganismi. Vairākiem fermentiem ir svarīga loma piena pārstrādē. Tie var izraisīt piena produktu bojāšanos. Fermentus izmanto piena kvalitātes kontrolei, termiskās apstrādes efektivitātes pārbaudei, kas var būt par cēloni piena kvalitātes izmaiņām.

6.3. Kvalitātes rādītāji: piena fizikāli – ķīmiskās īpašības

Skābums. Piena skābumu kontrolē divos veidos: nosakot pH, titrējot. pH raksturo skābju daudzumu pienā, svaiga piena pH ir 6,5 – 6,7. Titrējot skābumu pienam izsaka Ternera grādos: [°T]. *Ternera grādi* ir 0,1 M NaOH ml daudzums, kas tiek patērēts simts ml piena neitralizēšanai indikatora fenolftaleīna klātbūtnē pinu dubultīgi atšķaidot ar ūdeni.

20. tabula

Titrējot noteiktā piena skābumu °T mērvienībās

Titrēšanai lietotā sārma molaritāte	Ternera grādi, °T
	0,1 M
Attiecības starp mērvienībām	2,5 1
Piena skābuma piemērs	20

Piena noteiktais skābums titrējot ir 16 – 18 °T. Pienu titrējot ar sārmu reaģē skābes, arī citi pienā esošie savienojumi. Piena kopējo skābumu veido:

- skābie sāļi (citrāti, fosfāti) apm. 11 °T ,
- olbaltumvielas apm. 4 – 5 °T,
- skābes 1 – 3 °T.

Mazākā daļa no kopējā sārma patēriņa reaģē ar skābēm, titrējot nav iespējams precīzi novērtēt skābju daudzumu pienā. Piena skābums ir atkarīgs no barības, laktācijas perioda, šķirnes, govs veselības stāvokļa, citiem faktoriem.

Sastopamie pazemināta piena skābuma cēloņi ir:

- ar ūdeni viltots piens,
- ar mastītu slimu govju piens,
- vecpiena piejaukums.

Paaugstināta piena skābuma cēloņi ir:

- palielināts olbaltumvielu saturs pienā,

- mikroorganismu savairošanās pienā,
- liels skābes barības īpatsvars,
- traucēta minerālvielu maiņa govs organismā,
- jaunpiena piejaukums.

22. tabula

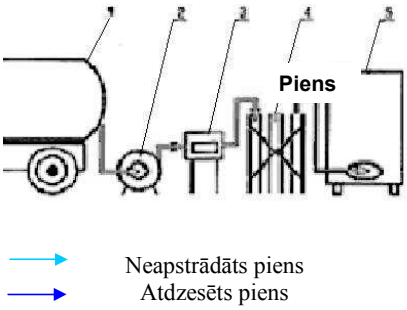
Ķīmiskā sastāva izmaiņas ar mastītu slimu govju pienā

Sastāvdaļas		Veselu govju piens, %	Piens ar augstu somatisko šūnu skaitu, %	% no normāla piena sastāva
Tauki		3,5	3,2	91
Piena cukurs (laktoze)		4,9	4,4	90
OBV	Kazeīns	2,8	2,3	82
	Sūkalu OBV	0,8	1,3	162
Minerālvielas	Nātrijs	0,057	0,105	184
	Hlorīdi	0,091	0,147	161
	Kālijs	0,173	0,154	91
	Kalcijs	0,12	0,04	33

Pienu uzglabājot, pienā esošās pienskābes pārraudzē laktozi, veidojot pienskābi, līdz ar to pieaug piena skābums. Skābuma pieauguma ātrums atkarīgs no baktēriju daudzuma un piena uzglabāšanas temperatūras. Skābuma paaugstināšanās pienā izraisa:

- piens iegūst skābu garšu,
- samazinās kazeīna termoizturību, paaugstinot temperatūru pienā veidojas pārslas,
- no piena, kurā ir paaugstināts skābums nevar iegūt kvalitatīvus produktus.

Blīvums. Piena blīvums svārstās robežās no 1028 – 1038 $kg \cdot m^{-3}$. Piena tauku blīvums ir 918 – 930 $kg \cdot m^{-3,}$ samazinoties tauku daudzumam piena blīvums samazinās. Piena blīvums ir atkarīgs no beztauku sausnas daudzuma, tam pieaugot, blīvums palielinās un otrādi. Pēc piena blīvuma var vērtēt piena dabīgumu, vai tas ir vai nav viltots, pievienojot ūdeni jeb atdalot daļu tauku. Nosakot blīvumu jāievēro temperatūra 20 °C, jo piena blīvums ietekmē tauku stāvokli. Tikko izslauktā pienā ir palielināts gāzu daudzums, kas samazina blīvumu. Blīvumu noteikt vislabāk divas stundas pēc slaukšanas.



65. att. **Piena pieņemšanas plūsma:**
1 – piena cisterna, 2 – centrbēdzes sūknis, 3 – piena plūsmas skaitītājs, 4 – plākšņu dzesētājs, 5 – piena uzglabāšanas tvertne

Sasalšanas temperatūra. Piena sasalšanas temperatūra var svārstīties no – 0,52 °C līdz – 0,59 °C. Visvairāk to ietekmē ūdens saturs pienā. Tīrs ūdens sasalst 0 °C, tā daudzumam palielinoties pienā sasalšanas temperatūra tuvojas 0 °C. Sasalšanas temperatūras noteikšana ļauj atklāt ūdens iekļūšanu pienā to viltojot, kādas paviršības, nejaušības dēļ.

Pielietojums**:** piena pieņemšana un datu apstrāde.

Automatizēto operāciju izpilde: svēršana, attīrīšana, kvalitātes rādītāju noteikšana, atdzesēšana, uzglabāšana.

6.4. Piena uzskaites automatizācijas tehniskie parametri

Piena dzesēšana. Piena dzesēšanas temperatūra 4 – 6 °C. Pēc attīrīšanas no dažādiem mehāniskajiem piemaisījumiem pienu tūlīt atdzesē. Jo zemāka atdzesēšanas temperatūra, jo ilgāk to var uzglabāt. Atdzesējot pienu ir ne tikai aizkavēta mikroorganismu attīstība, bet tajā labāk arī saglabājas vitamīni. Atdzesēšanas temperatūra nedrīkst būt augstāka par 10 °C. Baktērijas, kas attīstās ļoti zemā temperatūrā izraisa olbaltumvielu sadalīšanos procesu un rada pienam rūgtu piegaršu. Piens, kura temperatūra ir no 2 – 5 °C nevar uzglabāt ilgāk par 2 - 3 dienām. Ūdens sasilst un piens atdziest tik ilgi, kamēr pastāv temperatūras starpība. Piena atdzesēšanas efektivitāte ir atkarīga no temperatūras starpības, siltuma apmaiņas virsmas laukuma, piena un ūdens kustības ātruma, metāla situma vadītspējas. Piena dzesēšanai izmanto plākšņu dzesētājus [113].

22. tabula

Plākšņu tipa dzesētāja ООЛ – 1 raksturojums

Dati	Ražīgums, l*diennaktī$^{-1}$					
	1000	3000	5000	10000	20000	30000
Aizņemamais laukums, m^2	40	40	52	70	40	40
Cilvēku skaits, kuri apkalpos iekārtu	2	2	2	2	2	2
Ledus ūdens patēriņš, m^3*diennaktī$^{-1}$	4	12	20	40	100	120
Enerģijas patēriņš, kW*h^{-1}	1,5	1,5	1,5	1,5	3,0	4,5
Nepieciešamais telpas augstums, m	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

66. att. **Dzesētājs – plākšņu siltummainis ООЛ – 1**

Plākšņu tipa dzesētāja ООЛ – 1 īss apraksts un darbības princips.

Pēc saviem izmēriem plākšņu dzesētāji ir daudz mazāki un ar lielāku dzesēšanas efektivitāti. Plākšņu dzesētājs sastāv no nerūsējoša tērauda plākšņu paketes, atsevišķu plākšņu virsma ir viļņota. Plāksnes savienojot paketē starp tām rodas spraugas, kuru lielums atkarīgs no gumijas blīves biezuma. Darbinot plākšņu dzesētāju pa blakus esošajām spraugām pretējos virzienos plūst ūdens un piens. Tā kā plākšņu virsma ir viļņota, piena slānis pārvietojas virpuļveida kustībā ar nelielu tecēšanas ātrumu no 0.3 – 0.5 m/s.

Izmantošana:

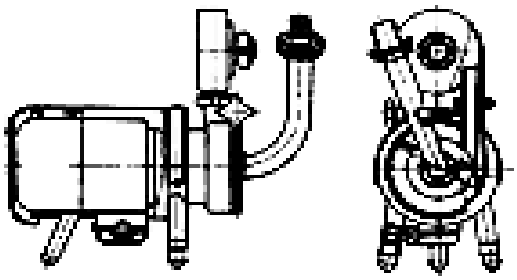
Divsekciju plākšņu dzesētājs paredzēts piena atdzesēšanai nepārtrauktā piena plūsmā.

Piena dzesētājs sastāv no sastatnes, uz kuras ir plāksnes, kas izgatavotas no nerūsējošā tērauda. Piens ar centrbēdzes sūkņa palīdzību tiek padots uz plākšņu aparāta pirmo atdzesēšanas sekciju. Pirmajā sekcijā, kā aukstumnesējs kalpo artēziskais ūdens. Tālāk piens plūst uz otru dzesēšanas sekciju, kur notiek galējā piena atdzesēšana saskaņā ar tehnoloģisko procesu. Otrajā dzesēšanas sekcijā, kā aukstumnesējs tiek izmantots ledus ūdens, kura ieplūdes temperatūra +1 °C.

6.5. Piena uzskaites automatizācijas iekārtu uzbūves, darbības principi un iekārtu raksturojums

Piena pieņemšana. Pienu piegādā autocisternās, kuras ir atļauts lietot pārtikas produktu pārvadāšanai, uzrādot sanitāro pasi. Pieņemto pienu attīra piena filtros un atdzesē.

Centrbēdzes sūkņa ГП-ОПА īss apraksts un darbības princips. Izvēlos ГП-ОПА markas centrbēdzes sūkni, kas sastāv no vārpstas, darba rata, korpusa, šķidruma ieplūdes, vieta darba ratā – vienkārša plāksnīte vārpstas galā, izplūdes caurule, pakaļējais disks, lāpstiņas, ieplūdes caurule, pārvietojamais šķidrums. Galvenās sūkņa sastāvdaļas – darba rats ar izliektām lāpstiņām, plāksnītēm vai zobiem, kuri novietoti uz vārpstas un nekustīgs korpuss, kuram pievienota sūccaurule un spiedcaurules. Šķidrumu sūknim pievada centrā, bet no korpusa izvada pa tangenciāli pievienotu īscauruli. Darba ratam rotējot, lāpstiņas pārnes mehānisko enerģiju uz šķidrumu un tas sāk pārvietoties centrbēdzes spēka ietekmē no centra uz perifēriju un nokļūst izplūdes caurulē. Līdz ar to pie ieplūdes darba ratā rodas retinājums un šķidrums atmosfēras spiediena ietekmē pa ieplūdes cauruli pieplūst sūknim. Darba rats griežas nepārtraukti, tāpēc šķidruma padeve izplūdes caurulē ar centrbēdzes spēku ir nepārtraukta. Centrbēdzes sūkņa darbība ir ļoti vienkārša, tie ir viegli izjaucami un tīrāmi. Izmanto: piena pārsūknēšanai no autocisternas uz piena skaitītāju.



67. att. **Centrbēdzes sūknis NCS 12/10**

68. att. **Centrbēdzes sūknis Г2-ОПД**

23. tabula

Tehniskie parametri (sūknis NCS – 12/10)

Dati	Parametri
Ražība $m^{-3} \cdot min$	12
Maksimālais uzsūknēšanas augstums, m	5
Ieplūdes un izplūdes caurules diametrs, mm	35
Jauda, kW	1,1
Gabarītizmēri, mm	520x225x503

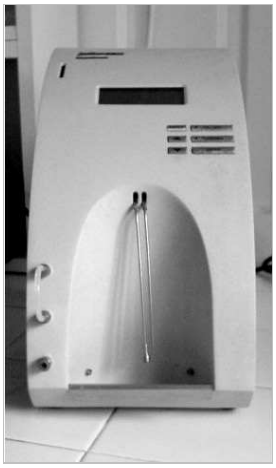
24. tabula

Tehniskie parametri (centrbēdzes sūknis Г2-ОПД)

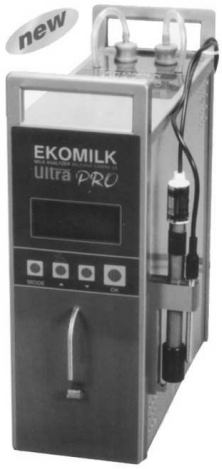
Dati	Parametri
Ražība $m^{-3} \cdot min$	25
Spiediens, MPa	0,32
Ieplūdes un izplūdes caurules diametrs, mm	50
Jauda, kW	5,5
Gabarītizmēri, mm	825x365x690

Piena plūsmas skaitītāja CMZ-2P īss apraksts un darbības princips.

Izmantošana. Piena plūsmas skaitītāju paredzēts izmantot piena nepārtrauktas plūsmas uzskaitei vidējas un lielas jaudas pilnpiena pieņemšanas cehos. Raksturojums. Skaitītāja uzbūve: mērkamera, gaisa atdalītājs, filtrs, statīvs, cauruļvads, sūknis, atpakaļgaitas vārsts. Piena skaitītāju uzstāda kopā ar gaisa atdalītāju, sūkni, filtru [113].



a



b

69. att. **Automātiskie piena analizators *Scope Electric – Julie C8* (a) un *EKOMILK-ULTRA PRO* (b)**

Piena skaitītājā ar sūkni pienu pa cauruļvadu ievada filtrā, no kura piens nonāk gaisa atdalītājā. Tad pienu aizvada uz skaitītāja mērkameru, no kurienes tas caur atpakaļgaitas vārstu aizplūst uz tālāko pārstrādi. Filtrs vajadzīgs, lai no piena atdalītu mehāniskos piemaisījumus, kas var izmainīt skaitītāja rādījumus, vai pat sabojāt šo ierīci. Gaisa atdalītājs, galvenokārt, samazina putu daudzumu produktā, lai iegūtu precīzākus mērījumus. Pretējā gadījumā skaitītājs mērīs gan piena, gan gaisa pūslīšu daudzumu un skaitītāja rādījums būs lielāks par patieso produkta daudzumu. Visas piena plūsmas skaitītāja sastāvdaļas izgatavotas no materiāla, kas atļauts lietot pārtikas rūpniecībā.

Scope Electric – Julie C8 un EKOMILK-ULTRA PRO ir profesionālie piena analizatori, kas ir piemēroti govs piena ķīmiskā sastāva noteikšanai (69. att.).

25. tabula

Tehniskie parametri (Piena analizators Scope Electric – Julie C8)

Nosakāmākie rādītāji	Mērīšanas intervāls	Precizitāte
Tauki. %	0,01 līdz 25,00	± 0,03
Sausās beztauku vielas, %	3,00 līdz 15,00	± 0,08
Olbaltumvielas, %	2,00 līdz 7,00	± 0,06
Laktoze, %	0,01 līdz 6,00	± 0,07
Sasalšanas punkts, °C	0 līdz -1	± 0,005

6.6. Piena pieņemšanas un uzskaites automatizācija

26. tabula

Tehniskie parametri (Piena plūsmas skaitītājs CMZ)

Dati	Parametri
Min ražīgums, $l \cdot h^{-1}$	2000
Max ražīgums, $l \cdot h^{-1}$	40000
Spiediens, kPa	400
Pieļaujamā kļūda, %	0.5
Ieplūdes un izplūdes caurules diametrs, mm	65
Minimālais piena daudzums, l	300

a

b

70. att. **Piena plūsmas skaitītājs CMZ – 2P (a) un piena plūsmas skaitītājs 10 000 $l \cdot h^{-1}$ (b)**

TP AVS pielietojums. Automatizēta piena pieņemšanas sistēma nodrošina automatizētu kontroli un vadību, sekojot līdzi piena pieņemšanas automatizētajam procesam. Iekārtas izvietojums un sistēmas vadība. Sistēmas kopskats parādīts 81. attēlā. Vadības sistēma izkārtota līdzsvarotā hierarhiskā shēmā. Augšējā līmenī atrodas serveris. TP AVS (АСУТП) uz lokālās šinas izvietotas operatoru pultis. Zem vadības operatora-pieņemšanas pults strādā ražošanas programmas kontrolleris [113].

Kontrolleris kontrolē diskrētā moduļu un analoģiskā ieejas/izejas, pie kurām pieslēgti analizējošie sensori: temperatūras, piena daudzuma rādītājs, gaisa atdalītājs u.c.un strādājošie mehānismi: pneimatiskie vārsti, sūkņi, piena dzesēšanas iekārta, CIP mazgāšana.

Strādājošo iekārtu skaitu un izpildāmo mehānismu darbību nosaka piena pieņemšanas tehnoloģiskā shēma. Pultis, ko lieto citi: laboratorija, tehnologs, galvenais mehāniķis ļauj kontrolēt automatizēto procesu darba gaitā, kvalitātes rādītājus, darbojošos mehānismus, kā arī ļauj saglabāt automatizētās operācijas arhīvā.

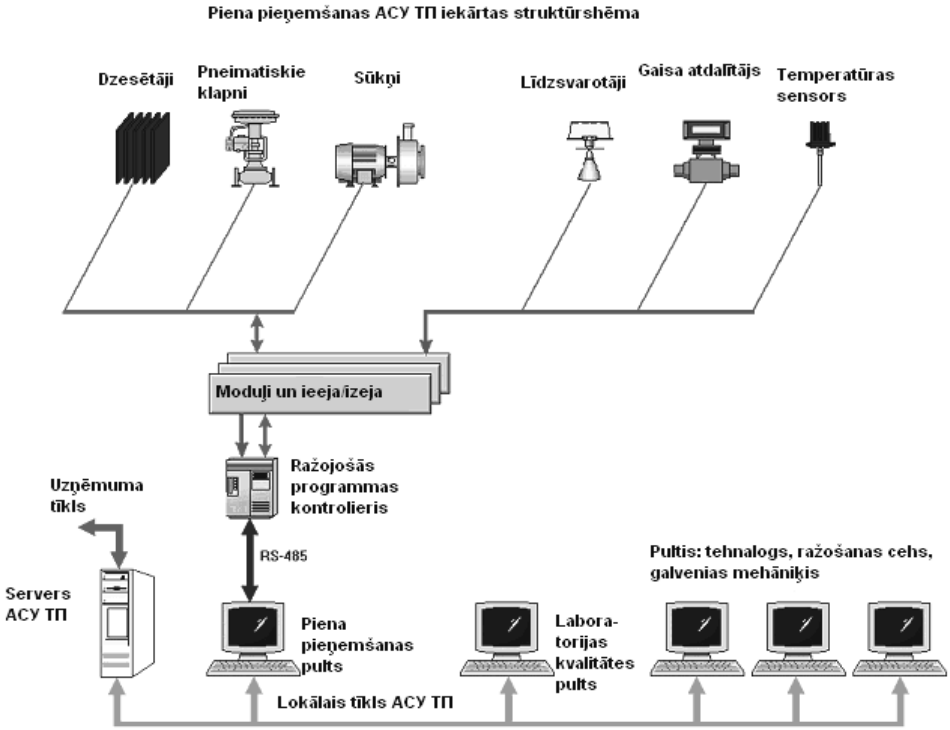
71. att. **Piena uzglabāšanas tvertne OMB - 10**

27. tabula

Tehniskie parametri (Piena uzglabāšanas tvertne OMB – 10)

Dati	Parametri
Tilpums, m^3	10
Ģeometriskais novietojums	Vertikāls
Gabarītizmēri, mm	3200x3100x4200

Piena pieņemšanas un uzskaites automatizācija. Automatizēta piena pieņemšanas sistēma nodrošina automatizētu kontroli un vadību, sekojot līdzi piena pieņemšanas tehnoloģiskajam procesam [113]. Vadības sistēmas struktūra parādīta 72. attēlā. Vadības sistēma izkārtota līdzsvarotā hierarhiskā shēmā. Augšējā līmenī atrodas serveris. TP AVS uz lokālās šinas izvietotas operatoru pultis.



72. att. **Piena pieņemšanas un uzskaites automatizētās sistēmas strukturālā shēma**

Kontrolleris kontrolē diskrēto moduļu un analoģiskā ieejas/izejas, pie kurām pieslēgti analizējošie sensori: temperatūras, piena daudzuma rādītājs, gaisa atdalītājs u.c.un strādājošie mehānismi: pneimatiskie vārsti, sūkņi, piena dzesēšanas iekārta, CIP mazgāšana . Strādājošo iekārtu skaitu un izpildāmo mehānismu darbību nosaka piena pieņemšanas tehnoloģiskā shēma. Vadības pultis, ko lieto citi: laboratorija, tehnologs, galvenais mehāniķis kontrolē tehnoloģisko procesu darba gaitā, kvalitātes rādītājus, darbojošos mehānismus, kā arī ļauj saglabāt tehnoloģiskās operācijas arhīvā.

Programmas nodrošinājums. SCADA-sistēma darbojas uz bāzes paketes programmas *„Factory Suite-A2”* korporācija *„Wonderware”*. Pakete strādā ar operētājsistēmu *„Windows”*. Instrumentālās sistēmas pulšu pamatā izmanto programmas *„In Touch”* paketi.

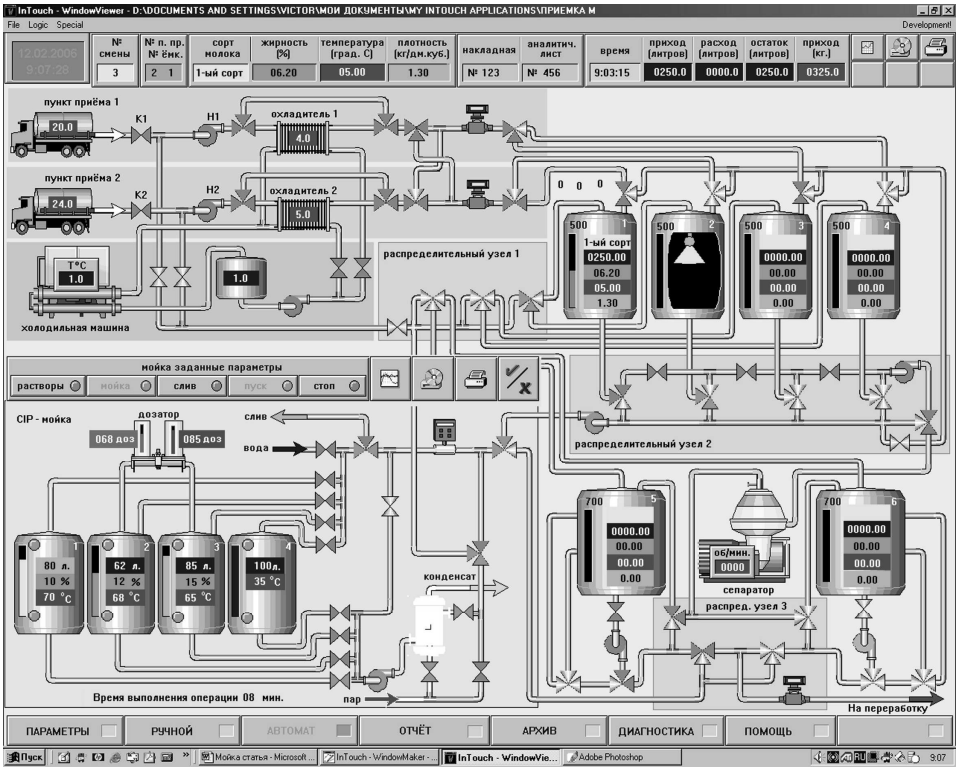
Kontrollera programmēšana izpildās MEK 113.3 standartā, programmēšanas valoda - *„Good-Help”*.

Vadības sistēma atļauj:

- realizēt piena pieņemšanu no pieņemšanas punktiem un automatizētām piena uzglabāšanas tvertnē;.

- vadības pogu ieslēgt/izslēgt gan rokas, gan automatizētajā režīmā (indicēšanas režīmā reālā laikā vadības pogu un sūkņa stāvoklis);
- indicēšanas režīmā reālajā laikā pieņemamā piena daudzums, temperatūra ieejā un izejā piena dzesētājā, piena daudzuma tvertnēs;.
- nosaka piena kvalitātes rādītājus: temperatūru, taukus, OBV, sasalšanas punktu, blīvumu u.c.(iekārta atļauj papildināt nosakāmos kvalitātes rādītājus);.
- ļauj mainīt dzesēšanas temperatūru: kā rokas režīmā, tā arī automātiskajā;
- ļauj mazgāt iekārtu rokas un automātiskajā režīmā;
- noformē , izdrukā, arhivē piena pieņemšanas atskaites;
- arhivē avārijas ziņojumus, elektroniskā veidā ievada avārijas žurnālā: iekārtu remontu, tehnisko apkopi, kas ļauj kontrolēt iekārtas darbību;
- arhivē tehnoloģiskā procesa grafiskā veidā;
- noformē, arhivē maiņas vai diennakts atskaites par pieņemto pienu, analīžu rezultātus;
- testē kvalitātes rādītājus, darbojošos mehānismus, programmas nodrošinājumu.

Vadības sistēma atļauj iekārtu papildinājumu, kā arī atļauj papildināt izpildāmās funkcijas.



73. att. **Piena pieņemšanas automatizētā procesa monitoringa displejs**

TP AVS izstrādāta izkārtojuma-modeļa sistēmas veidā. Vadības pults uzstādāma operatoru telpā. Kontrolleris, barošanas bloks, vadības pogas ieeja/izeja, elektroniski automāti releja izvietojums skapī ar aizsardzības pakāpi līdz IP54 nepārtrauktā tuvumā no iekārtas vadības. Visu elementu nostiprināšana skapī notiek uz DIN plāksnītēm, kas ļauj maksimāli samazināt apmaināmā elementa montāža-demontāža laiku. Kabeļu izvilkšana notiek caurulēs vai lokanās metālpiedurknēs.

6.7. Aukstumražīguma noteikšanas aprēķins

Šķidruma atdzesēšana plūsmā:

$$Q_0 = \frac{G_{Vж} \times C_{Pж.cp} \times \rho_{ж.cp}(T_{Нж} - T_{Кж})}{3600},$$

kur Q_0 – nepieciešamais aukstumražīgums, kW

$G_{Vж}$ – dzesējamā šķidruma daudzums, m^3*h^{-1}

$\rho_ж$ – dzesējamā šķidruma blīvums, $kg*m^{-3}$

$T_{Нж}$ –Dzesējošā šķidruma sākuma temperatūra, ^oC

$T_{Кж}$ –dzesējošā šķidruma beigu temperatūra, ^oC

$C_{Pж.\ cp}$ –vidējā siltumietilpība dzesējošam šķīdumam, $kJ\times kg'K^{-1}$, nosakās pie $T_{ж.cp}$

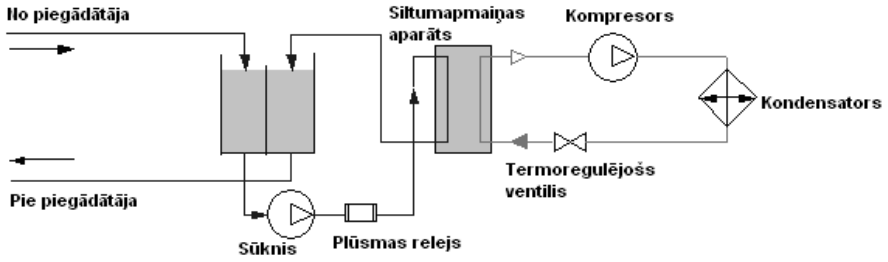
kur $T_{ж.cp} = \frac{T_{Н.ж} + T_{К.ж}}{2}$.

Šķīduma dzesēšana tilpumā:

$$Q_0 = \frac{V_ж \times C_{Pж.cp} \times \rho_{ж.cp}(T_{Нж} - T_{Кж})}{3600 \times \tau},$$

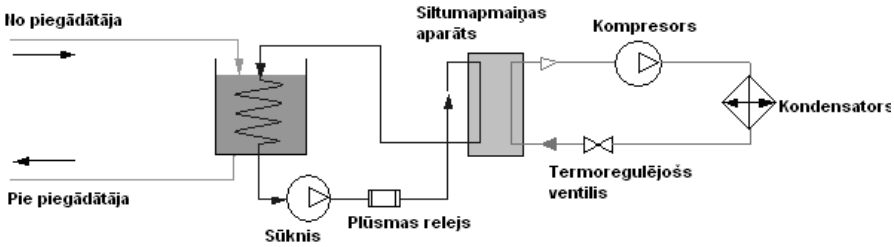
kur $V_ж$ – dzesējošā šķīduma tilpums, m^3

τ - uzdotais dzesēšanas laiks, h



74. att. **Šķīduma dzesēšana, izmantojot uzglabāšanas tvertni**

Izmanto gadījumos, ja sistēmai pieslēgušies vairāki piegādātāji.



75. att. **Šķīduma dzesēšana, izmantojot pārtrauktas darbības aukstumnesēju atvērta tipa otrreizēja siltumapmaiņas aparātā**

Pielieto ledus ūdens atdzesēšanai. Iegūto ledus ūdeni sistēmā drīkst izmantot aukstuma akumulatora režīmā. Aukstums akumulējas ledus izskatā siltumapmaiņas virsmas atvērtajā siltumapmaiņas aparātā.

76. att. Piena pieņemšanas, uzskaites un dozēšanas automatizācijas ierīce
(avots: G.Moskvins, 2008)

6.8. Šķīduma – dzesētāja izvēles aprēķins

Dzesētāja izvēle notiek pēc ražotāja kataloga. Lai veiktu pareizo izvēli jāzina:

- nepieciešamais aukstumražīgums, kW;
- aukstumnesēja temperatūra ieejot sistēmā, ^{o}C;
- aukstumnesēja temperatūra izejot no sistēmas, ^{o}C;
- aukstumnesējs (ūdens, sāls šķīdums, u.c.).

Ja siltuma slodze sistēmā vai aukstumnesēja temperatūra izmainās lielos apjomos, tad dzesētājs jākomplektē kopā ar šķidruma sekciju uz iesūkšanas maģistrāles.

Dzesētājs uzstādāms telpā, kur temperatūra iekšienē samazinās mazāk par +5 ^{o}C, jākomplektē kopā ar papildinājumu: uzsildāmais kartera kompresors.

Siltuma kondensācijas novadi, t.i. pielietojot ūdens kondensatoru vai gaisa dzesētāju. Gaisa dzesēšanas kondensatoru var uzstādīt kā telpas iekšienē tā arī ārpusē. Ja telpa, kur novietots gaisa aukstuma kondensators tā iekšējais tilpums ir :

$$V \geq 17 \cdot Q_0 ,$$

kur Q_0 – aukstumražīgums, kW,
V – telpas platība, m^3.

Piespiedu gaisa ventilācija telpā nav nepieciešama. Telpai $V \leq 17 \cdot Q_0$ nepieciešama piespiedu gaisa ventilācija, nemazāk 800 $m^3 * h^{-1}$ uz 1 kW aukstumražīguma.

Ja gaisa aukstuma kondensators uzstādīts neapkurināmā telpā vai ārpusē, tad dzesētājs jākomplektē ar kondensācijas spiediena sistēmas regulētāju.

Kondensatorus ūdens dzesēšanai izmanto lielos ražošanas apjomos, vai gadījumos, kad gaisa atdzesēšanas kondensatorus nevar izmantot. Sistēmā ar ūdens kondensatora dzesēšanu uzstādās graduēts ūdens saldētājs, kurā siltuma kondensāts no ūdens aiziet apkārtējā vidē.

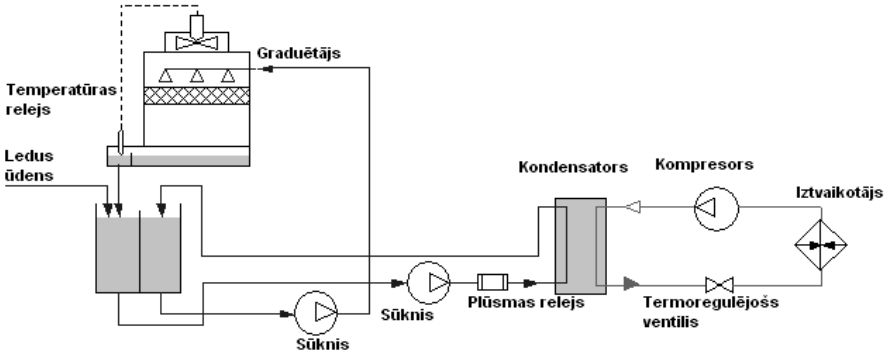
Pielieto nepārtrauktā ledus ūdens izmatošanā.

Izvēloties dzesētāja aukstumražīgumu pēdējam jābūt lielākam vai vienādam ar aprēķināto aukstumražīgumu.

Parametru nozīme, norādījumi katalogā var nesakrist ar vēlamajiem parametriem, tāpēc aukstumražīguma iekārtas uzstādīšanu var noteikt izejot no noteikumiem:

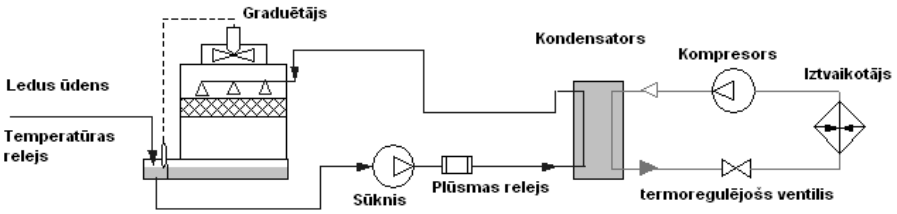
- Temperatūras pazeminināšanās izejošā aukstumnesēja no iztvaikotāja uz 1 ^oC samazina vārīšanās temperatūru par ≈ 1 ^oC aukstumražīgums pazeminās 3 – 4%.

Palielinot gaisa temperatūru ieejā gaisa atdzesēšanas kondensators vai ūdens ieejā kondensatorā, dzesējamā ūdens temperatūra palielinās par 1 ^oC, kas palielina kondensācijas aukstuma aģenta temperatūru par ≈ 1 ^oC, kas pazemina auksturažīgumu par 1-1,5 % un palielina elektroenerģijas patēriņu par 3 %.



77. att. **Dubultkontūras shēma kondensācijas siltuma aizvadīšanai apkārtējā vidē no kondensatora dzesējot ar ūdeni.**

Pielieto gadījumos, kad izejviela ir piegādāta dažādos laikos, kas ļauj to atdzesēt.



78. att. **Vienkontūras shēma kondensācijas siltuma aizvadīšanai apkārtējā vidē no ūdens dzesēšanas kondensatora.**

6.9. Bufertilpuma noteikšanas aprēķins

Bufertilpums nepieciešams siltuma nevienmērības izlīdzināšanai saldēšanas mašīnā, izsaucot aukstumnesēja patēriņa pazeminināšanos.

Bufertilpuma minimālais tilpums:

$$V_{\delta} = \frac{(Q_0 - Q_{0\min})\tau_p}{\rho_x \, C_{px} \, \Delta t},$$

kur $V_б$ – buferuzkrājēja minimālais tilpums, m^3;

Q_0 – aukstumražīgums aukstuma iekārtai, kW;

$Q_{0\min}$ – minimālā siltuma slodze uz aukstumiekārtu, kW;

Δt – temperatūras diferenciālis (aukstumiekārtas iestādīšana);

$\Delta t = t_{\text{iekārtu ieslēdzot}} - t_{\text{iekārtu izslēdzot}}$;

τ_p- aukstumiekārtas darba laiks līdz atslēgšanai, [s]

$$\tau_p = \frac{Q_{0\min} \cdot \tau}{Q_0},$$

τ- minimālais laiks starp divām aukstumiekārtas ieslēgšanas reizēm, [s]

$$\tau = \tau_p + \tau_{ct} = \frac{3600}{n}$$

τ_{ct}- aukstumiekārtas atslēgšanas laiks, [s].

τ nosaka no noteikumiem cik maksimāli pieļaujams ieslēgt aukstumiekārtu vienas stundas laikā. Ieslēgšanās skaita daudzums samazinās aukstumiekārtas darbības laiku.

- Mazās aukstumiekārtas vienas stundas laikā drīkst ieslēgt līdz 10 reizēm.
- Vidējās aukstumiekārtas 1 stundas laikā drīkst ieslēgt līdz 6 reizēm.

Izmantojot iekārtas plūsmas palaišanas kompresoru, maksimāli samazina ieslēgšanās skaitu ≈ 2 reizes.

Gadījumos kad, buferuzkrājēju nepieciešams izmantot kā aukstuma akumulatoru kompensējot nepietiekamu iekārtas auksturažīgumu nelielos laika posmos. Šādā gadījumā buferukrājēja tilpums tiek noteikts:

$$V_{\delta} = \frac{(Q - Q_0)\tau}{\rho_x \, C_{px} \, \Delta t},$$

kur $V_б$ – minimālais buferuzkrājēja tilpums, m^3;

Q_0 – vidējais aukstumražīgums aukstumiekārtas temperatūras diapazonā $t_{X\max}$ un $t_{X\min}$, kW;

Q – nepieciešamais aukstumražīgums laika posmā τ, kW.

$$\Delta t = t_{x\max} - t_{x\min},$$

kur $t_{x\,\max}$ – maksimāli pieļaujamā aukstumiekārtas temperatūra, ^oC;

$t_{x\,\min}$ – minimāli pieļaujamā aukstumiekārtas temperatūra, ^oC, parasti $\Delta t \approx 2\ ^oC$;

τ - aukstumizmantotāja darba laiks, [s].

Aukstuma laika akumulācija izsakās, atdzesējot buderuzkrājēju no sākuma temperatūras t_{xmax} līdz beigu temperatūrai t_{xmin}:

$$\tau_{atdz} = \frac{V_\delta \, \rho_x \, C_{px} \, \Delta t}{Q_0 \, 3600},$$

kur τ_{atdz} - laiks atdzesējot buferuzkrājēju, h.

6.10. Aukstumiekārtu energopatēriņa aprēķins

Darba sprieguma slodzes maksimāls pielietojums norādās aukstumiekārtas tehniskajā dokumentācijā. Pieļaujamās novirzes no nominālā sprieguma $\pm$ 10 %.

Sprieguma pārnesums noved pie lielas strāvas vienā vai visās fāzēs, kuras noved pie pārkaršanas un bojājumiem elektrodzinēju tinumā. Maksimāli pieļaujamais nesimetriskais spriegums ir 2 % apmērā.

$$\Delta V = \frac{\left|V_л - V_{л(1\text{-}2)}\right| + \left|V_л - V_{л(1\text{-}3)}\right| + \left|V_л - V_{л(2\text{-}3)}\right|}{2 \times V_л} \times 100$$

kur ΔV – sprieguma pārnesums, %;

$V_л$ – vidējais spriegums starp fāzēm 1, 2, 3;

$V_{л(1\text{-}2)}$ – spriegums starp fāzēm 1 un 2;

$V_{л(1\text{-}3)}$ – spriegums starp fāzēm 1 un 3;

$V_{л(2\text{-}3)}$ – spriegums starp fāzēm 2 un 3.

Aukstumiekārtām, strādājot uz virzuļa kompresoru bāzes, pieslēgšanas kārtība pie fāzēm nav pakļauta kontrolei, jo cirkulācijas virziens virzuļa kompresoriem nav nozīmīgs. Pieslēdzot aukstumiekārtas, kas strādā uz spirāļu bāzes, dzenskrūves kompresoriem vienmēr nepieciešams sekot līdzi fāzu maiņai. Šie kompresori nestrādā pretējā elektrodzinēja griešanas virzienā. Fāzu nomaiņas kārtību tīklā nosaka ar fazometru palīdzību.

6.11. Centrbēdzes sūkņu automatizācija

Galvenās sūkņa sastāvdaļas – darba rats ar izliektām lāpstiņām, plāksnītēm vai zobiem, kuri novietoti uz vārpstas un nekustīgs korpuss, kuram pievienota sūccaurule un spiedcaurules. Šķidrumu sūknim pievada centrā, bet no korpusa izvada pa tangenciāli pievienotu īscauruli. Darba ratam rotējot, lāpstiņas pārnes mehānisko enerģiju uz šķidrumu un tas sāk pārvietoties centrbēdzes spēka ietekmē no centra uz perifēriju un nokļūst izplūdes caurulē. Līdz ar to pie ieplūdes darba ratā rodas retinājums un šķidrums atmosfēras spiediena ietekmē pa ieplūdes cauruli pieplūst sūknim. Darba rats griežas nepārtraukti, tāpēc šķidruma padeve izplūdes caurulē ar centrbēdzes spēku ir nepārtraukta.

79. att. **Jaunākās paaudzes inteliģentās mērīšanas, uzskaites un dozēšanas ierīces "Logicor SD"**
(Avots: prof. G. Moskvina izstrādnes sūkņu automatizācijai - Eiropatenti, patenti: PCT, USA, NZ, India, UK, Germany, Hungary, Sweden, France, Bulgaria, Italy u.c.)

6.12. Centrbēdzes sūkņa spiediena aprēķins

Teorētiskais spiediens

$$H_m = \frac{u \cdot c \cdot \cos\alpha}{g},$$

kur u – apvidus ātrums, $u = \omega r$
ω - leņķa ātrums,
ωr – griešanās rādiuss,
c – šķidruma pārvietošanās ātrums,
α - leņķis starp absolūto lielumu šķidruma ātrums izejot no darba riteņa un apļa ātrums,
g – brīvā kritiena paātrinājums, $м \times s^2$

$$H_m = \frac{u^2}{g}\left(1 - \frac{\omega}{u} \cdot \cos\beta\right),$$

kur $\beta = 180^0 - \alpha$, t.i., sūkņa spiediens proporcionāls skaitļa kvadrātam strādājošā riteņa apgriezienos.
$u = \pi \times D \times n$
Patiesais spiediens

$$H = H_m \eta_г \varepsilon,$$

kur $\eta_г$ - sūkņa lietderības koeficents ($\eta_г$=0,8 – 0,95),
ε - koeficients, iedibinātais pēdējais skaitlis sūkņa plūsmā (ε = 0,6 – 0,8).
Centrbēdzes sūkņa ražīgums Q atbilst šķidruma patēriņam caur kanāliem starp darba riteņa lāpstiņām.

$$Q = b_1(\pi \cdot D_1 - \delta_z)\, c_{1r} = b_2(\pi \cdot D_2 - \delta_z) \times c_{2r}$$

kur:

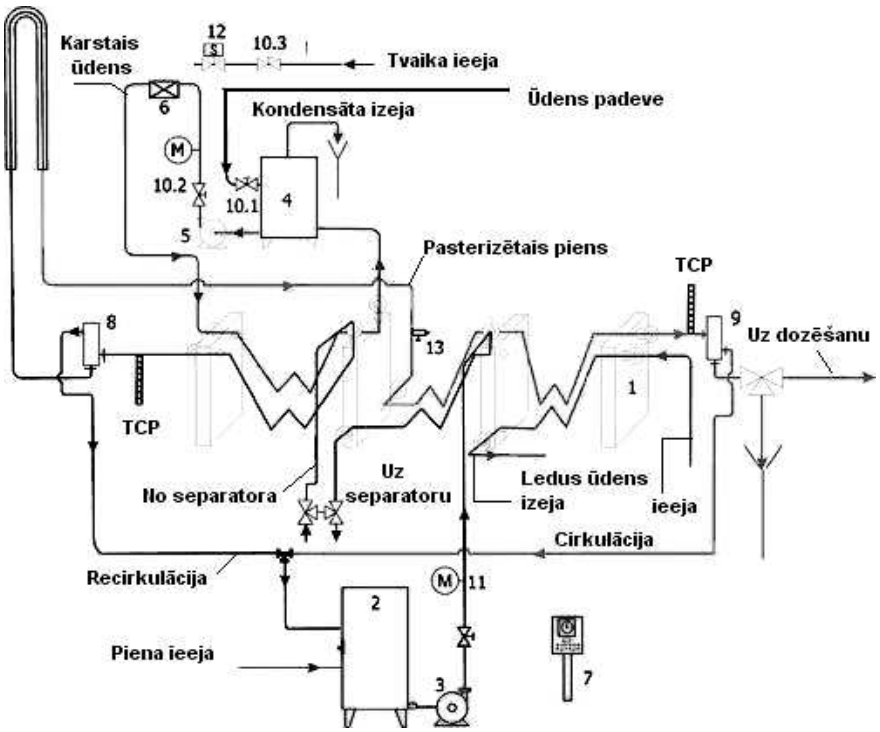
δ - lāpstiņu biezums,

b_1 b_2 – darba riteņa platums iekšējā un ārējā apvidū,

c_{1r} c_{2r} – radiāli sastādošie absolūtie ātrumi riteņa ieejā un izejā no tā (pie tam, $c_{1r} = c_1$).

6.13. Tehnoloģisko iekārtu mazgāšanas sistēmu automatizācija

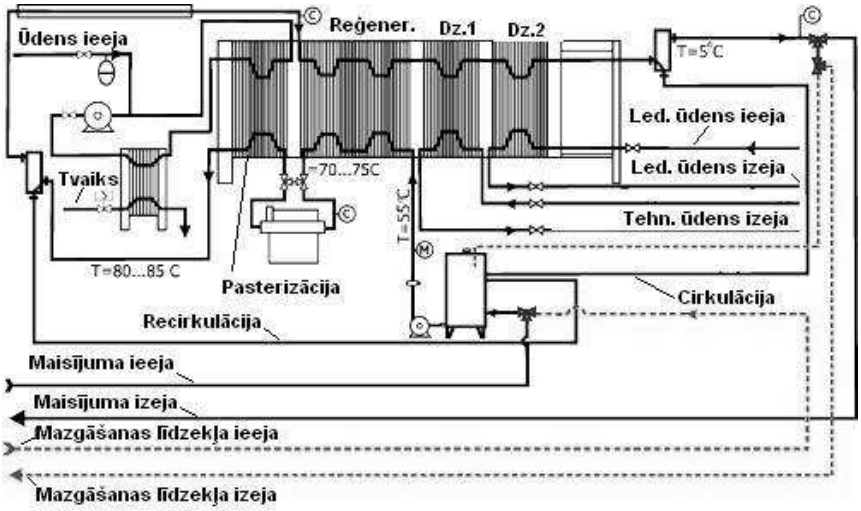
Izmantojamais kontrolleris: FESTO FC 640 un OMRON E5CK. Sistēma automātiski nodrošina tipveida ražošanas līnijas „ILLIG" mazgāšanu. Automatizētā līnija „ILLIG" paredzētā piena produktu dozēšanai, fasēšanai un produktu padevei. Sistēma izmantojama arī piena pieņemšanas punkta cauruļu automātiskajai mazgāšanai. Automātiskās mazgāšanas sistēma ir adaptējama arī citiem analoģiskiem uzdevumiem.



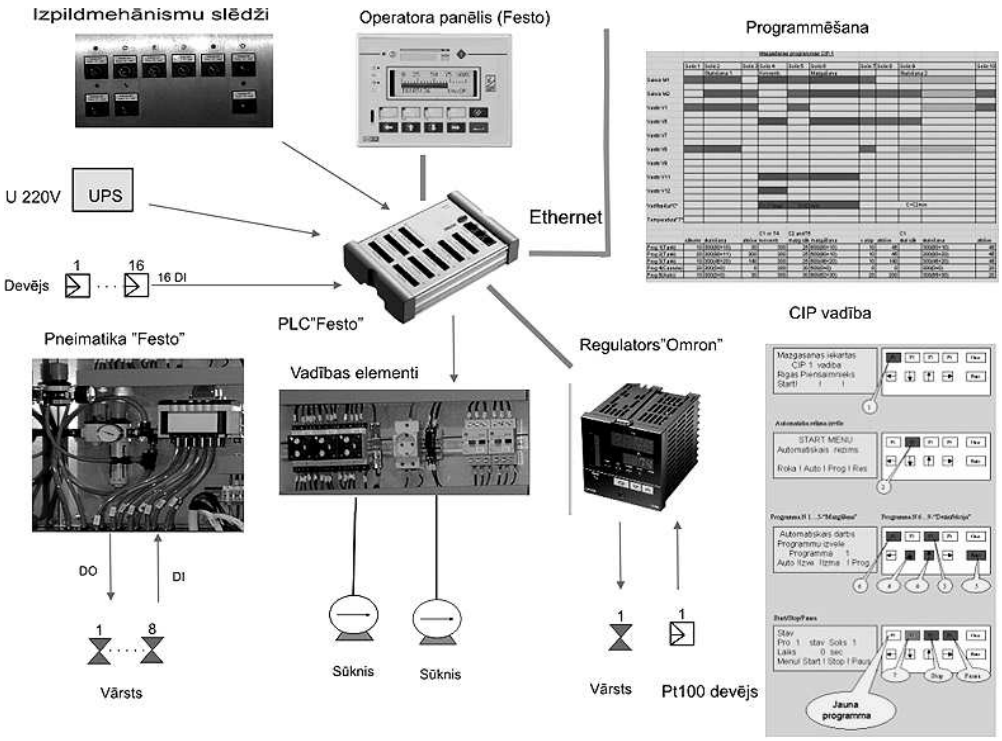
80. att. **Piena pārstrādes un iekārtu mazgāšanas tehnoloģijas elementu funkcionālā shēma**

Operators var izvēlēties sekojošos darba režīmus. Rokas vadība. Šajā gadījumā tiek nodrošināta jebkura izpildmehānisma ieslēgšana. To pielieto, lai pārbaudītu atsevišķu iekārtu darbību, kā arī, lai atrisinātu nestandarta situācijas. Automātiskā vadība. Šai režīmā vispirms

izvēlas nepieciešamo vadības programmu. Operators dod komandu uzsākšanai un tālāk visas operācijas notiek automātiski.



81. att. **Piena produktu pārstrādes un mazgāšanas tehnoloģiskas iekārtas funkcionālā shēma**



82. att. **Automatizētā mazgāšanas sistēma piena rūpniecībai**

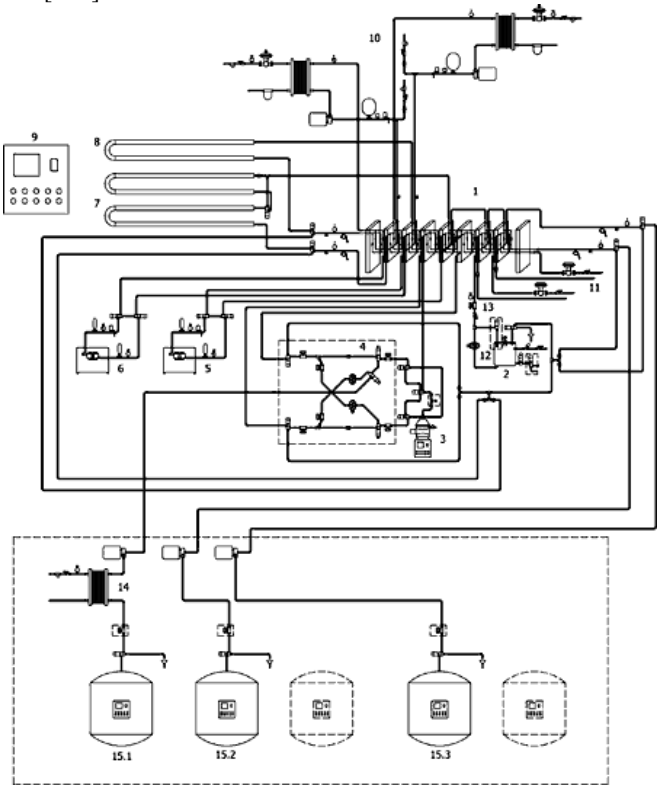
Nepieciešamības gadījumā operators var apstādināt vai pārtraukt procesu. Programmēšanas režīms. Ir pieejamas sekojošas 9 programmas (pēc pasūtītāja pieprasījuma var ieviest papildus programmas, kuras var koriģēt atbilstoši procesa vajadzībām: „ILLIG" mazgāšana ar fosfātu (90 °C); „ILLIG" mazgāšana (40 °C); „ILLIG" mazgāšana ar skābi un sārmu (70 °C) ; „ILLIG" dezinfekcija (95 °C); Līnijas mazgāšana r fosfātu (90°C); Līnijas mazgāšana ar skābi (70°C); Līnijas aukstā dezinfekcija; Līnijas karstā dezinfekcija (90°C). Līnijas dezinfekcija ar sārmu (70 °C). Servisa režīms. Automātiskās vadības pārbaudes iespēja.

Dotā sistēma paredz trauksmes un bloķēšanas signālu izdošanu sekojošos gadījumos:

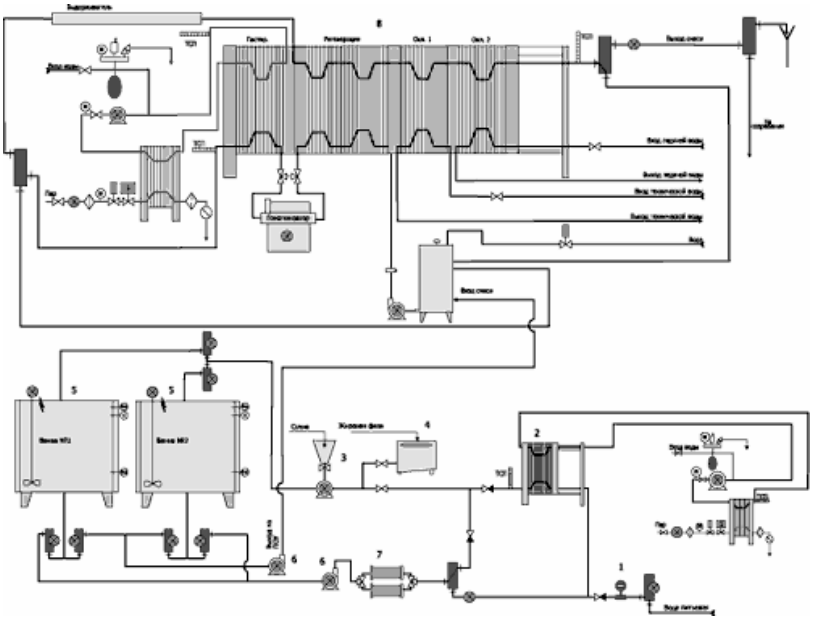
- nav nostrādājis atbilstošais motors vai sūknis;
- motoru pārslodze;
- līmeņu devēju nostrādāšanas neatbilstošā secība;
- netiek nodrošinātas nepieciešamās temperatūras.

Sistēma var tikt viegli adoptēta analoģiskiem uzdevumiem, nodrošinot sūkņa un vārsta vadību saskaņā ar vārsta vadību saskaņā ar klienta specifiskajiem nosacījumiem. Kontrolēts izveidots uz FESTO FC 640 bāzes, ūdens uzsildīšanai tiek izmantots termoregulatoros OMRON E5CK. Temperatūras režīmi un secība tiek uzdoti no operatora paneļa. Izslēdzot sistēmu, uzstādītie parametri saglabājas.

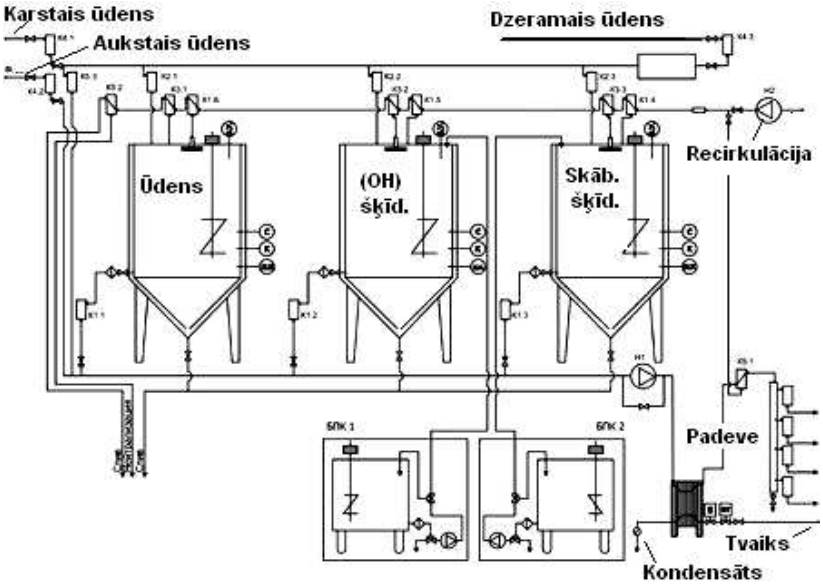
Dotās sistēmas palaišana un apstādināšana ir relatīvi vienkārša un operatoram nav vajadzības būt operatora paneļa tuvumā procesa laikā, jo trauksmes situāciju gadījumā tiek padots skaņas signāls. Sistēmas darbību var kontrolēt ar Interneta palīdzību, ko nodrošina ar *Ethernet* protokolu [113].



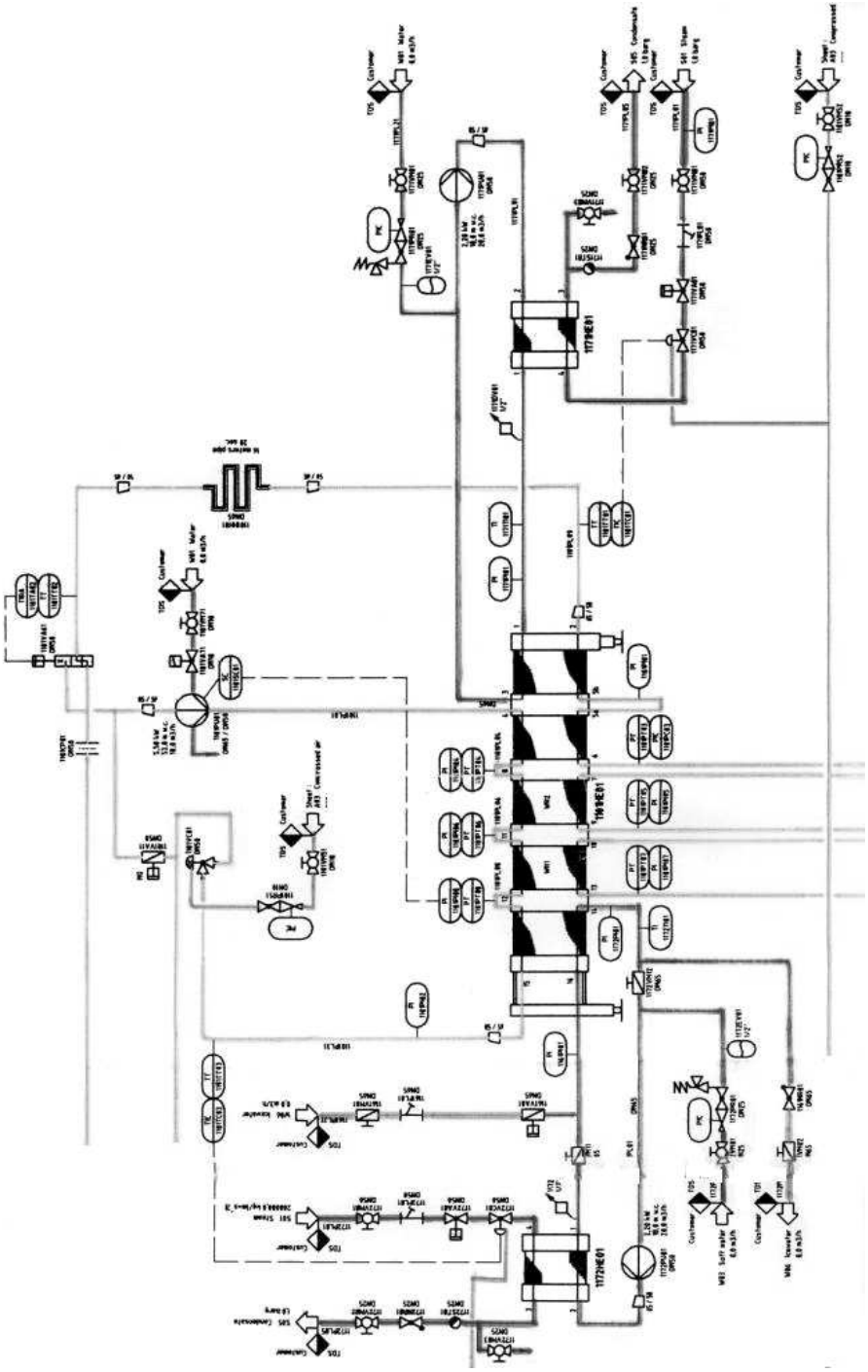
83. att. **Piena produktu ražošanas un iekārtu mazgāšanas automatizācijas tehnoloģiju vienkāršotā funkcionālā shēma**



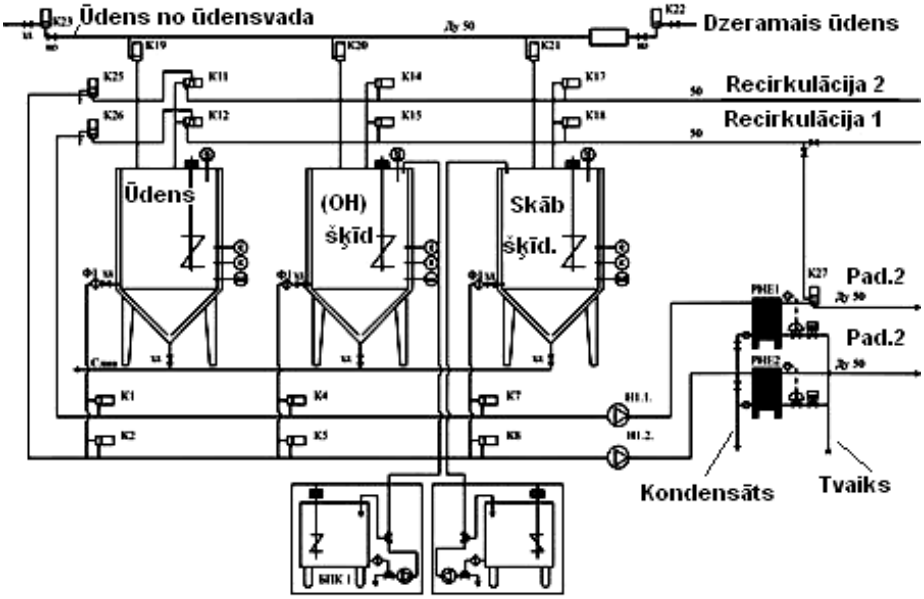
84. att. **Piena pārstrādes tehnoloģiskās iekārtas automatizācijas funkcionālā shēma**



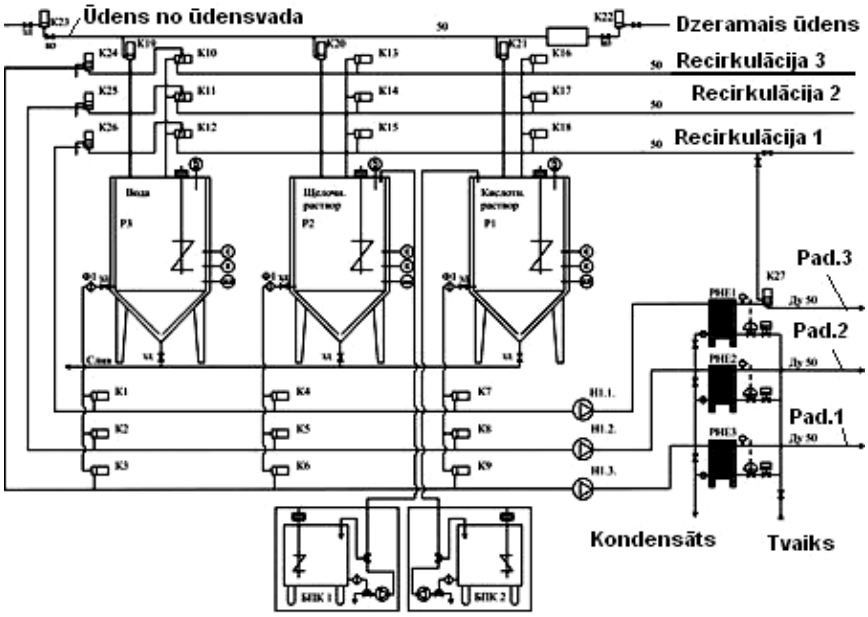
85. att. **Piena cisternu automatizētās mazgāšanas tehnoloģijas funkcionālā shēma ar vienu šķidruma recirkulācijas kontūru**



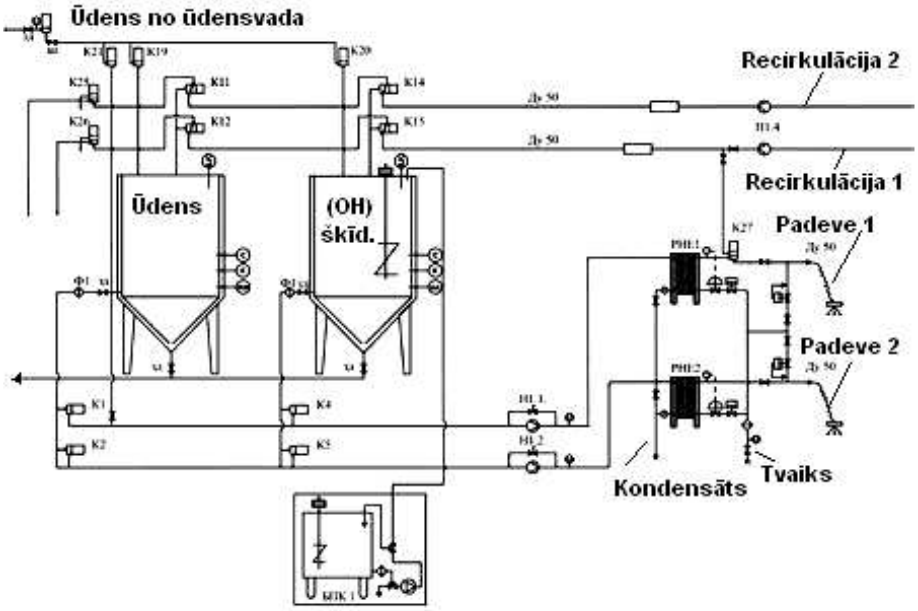
86. att. **Piena produktu ražošanas tehnoloģijas elementu apzīmējumu un funkcionālas shēmas sastādīšanas piemērs**



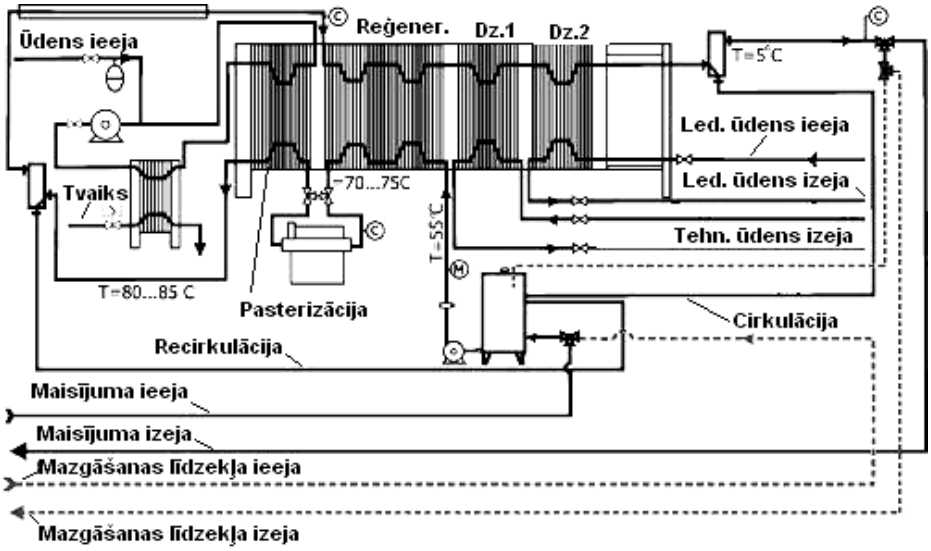
87. att. **Piena cisternu automatizētās mazgāšanas tehnoloģijas funkcionālā shēma ar divkontūru šķidruma recirkulāciju**



88. att. **Piena cisternu automatizētās mazgāšanas tehnoloģijas funkcionālā shēma ar trīskontūru šķidruma recirkulāciju**

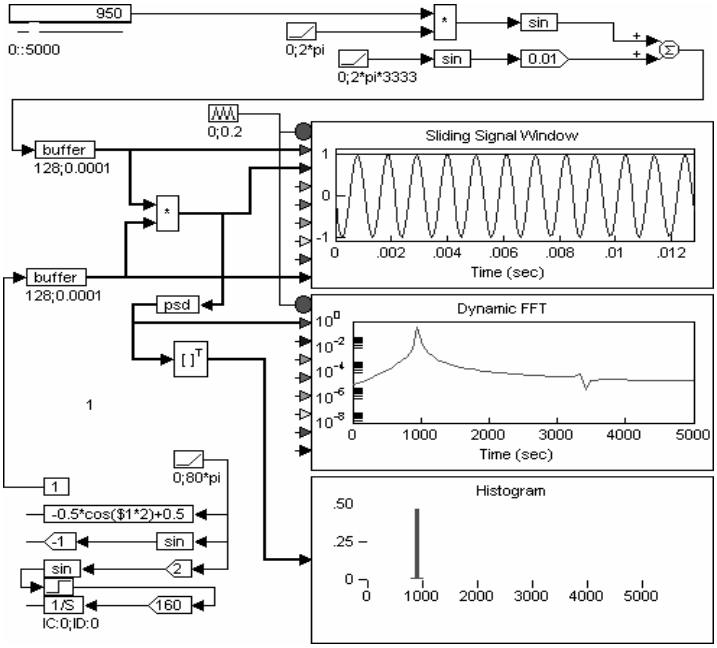


89. att. **Piena cisternu automatizētās mazgāšanas tehnoloģijas vienkāršotā funkcionālā shēma ar divkontūru šķidruma recirkulāciju**

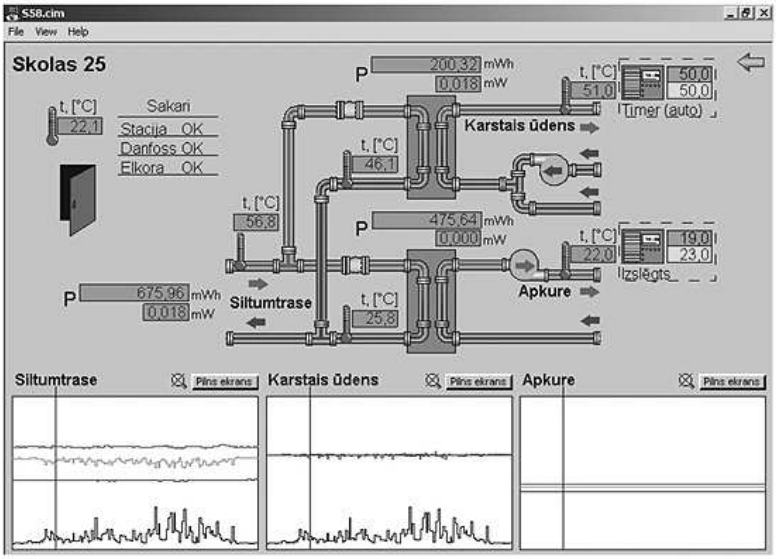


90. att. **Piena tehnoloģiskās līnijas automatizētās mazgāšanas tehnoloģijas vienkāršotā funkcionālā shēma**

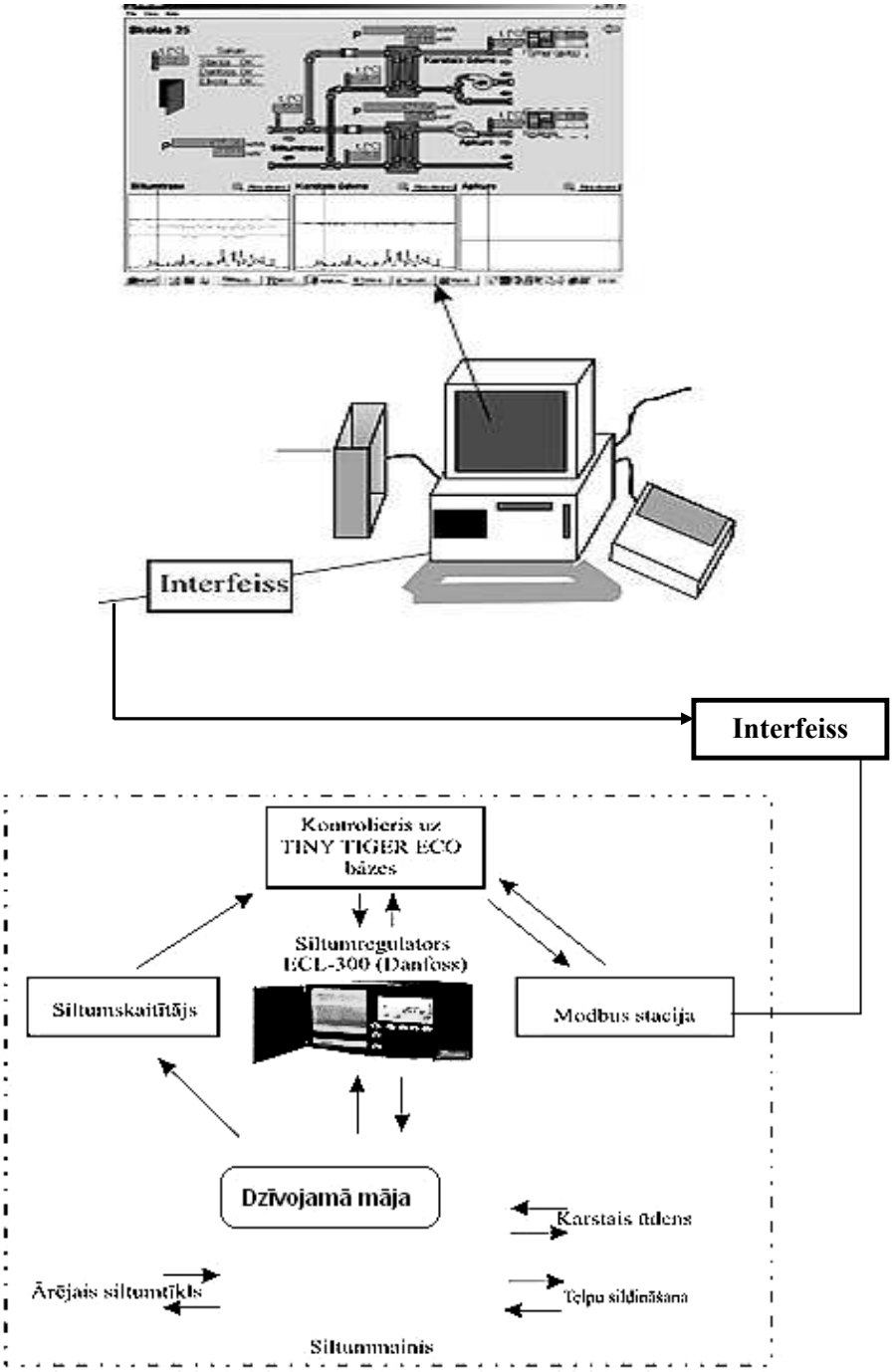
7. ENERĢIJU TAUPOŠO TEHNOLOĢIJU AUTOMATIZĀCIJA



91. att. **Automatizēta tehnoloģiska procesa modelēšana MATLAB vidē**



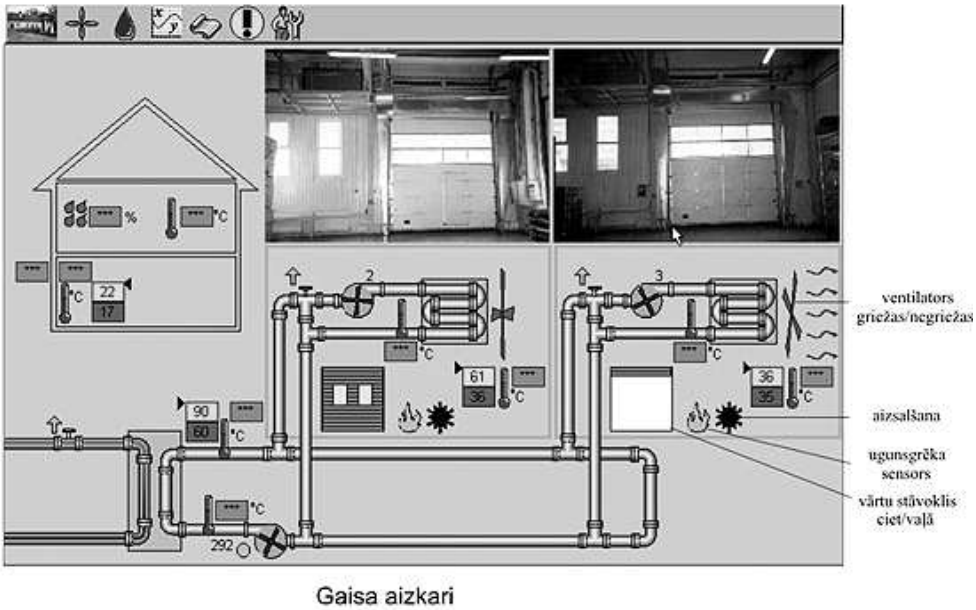
a



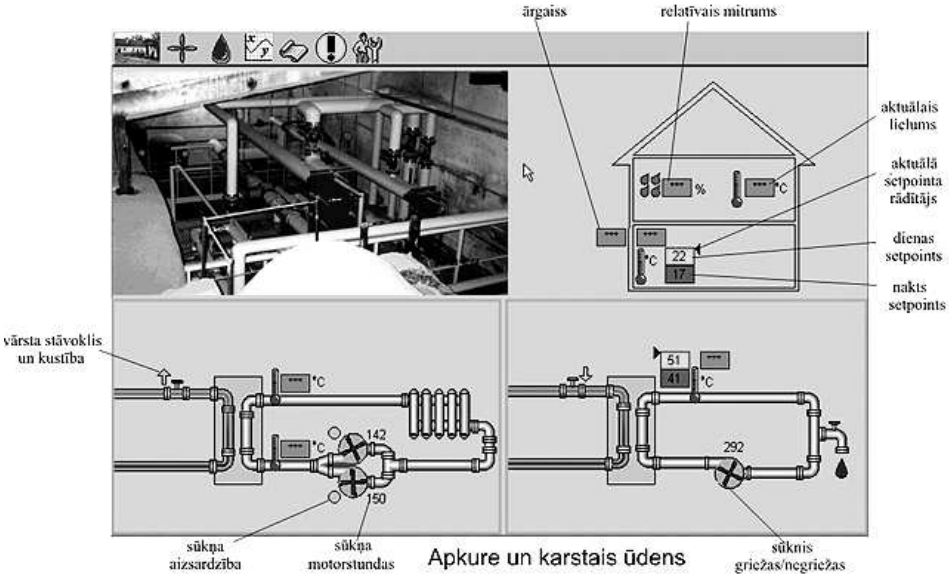
b.

92. att. **Energotaupošo tehnoloģiju automatizācija dzīvojamā mājā:**
a – procesa vizualizācijas, b – procesu vadības shēma

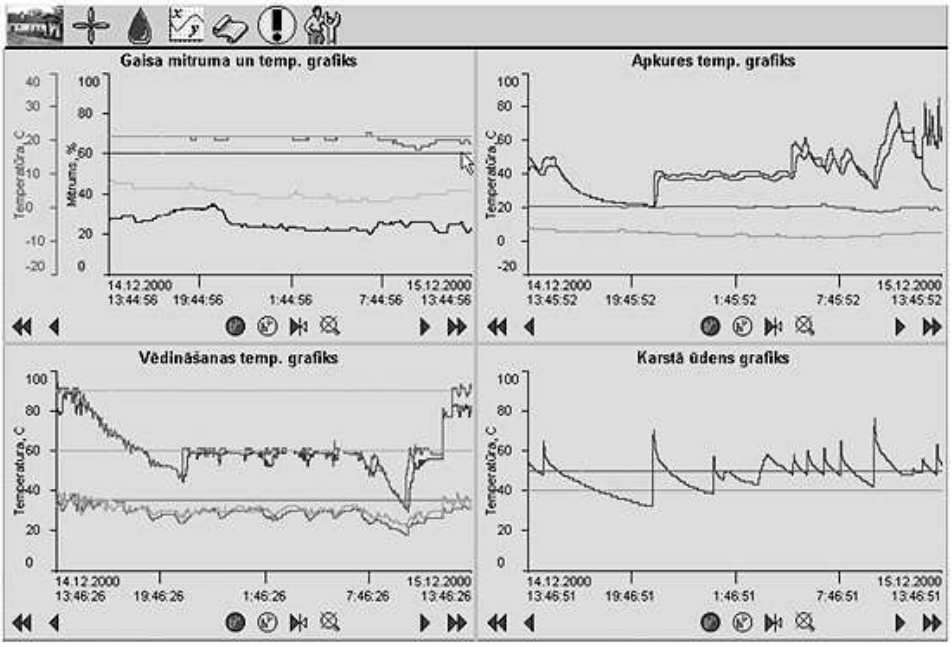
93. att. **Siltuma skaitītāji energoresursu patēriņa uzskaites automatizācijai**



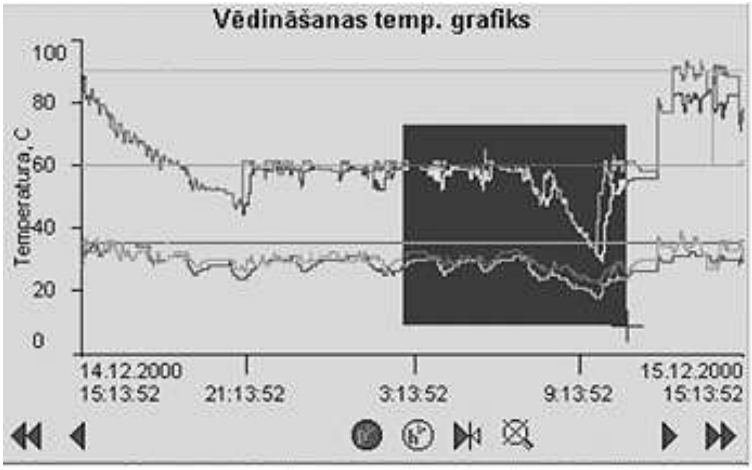
94. att. **Telpu apkures un sadzīves karstā ūdens apgādes automatizācija**



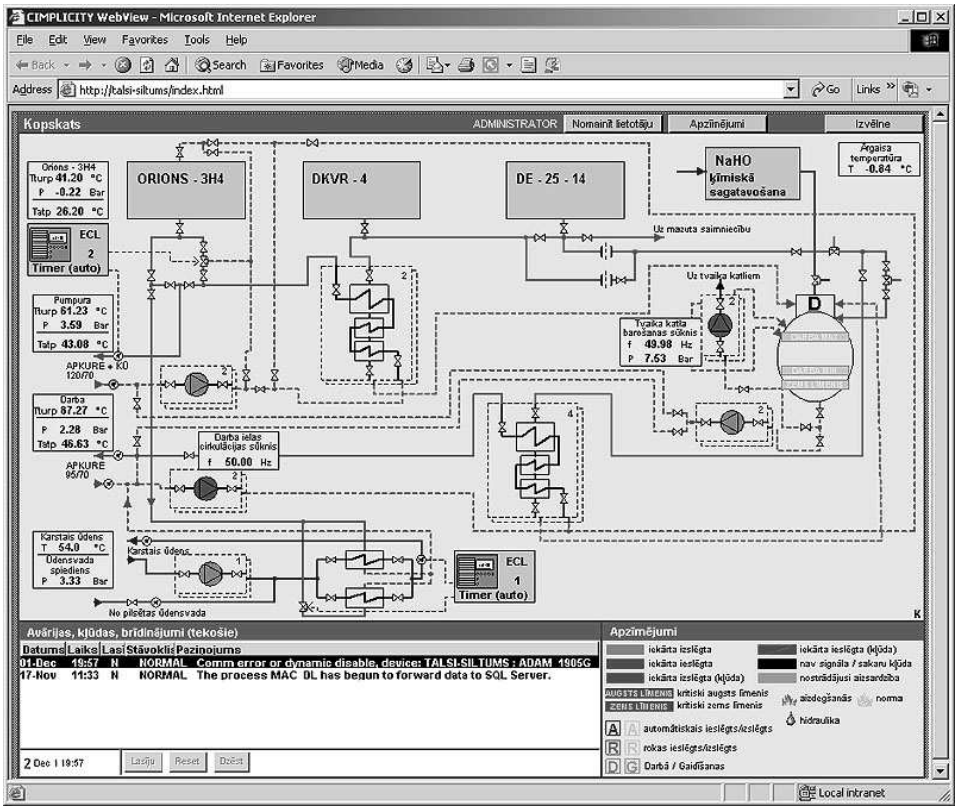
95. att. **Gaisa aizkaru, telpu apkures un sadzīves karstā ūdens apgādes automatizācija**



96. att. **Energotaupīgo tehnoloģiju automatizācija**
(gaisa mitruma, apkures temperatūras, vedināšanas un karsta ūdens temperatūras kontroles grafiskais monitorings)



97. att. **Energotaupošo tehnoloģiju automatizācija dzīvojamo māju apgādē. Automatizētās energoiekārtas darba režīma regulēšana un kontrole.**



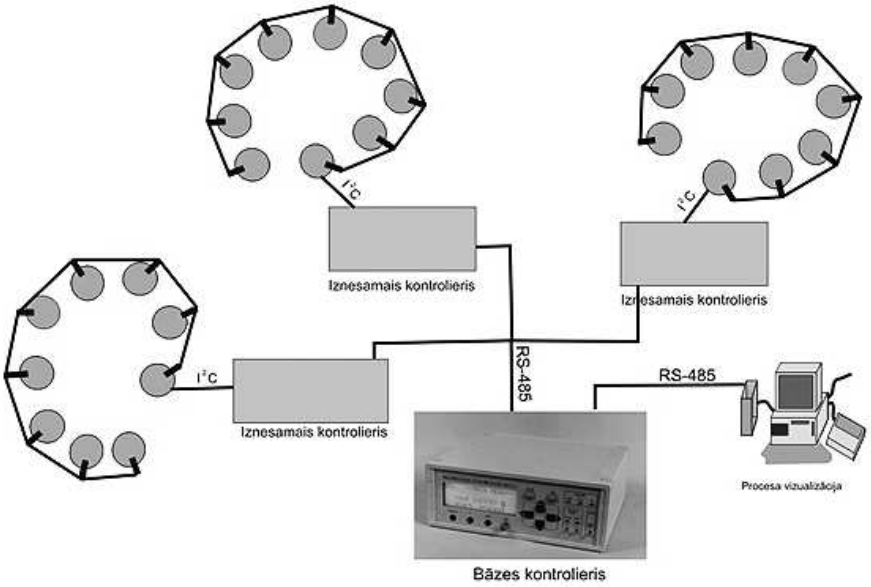
98. att. **Katlumājas automatizācijas un vizualizācijas funkcionālā shēma**

28. tabula

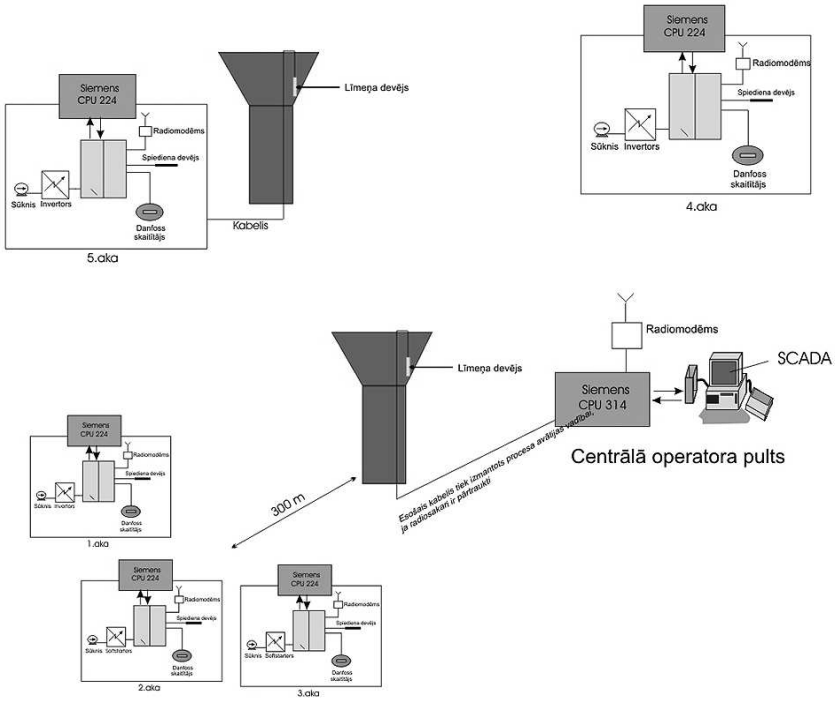
Energoiekārtu plūsmas ražīguma aprēķins

		Aprēķins k_v- vērtība k_v (m^3/h)	Ražīguma aprēķini Q (m^3/h) G (kg/h)	Spiediena krituma aprēķini Δp (bar)
Šķidrums		$k_v = Q \times \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}}$	$Q = k_v \times \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$	$\Delta p = \rho \times \left(\frac{Q}{k_v}\right)^2$
Gāze	$p_2 > \frac{p_1}{2}$ $\Delta p < \frac{p_1}{2}$	$k_v = \frac{Q_n}{514} \times \sqrt{\frac{\rho_n \times T_1}{\Delta p \times p_2}}$	$Q_n = 514 \times k_v \times \sqrt{\frac{\Delta p \times p_2}{\rho_n \times T_1}}$	$\Delta p = \frac{\rho_n \times T_1 \times Q_n^2}{p_2 \times (k_v \times 514)^2}$
	$p_2 < \frac{p_1}{2}$ $\Delta p > \frac{p_1}{2}$	$k_v = \frac{Q_n}{257 \times p_1} \times \sqrt{\rho_n \times T_1}$	$Q_n = 257 \times k_v \times p_1 \times \frac{1}{\sqrt{\rho_n \times T_1}}$	
Tvaiks	$p_2 > \frac{p_1}{2}$ $\Delta p < \frac{p_1}{2}$	$k_v = \frac{G}{31{,}6} \times \sqrt{\frac{v_2}{\Delta p}}$	$G = 31{,}6 \times k_v \times \sqrt{\frac{\Delta p}{v_2}}$	$\Delta p = \left(\frac{G}{k_v}\right)^2 \times \frac{v_2}{1000}$
	$p_2 < \frac{p_1}{2}$ $\Delta p > \frac{p_1}{2}$	$k_v = \frac{G}{31{,}6} \times \sqrt{\frac{2 \times v^*}{p_1}}$	$G = 31{,}6 \times k_v \times \sqrt{\frac{p_1}{2 \times v^*}}$	
Ūdens 5 līdz 30°C, $\rho \approx 1$ kg/dm³		$k_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}$	$Q = k_v \times \sqrt{\Delta p}$	$\Delta p = \left(\frac{Q}{k_v}\right)^2$
Gaiss 20°C, $\rho \approx 1{,}29$ kg/m³	$p_2 > \frac{p_1}{2}$ $\Delta p < \frac{p_1}{2}$	$k_v = \frac{Q_n}{\sqrt{\Delta p \times p_2} \times 26{,}4}$	$Q_n = 26{,}4 \times k_v \times \sqrt{\Delta p \times p_2}$	$\Delta p = \left(\frac{Q_n}{k_v}\right)^2 \times \frac{1}{p_2 \times 699}$
	$p_2 < \frac{p_1}{2}$ $\Delta p > \frac{p_1}{2}$	$k_v = \frac{Q_n}{p_1 \times 13{,}2}$	$Q_n = k_v \times p_1 \times 13{,}2$	

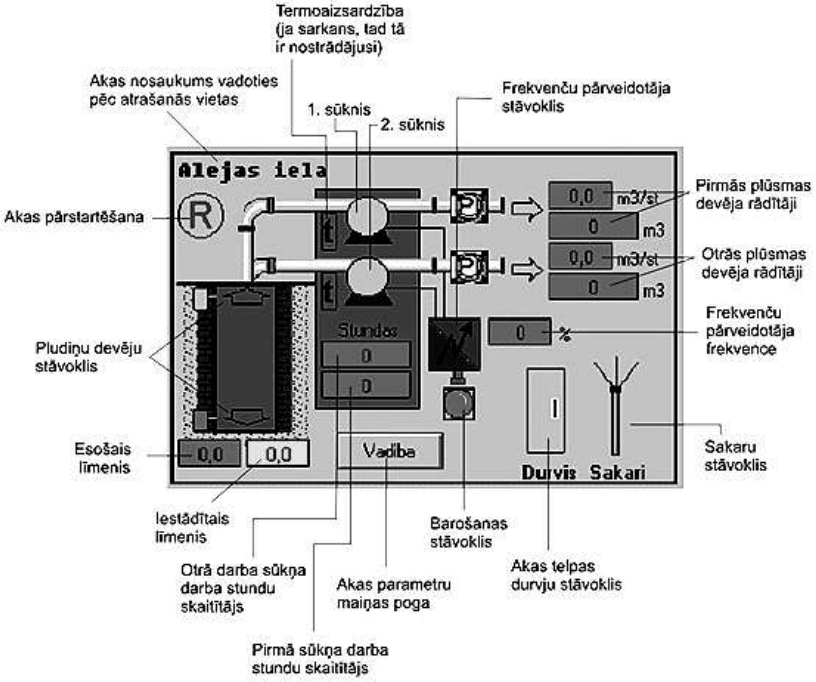
k_v	m^3/h	Ventiļa ražīgums
Q	m^3/h	Tilpuma ražīgums
Q_n	m^3_n/h	Tilpuma ražīgums (0°C 760 mm Hg)
p_1	bar(abs)	Spiediens pirms ventiļa
p_2	bar(abs)	Spiediens pēc ventiļa
Δp	bar	Spiediena kritums virs ventiļa
G	kg/h	Masas ražīgums
ρ	kg/dm^3	Vides īpatnējais svars pirms ventiļa
ρ_n	kg/m^3_n	Vides īpatsvars pie ———————— (0°C 760 mm Hg)
t_1	°C	Vides temperatūra pirms ventiļa
T_1	K	$273 + t_1$ = absolūtā temperatūra pirms ventiļa
v_2	m^3/kg	Īpatnējais apjoms, no tvaika tabulām pie P2 un t1
v^*	m^3/kg	Īpatnējais apjoms, no tvaika tabulām pie P1/2 un t1



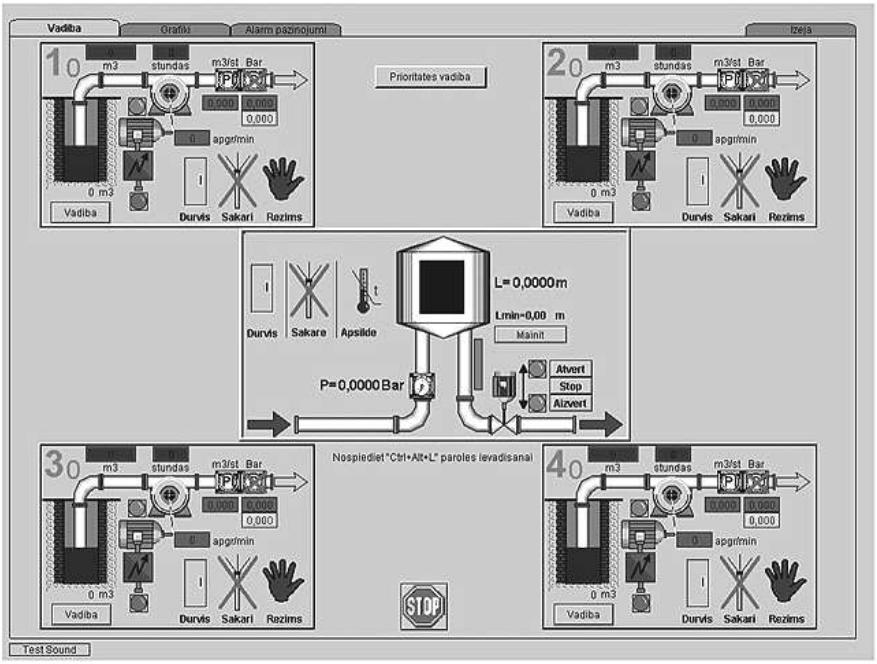
99. att. **Datorizētā temperatūras kontrole vairākos koku masas apstrādes baseinos**



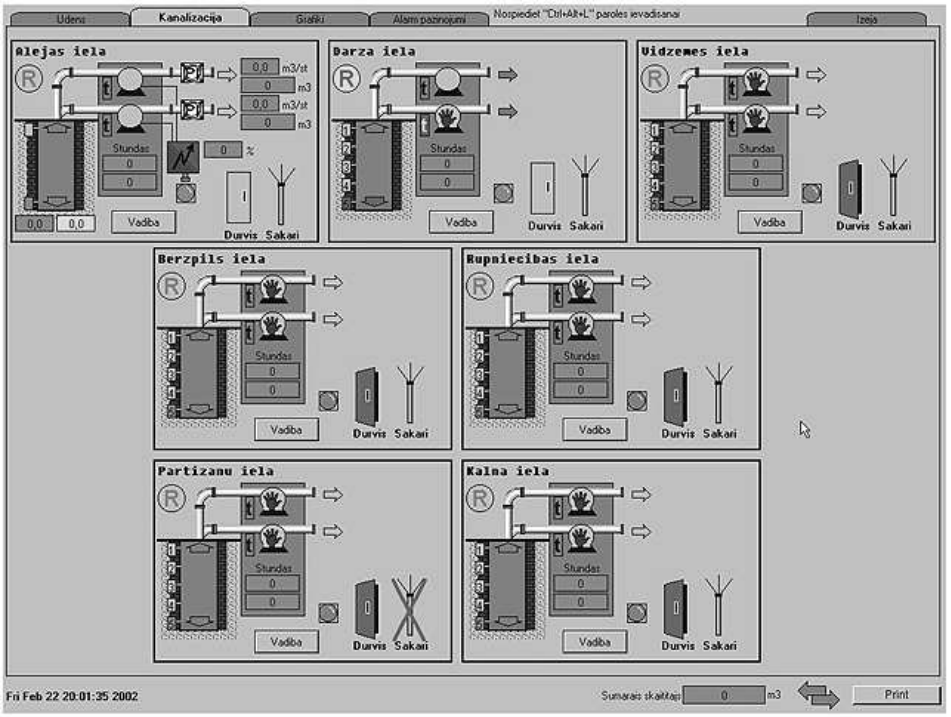
100. att. **Ūdens apgādes sistēmas datorvadības shēma**



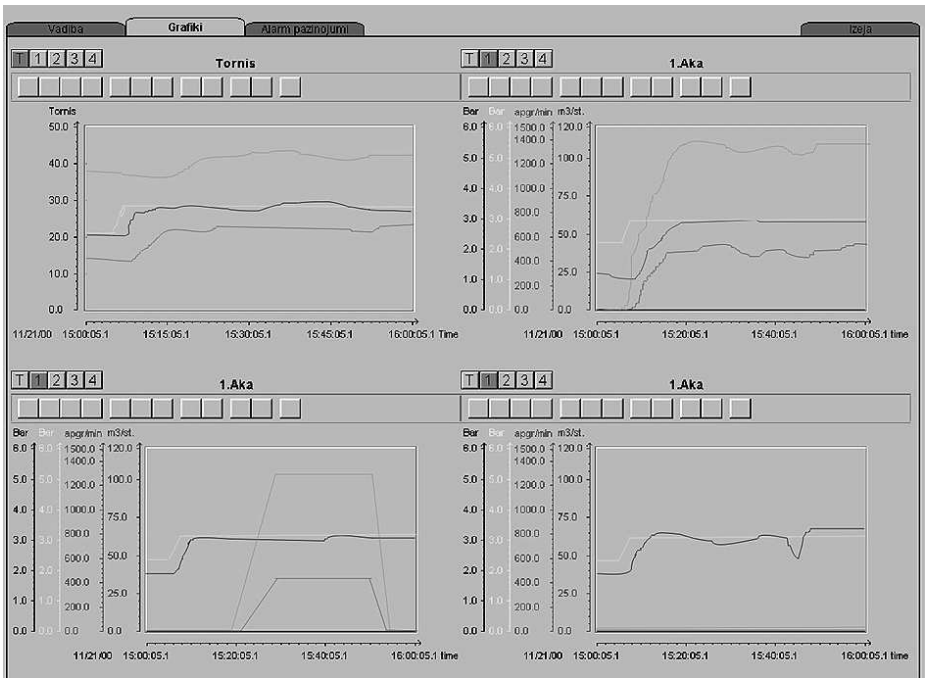
101. att. **Automatizētās ūdens apgādes sistēmas raksturojums**



102. att. **Aku automatizētās vadības un kontroles funkcionālā shēma**



103. att. **Sūkņu staciju automatizētās vadības monitorings**



104. att. **Ūdens apgādes sistēmas parametru grafiskais monitorings**

LITERATŪRA

1. А.С. Клюев и др., Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Под редакцией А.С. Клюева. 2-е издание, переработанное и дополненное, ISBN 5-283-01505-Хб М., Энергоатомиздат, 1990, 464 с.;
2. Ф.Я Изаков и др. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации технологических процессов. М, Агропромиздат. 1988, 184 с.;
3. Славин Р.М. Научные основы автоматизации производства в животноводстве и птицеводстве М, Колос, 1974, 464 с.;
4. Справочник по автоматизации сельскохозяйственного производства, под ред. Н.Л. Гирнык, Киев, Урожай. 1986, 132 с.;
5. РМ4-2-78. Системы автоматизации технологических процессов. Схемы функциональные. Методика выполнения. М.: Проектмонтажавтоматика, 1978. - 39 с.;
6. Кузьминов Г.П. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. ЛТА им. С.М.Кирова.- Л., 1974.- 89 с.;
7. Казаков А.В., Кулаков М.В., Мелюшев Ю.К. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. М.: Машиностроение, 1970.- 374 с.;
8. Попов Э.В. Экспертные системы., М, Наука, 1987, 288 с. ;
9. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев: Техника, 1975, 312 с.;
10. Микропроцессоры и микроЭВМ в системах автоматического управления. Справочник под. ред. С.Т.Хвощ , Л, Машиностроение, 1987, 640 с.;
11. Казаков И.Е., Гладков Д.И. Методы оптимизации стохастических систем. М, Наука, 1987, 304 с.;
12. Мелик-Шахназаров А.М. и др. Измерительные приборы со встроенными микропроцессорами. М, 1985, 240 с.;
13. Вероятностные методы в вычислительной технике. Под ред. Лебедева А.Н., М, 1986, 312 с.;
14. Токхайм Р. Микропроцессоры. Курс и упражнения. М, 1988, 336 с.;
15. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. М, Издательство иностранной литературы, 1962, 398 с.;
16. Гаазе-Раппопорт М.Г., Поспелов Д.А. От амебы до робота: модели поведения. М, Наука, 1987, 288 с.;
17. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб., Питер, 2000, 384 с.;
18. Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г. Нейроинтеллект от нейрона к нейрокомпьютеру. М., Наука, 1989, 240 с.;
19. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы. Под ред. Н.М. Амосова, Киев, Наукова думка, 1991, 272 с.;
20. Венда В.Ф.Системы гибридного интеллекта. М., Машиностроение, 1990, 448 с.;
21.Техническая имитация интеллекта. Учеб. пособие для втузов. В.М.Назаретов, Д.П.Ким. Под ред. И.М.Макарова, М, Высшая школа, 1986, 144 с.;
22. Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. М, Мир, 1969, 230 с.;
23. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. М, ПараГраф, 1990, 160 с.;
24. Беркинблит М.Б. Нейронные сети. М, МИРОС, 1993, 99 с.;
25. Уинстон П. Искусственный интеллект. М. Мир, 1980, 520 с.;
26. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. М, Мир, 1973, 270 с.;
27. Бенерджи Р. Теория решения задач. Подход к созданию искусственного интеллекта. М, Мир, 1972, 224 с.;
28. Хант Э. Искусственный интеллект. М, Мир, 1978, 560 с.;
29. Д.фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов,М, Мир,1971, 382 с.;
30. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М, Наука, 1969, 316 с.;
31. Автоматы и разумное поведение. Амосов Н.М., Касаткин А.М., Касаткина Л.М., Талаев С.А. Киев: Наукова думка, 1973, 261 с.;

32. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. М, Энергоатомиздат, 1991, 286 с.;
33. Минский М., Пейперт С. Персептроны. М, МИР, 1971, 261 с. ;
34. Минский М. Вычисления и автоматы. М, Мир, 1971, 366 с.;
35. Минский М. Фреймы для представления знаний. М.: Энергия, 1979, 342 с.;
36. Соколов Е.Н., Вайтнявичус Г.Г. Нейроинтеллект: от нейрона к нейрокомпьютеру. М, Наука, 1989, 283 с.;
37. Трикоз Д.В. Нейронные сети: как это делается? Компьютеры + программы, 1993, N 4(5), с. 14-20.;
38. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. Издательство: Вильямс, 2005, 864 с.;
39. Смолин Д.В. Введение в искусственный интеллект. Издательство: Физматлит, 2004, 208 с.;
40. Siliņš E. Lielo patiesību meklējumi. Izd. J.L.V., 2006, ISBN 9789984051864, 512 lpp.;
41. S.J.Russel and P. Norvig. Artificial Intelligence. A Modern Approch. Second Edition. Искусственный интеллект, Современный подход. Второе издание. М, 2006, 1408 с.;
42. Бондарев В. Н. Искусственный интеллект.Учеб. пособие // В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. Севастополь, Изд-во СевНТУ, 2002, 613 с.;
43. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. М, Радио и связь, 1989, 184 с.;
Амосов Н.М. Алгоритмы разума. Киев, Наукова думка, 1979, 223 с.;
44. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект. 2005, 176 с.;
45. Веденов А.А. Моделирование элементов мышления, М, Наука, 1988, 160 с.;
46. Lūsis K., Moskvins G.. Globalization, Science and Nanotechnology. Proceedings of the international scientific conference “Multicultural communication and the process of globalisation”, 25-26 April, 2003, LLU, Jelgava, p. 163-171.;
47. Moskvins G., Špakoviča E., Moskvins A.. Intelektuālo tehnoloģiju attīstība patērētāju aizsardzībai. Development of intelligent technologies for the consumers’ protection. 9th International scientific conference “Economic science for rural development 2008”. Jelgava, LLU EF, 2008.g. 24.-25. aprīlī , p.156-165;
48. Moskvins G. Intelektuālo sistēmu un tehnoloģiju filozofiskās problēmas. Zinātnes filozofija. LLU, Jelgava, 2002, 69.-76. lpp.;
49. Moskvins G. Pasaules aina ontoloģijas skatījumā. Haoss un antihaoss. Zinātnes filozofija. LLU, Jelgava, 2002, 17.-36. lpp.;
50. Москвин Г.А. Искусственный разум. Думающие машины. ISSN 1611- 4159, DAAD – LfL, Kunstliche Vernunft – Denkende Maschinen, Technische Universitat TUM-München, 2005, 150 с. ;
51. Москвин Г.А.Основы теории систем искусственного интеллекта-ISSN 1611- 4159, DAAD - LfL , Technische Universitat TUM-Munchen, 2005, 108 с.;
52. Moskvin G.. Whether the Artificial Life should be “reasonable"? Point of View on the Development of Artificial Intelligence. Latvia University of Agriculture. Starptautiskās zinātniskās konferences “Jaunas dimensijas sabiedrības attīstībā” raksti, LLU, SZF, Jelgava, 2006, p. 232-246.;
53. Moskvin G., Spakovica E. Intelligent Technologies for the Risk Assessing in the Chain of Agricultural Production. V starptautiskā zinātniskā konference "Inženierzinātne lauku attīstībai" 18.-19.05, LLU, Jelgava, 2006, p. 170-176.;
54. Moskvin G., Spakovica E. Intelligent Technology for the Conformity Assessment of Agricultural Products. Advances in Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering Proceedings of IETA 2005, TeNe 2005 and EIAE 2005, Elleithy K., Sobh T., Mahmood A., Iskander M., Karim M. (Eds.) 2006, XV, 489 p., Hardcover ISBN: 1-4020-5260-X, Springer Berlin -Heidelberg - New York, 2006, p.109-114.;
55. Moskvins G., Špakoviča E., Moskvins A.. Application of Markov’ Chain Models for the Conformity Assessing of Agricultural Products. Proceedings of the International Scientific conference “Economic Science for Rural Development, № 13, Jelgava, 2007, 25-26.04, 97.-105. lpp.;
56. Moskvin G., Back Propagation and Transformation Methods in Artificial Intelligence Systems. Proceedings of the 4-th International Scientific Conference, June 26-28, 2003, Rēzekne, p. 367-376.;
57. Moskvins G.. Špakoviča E.. Intelektuālās tehnoloģijas patērētāju interešu un tiesību aizsardzībai. LZP ekonomikas un juridiskās zinātnes galvenie pētījumu virzieni 2006.gadā, Nr.12, Rīga, 2007, ISBN 9984-19-923-1, ISSN 1691-290X, lpp.93-100;

58. G. Moskvins. E. Špakoviča. Intelektuālās tehnoloģijas patērētāju interešu un tiesību aizsardzībai. LZP ekonomikas un juridiskās zinātnes galvenie pētījumu virzieni 2006.gadā, Nr.12, Rīga, 2007, ISBN 9984-19-923-1, ISSN 1691-290X, lpp.93-100;
59. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proc. Natl. Acad. Sci, 1984, vol. 9, p. 147-169.;
60. Kuzewski Robert M., Myers Michael H., Grawford William J. Exploration of fourword error propagation as self organization structure. IEEE Ist. Int. Conf. Neural Networks, San Diego, Calif., June 21-24, 1987, vol. 2, San Diego, Calif., 1987, p. 89-95.;
61. Rosenblatt F. Principles of neurodynamics. Spartan., Washington, D.C., 1962, pp. 435-461.;
62. Rumelhart B.E., Minton G.E., Williams R.J. Learning representations by back propagating error. Wature, 1986, vol. 323, p. 1016-1028.;
63. Takefuji D.Y. A new model of neural networks for error correction. Proc. 9th Annu Conf. IEEE Eng. Med. and Biol. Soc., Boston, Mass., Nov. 13-16, 1987, vol. 3, New York, N.Y., 1987, p. 1709-1710.;
64. Москвин Г. Европатент №0381762 A1;
65. Москвин Г. Европатент №0406426 A1;
66. Москвин Г. Европатент №0382852 A1;
67. Москвин Г. Европатент №0372089 A1;
68. Москвин Г. Европатент №0471076 A1;
69. Москвин Г. Патент США №4989445;
70. Москвин Г. Патент США №5012762;
71. Москвин Г. Патент США №5161483;
72. Москвин Г. Патент США №5016569;
73. Москвин Г. Патент Новой Зеландии №231781;
74. Москвин Г. Патент Новой Зеландии №228985;
75. Москвин Г. Патент Новой Зеландии №228983;
76. Москвин Г. Патент Новой Зеландии №228982;
77. Москвин Г. Патент Венгрии № 205529;
78. Moskvins G. Intelektuālās automātiskās mērīšanas, dozēšanas un uzskaites sistēmas. Dr.hab.sc.ing. zin. darba kopsavilkums, Jelgava, 1996, 92 lpp.;
79. Moskvin G.A. Artificial Intelligence Measuring, Automatic Control and Expert Systems in Agriculture, 3-rd IFAC-CIGR Workshop on Artificial Intelligence in Agricuture, Makuhari, Japan, April 24-26,1998, Preprints, p.176-181.;
80. Moskvin G.A. Fractal and Perceptual Images in Info-Ergonomics: in 1-st IFAC Workshop on Control Applications and Ergonomics in Agriculture, Athens, Greece, June 15-17, 1998, p.255-261.;
81. Moskvin G.A., Spakovica E.G. New Method and Low-Cost Intelligent Instruments for the Fraud Detection and Conformity Control of Agricultural Products. 2002 ASAE Annual Meeting and XV CIGR WORLD Congress, July 28 - July 31, 2002, Hyatt Regency, Chicago, IL, USA, 14 p., ASAE Paper 023077.;
82. Moskvin G., Spakovica E. "Artificial tongue"- intelligent technology for consumer's protection. Proceedings of International Conference ISOT/JASTS 2004, Kyoto, Japan, July 5 – 9, 2004, Kyoto International Conference Hall, Japan, 2004,10 p;
83. Moskvin G., Spakovica E. Intelligent sensometrical tools for the conformity assessment of agricultural products. Proceedings of 2004' CIGR International Conference ,Beijing, P.R. China, October, 11-14, 2004, 11p;
84. Moskvins G., Špakoviča E., Moskvins A. Intelektuālo tehnoloģiju attīstība patērētāju aizsardzībai. Development of intelligent technologies for the consumers' protection. 9th International scientific conference "Economic science for rural development 2008". Jelgava, LLU EF, 2008.g. 24.-25. aprīlī , p.156-165;
85. Moskvin G., Spakovica E., Moskvin A., Development of Intelligent Technologies and Systems in Agriculture. 7th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development» LLU, TF, 29.-30.05.2008, Jelgava, p. 208-215;
86. Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. М, Наука, 1989, 328 с.;
87. Поспелов Д.А., Пушкин В.Н. Мышление и автоматы.М, Советское радио, 1972, 224 с.;

88. K. Eric Drexler, Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation. ISBN 978-0-471-57518-4, 1992, 576 pages.;
89. K. Eric Drexler, Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology, ISBN-13: 978-0385199735, Anchor, 320 pages;
90. Тихомиров О.К. Психология мышления , изд. «Академия», 2007, 288 с.;
91. Леонтье А.Н.в. Проблемы развития психики. 2-е, доп. изд., М, Мысль,1965,574 с.;
92. Гурьева Л. П. Структура умственной деятельности человека в условиях автоматизации: Автореф. канд. дис. М., 1973.;
93. Симонов П.В. Созидающий мозг: нейробиологические основы творчества. М., 1993, с. 21-36.;
94. Бабаева Ю. Д. , Войскунский А. Е. , Кобелев В. В. , Тихомиров О. К. „Диалог с ЭВМ. Психологические аспекты", Вопросы психологии, №2, 1983, с.15.;
95. Корнилова Т. В. Целеобразование при решении задач в «диалоге» с ЭВМ и в условиях общения: Автореф. канд. дис. М.,1980, 22 с.;
96. Глушков В.М. Введение в АСУ. Киев, Техника , 1972, 312 с.;
97. Moskvins G. Intelektuālās sistēmas un tehnoloģijas. ISBN 978-9984-784-62-5, LLU, Jelgava, 2008, 136 lp.;
98. Moskvins G. Elektropiedziņas modelēšana. ISBN 978-9984-784-43-4, 2008, LLU, 60.lpp. ;
99. Lotfi Zadeh, Fuzzy logic and its application to approximate reasoning. In: Information Processing 74, Proc. IFIP Congr. 1974 (3), pp. 591–594.;
100. Lotfi Zadeh, Fuzzy logic and approximate reasoning. Synthese, 1975; 30: 407–428.;
101. Lotfi Zadeh, Fuzzy sets and systems. In: Fox J, editor. System Theory. Brooklyn, NY: Polytechnic Press, 1965: 29–39.
102. Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. СПб.: Наука, 2003, 282 с.;
103. Егупов Н.Д., Пупков К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления. В 5 тт. Т. 3, Изд.2. 2004,616 с.;
104. Реализация генетических алгоритмов в среде MATLAB v6.12;
105. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley. 1989.;
106. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: University of Michigan Press. 1975.;
107. Balas E., Niehaus W. Optimized crossover-based genetic algorithms for the maximum cardinality and maximum weight clique problems. J. Heuristics. v4 (1998), N4, pp 107–122.;
108. Muhlenbein H. Parallel genetic algorithm, population dynamics and combinatorial optimization. Proc. Third Inter. Conf. Genetic Alg. San Mateo: Morgan Kaufman, 1989. pp 416-421.;
109. Jungs K. G. Dvēseles pasaule, citēts pēc Kūle M., Kūlis R. Filosofija.- R., 1996., 386. lpp.;
110. Koteļeņecs A. Degvielas daudzuma uzskaites ierīces statistisko raksturlielumu izpēte. Maģistra darbs. LLU TF, 2008, 73.lpp.;
111. http://www.baltcontrol.lv/lv/produkcija;
112. http://www.btc-automation.lv/;
113. http://www.protex.ru/.;
114. http://www.statoil.lv/public/25679.php;
115. http://news.frut.lv/lv/economics/12444;
116. http://www.ruspetrol.ru/;
117. http://www.piusi.lv;
118. Бобрывников Г. Н, Камышев Л. А.. Теория и расчёт расходомеров. Москва: Издательство стандартов, 1978, 128с.;
119. Latvijas Republikas Centrālās statistikas pārvalde. Latvijas statistikas gadagrāmata 2007, Rīga, 2008, 200 lpp.;
120. Latvijas Republikas Centrālās statistikas pārvalde. Transports un sakari 2005.gadā, Rīga, 2006. 200 lpp.;
121. Šneps V., Bendiks V.. Brošūra Degvielas ekonomēšanas māksla jeb ekonomiskas braukšanas maniere. Ogre: Ogres Vēstis. 2003;
122. http://www.likumi.lv/doc.php?mode=DOC&id=48369;

123. http://www.akti.lv/naiser/text.cfm?Key=0101032008032500216;
124. http://www.vid.gov.lv/default.aspx?tabid=10&id=558&hl=1&oid=3949&otype=14;
125. http://www.likumi.lv/doc.php?id=10705;
126. ttp://www.opwfms.com/ProductsTankGauges/SiteSentinel1/SiteSentinel1.html;
127. Krastiņš. O. *Statistika*. Rīga, 2003. 2671pp.;
128. Miklašēvičs Z. Elektrolīniju un sakaru līniju koka balstu ražošanas tehnoloģiskie pētījumi un ekoloģiskais novērtējums. Promocijas darba kopsavilkums. Jelgava, LLU,2004,37 lpp.