

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Inženierekonomikas un vadības fakultāte

Darba un civilās aizsardzības institūts

Mihails Urbans

Doktora studiju programmas “Vadībzinātne un ekonomika” doktorants

**EKONOMISKO UN VIDES ZAUDĒJUMU
NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJA
PAAUGSTINĀTAS BĪSTAMĪBAS OBJEKTOS**

Promocijas darbs

Zinātniskā vadītāja
asociētā profesore *Dr. oec.*
JELENA MALAHOVA

RTU Izdevniecība
Rīga 2021

Anotācija

Promocijas darbs veltīts ekonomisko un vides zaudējumu metodoloģijas izstrādei paaugstinātas bīstamības objektos. Efektīvas novērtēšanas metodes paaugstina drošības līmeni un palīdz sagatavoties iespējamajai avārijai, kas saistīta ar liela enerģijas krājuma nekontrolētu atbrīvošanos, kā arī prognozēt iespējamo zaudējumu apmēru avārijas gadījumā.

Šī darba ietvaros veikta avārijas situāciju izraisīto apdraudējumu modelēšana, apkopota ārkārtējo situāciju statistika pasaulē un autors izstrādājis lietderīgu, inovatīvu vides un ekonomisko zaudējumu aprēķina metodoloģiju, lai jebkurš interesents, neieguldot lielus laika resursus, varētu iegūt ticamu un pamatotu rezultātu. Darbā ir arī apkopotas pašreizējās riska novērtēšanas metodes un izvērtētas to nepilnības un priekšrocības, analizēta korelācija starp objektu nolietojumu un ārkārtas situāciju biežuma pieaugumu, kā arī izstrādāti priekšlikumi riska samazināšanai objekta ekspluatācijas periodā un piedāvāta iespējamās avārijas radīto zaudējumu novērtēšanas metodoloģija.

Autora piedāvātās bīstamības novērtēšanas metodoloģijas pamatā ir *probit* funkcijas modelis, kas līdz šim Latvijā ir ļoti reti izmantots. Promocijas darba ietvaros *probit* modeļa konstantes pārbaudītas, aprēķinots izmantojot dažādus iespējamo avāriju scenārijus.

Promocijas darba ietvaros autora izstrādātās metodoloģijas algoritms ir inovatīvs un sastāv no 6 pamatblokiem: riska scenārija noteikšana; parametri, kas atkarīgi no paaugstinātas bīstamības objekta (turpmāk–PBO) apkārtnes un ārējiem meteoroloģiskajiem apstākļiem; iespējamie riska scenāriji un to varbūtības modelēšana; negatīvo seku uz vidi apzināšana; varbūtības aprēķināšana, izmantojot *probit* modeli; ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšana. Piedāvātais blokshēmu izpildes algoritms ir cieši saistīts ar efektivitātes teoriju, kura paredz operāciju izpildes secīgumu un pamatota vadības lēmuma pieņemšanu saskaņā ar veikto procedūru, kurā tiek ņemti vērā dažāda veida dati.

Izmantojot piedāvāto autora izstrādāto metodoloģiju var gūt priekšstatu par riska līmeni attiecīgajā objektā un paredzēt iespējamās ekonomiskās, vides radītos zaudējumus avārijas gadījumā. Piedāvāto metodoloģiju var izmantot gan objekta projektēšanas stadijā, gan esošos paaugstinātas bīstamības objektos. Šajā darbā sniegts detalizēts aprēķina piemērs, ko var izmantot kā paraugu.

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā un tas sastāv no ievada, 3 daļām, rezultātiem un secinājumiem, izmantotās literatūras saraksta un 15 pielikumiem. Darba kopapjoms ir 153 datorsalikuma lappušu, kur ietverti 39 attēli, 52 tabulas un 15 pielikumi uz 37 lappusēm. Izmantotās literatūras sarakstā norādīti 300 izmantotās literatūras avotu.

Abstract

Doctoral thesis is dedicated to developing the methodology for economic and environmental losses in high-risk objects. Effective assessment methods increase safety levels and help prepare for a potential accident involving uncontrolled release of a large energy stock, and predict the extent of potential loss in the event of an emergency

As part of this paper, modelling of the hazards causing accidents, compiling global emergency statistics has been carried out, and the author has developed a useful, innovative methodology for the calculation of environmental and economic losses, so that all stakeholders, without investing large time resources, can obtain a reliable and reasonable result. The current risk assessment methods has been summarised in the paper and their shortcomings and benefits has been evaluated. The correlation between the depreciation of objects and the increase in the frequency of emergency situations have been analysed in the paper, as well as the proposals for reducing risks during the operational life of the site have been developed and the proposed methodology for assessing losses caused by a potential accident has been offered.

The hazard assessment methodology proposed by the author is based on a *probit* function model that has been used very rarely so far in Latvia. As part of the doctoral thesis, the *probit* model constants has been tested using different scenarios for possible accidents in the calculation.

As part of the doctoral thesis, the methodology algorithm developed by the author is innovative and consists of 6 core blocks: identification of the risk scenario; parameters depending on the surroundings and external meteorological conditions of the high-risk object (hereinafter - HRO); possible risk scenarios and modelling of their probability; identification of negative environmental effects; calculation of probability using the *probit* model and the assessment of economic and environmental losses. The executing algorithm of the proposed core blocks is closely linked to the efficiency theory, as the sequence of operations and the adoption of effective management decisions, based on the procedure carried out, where different types of data are collected.

Using the proposed methodology developed by the author, it may be possible to establish the level of risk at the objects concerned and to foresee potential economic, environmental losses in the event of an accident. The proposed methodology can be used both at the design stage of the installation and in existing high-risk objects. This paper provides a detailed example of the calculation that can be used as a sample.

The doctoral thesis is written in Latvian and consists of the introduction, 3 chapters, results and conclusions, the list of bibliography used and 15 annexes. The total volume of the paper is 153 pages of computer text containing 39 images, 52 tables and 15 annexes on 37 pages. The lists of bibliography contains 300 information sources.

Darbā lietotie saīsinājumi

ĀS	Ārkārtas situācija
ANO	Apvienoto Nāciju Organizācija
CA	Civilā aizsardzība
DP	Drošības pārskats
ES	Eiropas Savienība
KM	Katastrofu medicīna
MK	Ministru kabinets
PBO	Paaugstinātās bīstamības objekts
RANP	Rūpnieciskās avārijas novēršanas programma
SOG	Sašķidrināta ogļūdeņraža gāze
Stacija	Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacija
VUGD	Valsts ugunsdzēsības un glābšanas dienests
VUŠ	Viegli uzliesmojošs šķidrums

Satura radītājs

IEVADS	6
1. TEHNOGĒNĀS VIDES STĀVOKLIS UN NOZĪMĪGUMS.....	14
1.1. Tehnogēnās vides būtība	14
1.2. Paaugstinātas bīstamības objektu bīstamības aktualitāte	20
1.3. Paaugstinātas bīstamības objektu izveide.....	23
1.4. Mūsdienu negadījumu statistiskais apskats	29
1.5. Iespējamie ārējie un iekšējie apdraudējumi.....	35
1.6. Drošības sistēmas vispārīgs normatīvais regulējums pasaulē un Latvijā	39
Pirmās daļas kopsavilkums un secinājumi	46
2. MŪSDIENU TEHNOGĒNĀS VIDES AVĀRIJU ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS ANALĪZE	48
2.1. Vides zaudējumu un gaisa piesārņojuma zaudējumu novērtēšanas metodes	48
2.2. Ar ugunsbīstamību un sprādzienbīstamību saistīto zaudējumu novērtēšanas metodes	60
2.3. Tehnogēnā riska novērtēšanas metodes	72
2.3.1. Kvalitatīvās un ekspertu vērtēšanas metodes	75
2.3.2. Bīstamības un darbības metode.....	78
2.3.3. Atteices režīma un efekta analīzes metodes.....	81
2.3.4. Koka analīzes metodes.....	82
2.3.5. Cilvēka drošuma analīzes un cilvēka kļūdas identifikācijas metodes.....	87
2.3.6. Kvantitatīvās riska novērtēšanas (QRA) metodes	88
2.3.7. Sistēmu analīzes riska novērtēšanas metodes	91
Otrās daļas kopsavilkums un secinājumi	96
3.EKONOMISKO UN VIDES ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE	98
3.1. Cilvēka veselībai nodarītā kaitējuma novērtēšanas metode	98
3.2. Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija	104
Trešās daļas kopsavilkums un secinājumi.....	126
Secinājumi un rezultāti.....	129
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS UN AVOTU SARAKSTS	131
PIELIKUMI	154

IEVADS

Valsts infrastruktūra un iedzīvotāju drošība ir atkarīga no valsts, pašvaldību, komersantu un iestāžu efektīvas rīcības avārijas, katastrofas vai ārkārtas situācijas (turpmāk – ĀS) gadījumā. Viens no svarīgākajiem valsts, kā arī sabiedrības pastāvēšanas un drošas, efektīvas plānveida attīstības priekšnosacījumiem ir ĀS iespējamo risku identificēšana un novērtēšana, lai samazinātu apdraudējumu un lai nodrošinātu efektīvu riska pārvaldību. Apdraudējumu var samazināt, tikai identificējot visu iespējamo līmeņu apdraudējumus un pieņemot attiecīgus pamatotus lēmumus riska novēršanai. Pastāvošie riski ir jānosaka preventīvo pasākumu pārvaldības un efektīvas plānošanas nolūkā, kas, savukārt, ļaus nepieciešamos resursus sagatavot ikdienas darba režīmā, bet ĀS gadījumā – tos efektīvi pārvaldīt. Katastrofu teorija sniedz universālu pieeju visu to lēcienveida pārmaiņu kontekstā, kas saistītas ar iespējamajām ĀS, bet Efektivitātes teorija sniedz iespēju paredzēt iespējamus negatīvos rezultātus, kas atkarīgi no ieguldītajiem resursiem un pielietotajām tehnoloģijām. Savukārt sistēmu teorija sniedz atbildi uz jautājumu par to, kā nepieciešams organizēt jebkura veida darbību, lai sasniegtu maksimālo labumu. ĀS pārvaldību Latvijā regulē vairāki normatīvie akti, kuru galvenais mērķis ir nodrošināt valsts un iedzīvotāju labklājību un stabilu attīstību. Nacionālās drošības sistēmas pamatā ir vairāki normatīvie akti: Nacionālās drošības likums, Civilās aizsardzības un katastrofas pārvaldīšanas likums, Mobilizācijas likums un likums „Par ārkārtējo situāciju un izņēmuma stāvokli”. Normatīvos aktus detalizētāk iedala pēc nozares, atkarībā no apdraudējuma veida. Nozares darbību regulē Ministru kabineta (turpmāk – MK) noteikumi vai pašvaldību saistošie noteikumi. Lai garantētu sabiedrības un tautsaimniecības pastāvēšanu un neatkarību, viens no galvenajiem valsts drošības aspektiem ir ekonomika. Valsts stabilitātes apdraudējuma un ĀS rezultātā var tikt apdraudēta labklājība un var rasties būtiski ekonomiskie¹, sociālie, vides zaudējumi valstij un sabiedrībai, tāpēc valsts institūciju pamatpienākums ir garantēt valsts drošību.

Lai saglabātu stabilitāti un aizsargātu valsts tautsaimniecību un sabiedrību no tehnogēnajiem negadījumiem, Eiropas savienībā (turpmāk – ES) un Latvijā ir spēkā stingri nosacījumi drošības sistēmas darbības jomā. Viens no uzskatāmākajiem piemēriem ir tā dēvētā SEVESO III direktīva (Directive 2012/18/EU), kuras nosacījumi ir integrēti visu ES dalībvalstu normatīvajos aktos. Direktīva paredz saglabāt vismaz pašreizējo augsto aizsardzības līmeni pret tehnogēnajām avārijām un nosaka prasības attiecībā uz drošības līmeņa paaugstināšanu. Efektīva drošības sistēma un pienākumu kvalitatīva izpilde ĀS vai katastrofas gadījumā ļauj saglabāt efektīvu valsts darbību un neatkarīgu sabiedrības attīstību. Šo nosacījumu ievērošana ļauj novērst apdraudējumu ar plānotiem resursiem un būtiski samazināt kļūdīgu lēmumu pieņemšanas varbūtību. Šādu pasākumu lietderību pierādīja sprādziens 2020. gada 4. augustā Libānā, kur nekontrolēts amonija nitrāta sprādziens nodarīja ievērojamus zaudējumus pilsētas infrastruktūrai un iedzīvotājiem.

Stabilitāte valstī nav iespējama bez skaidra un konkrēta regulējuma. Tas attiecas gan uz Paaugstinātas bīstamības objektu (turpmāk – PBO) darbības uzraudzības noteikumiem, gan uz valsts iestāžu darbu reglamentējošiem noteikumiem. Mūsdienās atbildīgās valsts iestādes stingri uzrauga PBO drošības sistēmu darbību, tomēr pastāv nepilnības vairākos plānošanas posmos un attiecībā uz iespējamo seku radīto zaudējumu teorētisko analīzi. Turklāt PBO avārijas gadījumā valsts līmenī nav izveidota vienota metodoloģija informēšanai par iespējamām ekonomiskām sekām tautsaimniecībai un sabiedrībai. .

Pašreiz saskaņā ar Vides pārraudzības valsts biroja datiem Latvijā ir reģistrēti 69 valsts un reģionālās nozīmes PBO. Šo avārijas gadījumā sekas var pārsniegt objektu

¹ European Commission (2020). [tiešsaiste] *Environment*. Eiropas komisijas mājas lapa [skatīts 2020. gada 2. jūlijā]. Pieejams: <https://ec.europa.eu/environment/seveso/>

fiziskās robežas un var radīt būtiskus ekonomiskos zaudējumus valsts un reģionālā mērogā.² Tas ietekmēs citus tautsaimniecības objektus un sabiedrību, radot iekšēju valsts drošības apdraudējumu. Šobrīd PBO vadītāji var izvēlēties, kādu programmatūru un riska novērtēšanas metodi izmantot iespējamo seku apmēra noteikšanai un modelēšanai, piemēram, ALOHA vai Nīderlandē izdotās vadlīnijas riska novērtējuma veikšanai. Tomēr tas attiecas tikai uz apdraudējumu un neaptver informāciju par konkrētiem ekonomiskiem zaudējumiem, par zaudējumiem videi un sabiedrībai vai par līdzekļiem, kas nepieciešami vides atjaunošanai avārijas gadījumā PBO. Tāpēc ir svarīgi aprēķināt ekonomiskos un vides zaudējumus, apzināt aktuālo situāciju, lai nodrošinātu visas tautsaimniecības plānveida attīstību. Tikai ar metodoloģijas instrumentiem var ieplānot nepieciešamos resursus, kā arī noteikt sanācības pasākumu lietderību un iespējamo zaudējumu apmēru. Promocijas darbā piedāvāto metodoloģiju autors izstrādāja tā, lai tā būtu maksimāli lietderīga, un lai jebkurš interesents, neieguldot lielus laika resursus, varētu iegūt ticamu un pamatotu rezultātu. Pārējo ekonomisko zaudējumu aprēķins ir saistīts ar grūti pieejamajiem datiem un hipotētiski lielo datu apjomu, kas nepieciešams veicamajiem aprēķiniem, tāpēc pilnais zaudējumu apmērs par PBO avāriju darbā netiek izskatīts.

Nemot vērā iepriekš tekstā uzskaitītos iemeslus, PBO uzraudzības institūcijām un atbildīgajām personām būtu jāspēj veikt situācijas novērtējumu, definēt preventīvus pasākumus, noteikt iespējamo ekonomisko seku apmēru un sagatavot rīcības plānu. Drošības sistēmas efektivitāte, iespējamo negadījumu seku apzināšana un zaudējumu aprēķināšana ir svarīga valsts drošībai un tautsaimniecības attīstībai.

Tēmas aktualitāti pamato turpmāk tekstā aprakstītie aspekti.

1. Nacionālās drošības sistēmu veido valsts varu un pārvaldi realizējošās institūcijas un Latvijas pilsoņi, kam viņu kompetences ietvaros deleģēti pienākumi un tiesības nacionālās drošības jomā. Stabila un ilgtspējīga valsts, kā arī tautsaimniecības un sabiedrības attīstība ir iespējama tikai tad, ja ir efektīva nacionālās drošības sistēma. Pēdējā tehnogēnā avārija 2013. gadā veikalā *Maxima*, Rīgā, parādīja, cik liela nozīme negadījumu novēršanā un avārijas seku efektīvā likvidēšanā ir stabilai un efektīvai valsts drošības sistēmai. Savlaicīga plānošana palīdz apzināt, prognozēt un novērst valsts iekšējo apdraudējumu, samazināt nelabvēlīgas sekas, kā arī sekmēt valsts drošības sistēmas pareizu darbību, sabiedrības drošību un demokrātisku attīstību. Viens no attīstības paradigmas centrālajiem elementiem ir cilvēks un cilvēka dzīves kvalitāte. Šajā kontekstā svarīgākais dzīves kvalitātes radītājs ir sabiedrības drošība.

2. Saskaņā ar Rīgas pilsētas civilās aizsardzības (turpmāk–CA) plānu galvaspilsētā atrodas 10 valsts un 10 reģionālas nozīmes PBO, kuros izmanto, uzglabā vai pārkrauj bīstamas ķīmiskas vielas. Notiekot avārijai šāda veida objektā, var tikt apdraudēta ekonomiskā un sociālā sistēma, apkārtējā vide, tautsaimniecības objekti un iedzīvotāji, kas atrodas kaitīgās ietekmes zonā. Negadījuma iespējamās nelabvēlīgās sekas jāprognozē, veicot preventīvus pasākumus, racionāli plānojot PBO izvietojumu, vielu pārkraušanas un ražošanas apjomu, kā arī ņemot vērā apdraudējuma zonā esošos tautsaimniecības objektus un potenciāli ietekmēto iedzīvotāju skaitu. Avārijas vai ĀS radītās ekonomiskās sekas un ietekmi uz vidi ir iespējams paredzēt preventīvo pasākumu ietvaros. Attīstītajām teritorijām lielajās pilsētās ir liels sociāli ekonomiskais potenciāls, kas var nodrošināt stabilu attīstību, taču šajos apgabalos pastāv lielāks tehnogēnais apdraudējums. Pašreiz PBO jāizstrādā drošības pārskats (turpmāk–DP) vai Rūpnieciskās avārijas novēršanas programma (turpmāk–RANP), kā arī CA plāns, kur apkopota informācija par iespējamajiem apdraudējumiem un riska līmeni. Šajos dokumentos noteikti ierobežojumi saimnieciskai darbībai PBO tuvumā, taču iespējamie ekonomiskie

² Malahova, J., Urbans, M., Kiseļovs, G. (2017). Studiju priekšmeta Objekta risku novērtēšana kvalitātes nodrošināšana. *Akadēmiskās konferences "Mācību metodiskā un zinātniskā darba integrācija studiju procesā"*. Rīga: RTU izdevniecība, 75–77. lpp.

zaudējumi tautsaimniecības objektiem un iedzīvotājiem, kas atrodas iespējamajā ietekmes zonā, avārijas vai ĀS gadījumā PBO netiek apzināti. Tas liecina par nepietiekamu plānošanu un par metodoloģijas trūkumu valsts līmenī.

3. Iespējamo ekonomisko zaudējumu apzināšana ir būtiska ne tikai PBO ilgtspējīgai attīstībai un tehnoloģiju modernizācijai, bet arī tam, lai palielinātu ieguldījumus apkārtējās vides un drošības uzlabošanā. Kā norāda Latvijas tehnogēnās vides drošības speciālisti, lai novērstu domstarpības par PBO tuvumā esošo teritoriju izmantošanu, būtu jāizveido vienota tehnogēnā riska novērtējuma sistēma, kuras pamatā būtu pasākumu ekonomiskā lietderība. Pamatojoties uz to, varētu noteikt ierobežojumus teritorijas attīstībai PBO tuvumā. Ir svarīgi izveidot PBO vadītājiem saprotamu darba vidi, lai atvieglotu arī uzraudzības institūciju darbu un nodrošinātu sabiedrības tiesības uz drošu dzīves vidi. Uzlabojot tehnogēnās vides drošību un sabiedrības aizsardzību, Latvijā mazinātos domstarpības starp iedzīvotājiem un PBO vadību par iespējamo apdraudējumu un sekām, ko var radīt avārija šādos objektos. Tas sniegtu pozitīvu pienesumu gan valsts tautsaimniecībai, gan uzņēmējiem, gan ikvienam valsts iedzīvotājam.

Pētījuma zinātniskā novitāte, teorētiskais nozīmīgums un praktiskais pielietojums

Pētījuma zinātniskā novitāte ir kompleksais teorētiski praktiskais pētījums par tehnogēnās vides drošības un risku novērtēšanas problemātiku, kā arī jaunas metodoloģijas izveidošana, kas sniedz iespēju paredzēt ekonomiskos un vides zaudējumus preventīvo pasākumu ietvaros PBO.

Kā būtiskākais izaicinājums šajā pētījumā ir autora piedāvātais un izstrādātais metodoloģijas piemērošanas risinājums, kas balstās vienotā algoritmā: avārijas riska līmeņa, ekonomisko, vides zaudējumu novērtēšanai PBO tehnogēnās avārijas gadījumā.

Lai gan risks un drošība ir visā pasaulē plaši izmantoti termini un iespējamais ekonomisko seku radītais apdraudējums mērāms miljonos eiro, tomēr latviešu valodā ir maz literatūras avotu par tehnogēno negadījumu risku novērtējumu. Promocijas darbu var izmantot kā mācību materiālu, apgūstot Rīgas Tehniskās universitātes mācību priekšmetu “Objektu riska novērtēšana”, profesionālo studiju programmā “Ugunsdrošība un civilā aizsardzība”, kā arī “Katastrofu pārvaldīšana” drošības inženierijas studiju programmas ietvaros.

Autors izpēti procesā secīgi aplūko ar tehnogēno vidi saistītu negadījumu būtību un nepieciešamību apzināties šo negadījumu bīstamību, kā arī tehnogēnās vides drošības sistēmas Latvijas normatīvajos aktos, bīstamības elementu saturu un to ietekmi uz tautsaimniecību un sabiedrību. Tāpat tiek aplūkotas praksē pastāvošās problēmas, to risinājumam piedāvājot ekonomisko un vides zaudējumu noteikšanas metodoloģiju, kuras pamatā ir *probit* modeļa izmantošana. Pētījuma pievienotā vērtība ir autora pieredze tehnogēnās vides objektu novērtēšanā vairāk nekā 10 gadu strādājot vides un civilās aizsardzības nozarē Rīgā, kā arī vairāku gadu pieredze Vides pārraudzības valsts biroja komisijas locekļa amatā. Šī pieredze autoram ir devusi lietpratību par CA, vides aizsardzību, nacionālās drošības sistēmas nostiprināšanu un realizēšanu gan izvērtējot PBO drošības pārskatus un RANP (no pašvaldības un no Vides pārraudzības valsts biroja puses), gan izstrādājot un īstenojot Rīgas pilsētas CA plāna noteiktos pasākumus. Autors ir darbojies arī likumdošanas jomā, civilās aizsardzības un katastrofas pārvaldīšanas likuma izstrādes darba grupas sastāvā, kā arī piedalījies saistīto MK noteikumu izstrādē kā Latvijas Pašvaldību savienības un Latvijas Lielo pilsētu asociācijas pārstāvis. Promocijas darba izstrādē autors ir izmantojis arī likumdošanas procesuālajās darbībās iegūtās zināšanas, kā arī iegūto darba pieredzi, strādājot Rīgas Tehniskajā universitātē lektora un pētnieka amatos.

No praktisko apsvērumu viedokļa galvenā problēma riska novērtējuma jomā ir sistēmas nesakārtotība, tāpēc PBO vadība bieži izmanto riska novērtējuma sistēmas trūkumus

savās interesēs, izvēloties viņiem izdevīgākās programmas un metodes. Turklāt sociāli ekonomiskie zaudējumi, kas var rasties avārijas gadījumā, parasti netiek aprēķināti, vai tos aprēķina ļoti virspusēji. 2017.gadā Latvijas Vides pārvaldības asociācija, kas sadarbībā ar Valsts vides dienestu un Latvijas Riska vadības asociāciju ir īstenojusi Latvijas vides aizsardzības fonda finansēto projektu „Vadlīnijas rūpniecisko avāriju riska objektu izvietojuma minimālo drošības attālumu un teritorijas izmantošanas un apbūves ierobežojumu noteikšanai teritorijas plānošanas dokumentos”, uzskata, ka riska zonu noteikšanu ap PBO var izmantot ne tikai teritorijas plānošanas nolūkā, bet arī lēmumu pieņemšanā par kolektīvās aizsardzības līdzekļu izveidi noteiktās zonās, evakuācijas ceļu ierīkošanu un citiem ar CA saistītiem jautājumiem taču šīs vadlīnijas Latvijā netiek ievērotas. Šo iemeslu dēļ, kā arī tautsaimniecības un sabiedrības interesēs autors promocijas darbā analizē pastāvošās problēmas un ierosina izmantot ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanas metodoloģiju, lai noteiktu vides un ekonomiskos zaudējumus avārijas gadījumā PBO. Autors arī sniedz priekšlikumus nacionālās drošības sistēmas stiprināšanai galvenokārt no sabiedrības interešu aizsardzības aspekta, lai mazinātu iespējamo sociālo spriedzi. Lai sasniegtu pamatotu vadības lēmumu, tiek piedāvāta efektivitātes teorijas pieeja, kurā ietilpst operāciju secību apskats un efektīva vadības lēmuma pieņemšana.

Promocijas darbā autors pēta un analizē, kā arī izvirza pamatotus priekšlikumus riska novērtēšanas problēmu un jautājumu risināšanai, un piedāvā ekonomisko zaudējumu aprēķināšanas metodoloģiju apriorā novērtējuma veikšanai (paredzot sekas PBO, līdzšinējo problēmu risināšanai):

- riska novērtējuma metodiku;
- ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanas risinājumu.

Pētījums ir nozīmīgs sociālās zinātnes attīstībai. Autora piedāvātais risinājums ir inovatīvs daudzu darbā apskatīto problēmu risināšanā. Autora izstrādātais darbs ir ne tikai viens no jaunākajiem pētījumiem tehnogēnās vides drošības jomā, bet vienīgais mūsdienu zinātniskais pētījums Latvijā, kur padziļināti un daudzpusīgi ir analizēta Latvijas tehnogēnās vides drošības un nacionālās drošības problemātika. Promocijas darba zinātniski praktiskā vērtība ir iespēja to izmantot PBO vadībai, apdrošināšanas uzņēmumiem, valsts inspicēšanas institūcijām, Valsts ugunsdzēsības un glābšanas dienestam un Rīgas Tehniskās universitātes pasniedzējiem, lai, izmantojot vienotu metodi, aprēķinātu iespējamo ekonomisko un vides zaudējumu apmēru, kā arī plānotu nepieciešamos līdzekļus avārijas vai ĀS gadījumos ne tikai atkarībā no PBO iespējamās bīstamības pakāpes, bet arī izmantojot faktisko ekonomisko seku analīzi ĀS iestāšanās gadījumā.

Pētījuma mērķis, uzdevumi un jautājumi

Pētījuma mērķis ir izstrādāt zinātniski pamatotu metodoloģiju ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanai avārijas gadījumā PBO. Promocijas darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi uzdevumi:

1. Izpētīt un izanalizēt pasaules tehnogēnās vides drošības sistēmas nozīmīgumu un attīstību.
2. Izpētīt nacionālās drošības sistēmas likumdošanas prasības attiecībā uz PBO darbību.
3. Izanalizēt mūsdienīgas avāriju seku novērtēšanas metodes un riska pārvaldības metodoloģiju;
4. Izanalizēt un izvēlēties piemērotu metodiku vidēji statistiskā cilvēka veselībai nodarītā kaitējuma novērtēšanai pēc avārijas PBO;
5. Izstrādāt piemērotu metodoloģiju PBO riska novērtēšanai, ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanai;

6. Izmantojot konkrēta PBO piemēru, eksperimentāli pārbaudīt izstrādātās metodoloģijas riska novērtēšanai un ekonomisko zaudējumu aprēķināšanai.

Pētījuma **objekts** ir PBO kā tehnogēnās vides elements kopējā drošības sistēmā. Pētījuma **priekšmets** ir ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija PBO.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, tika izvirzīti šādi **pētījuma jautājumi**:

1. Kāds ir tehnogēnās vides drošības sistēmas saturs— mērķis, principi, realizācijas process, un vai šie elementi ir jāuzlabo?
2. Kādi normatīvie akti reglamentē tehnogēnās vides drošības sistēmu Latvijā?
3. Kādi modeļi pastāv pasaulē riska un zaudējumu novērtēšanas jomā tehnogēnās avārijas gadījumā?
4. Kādu ekonomisko zaudējumu novērtēšanas modeli var izmantot Latvijā iespējamās PBO avārijas gadījumā?

Hipotēze

Pētījuma hipotēze izvirzīta, ņemot vērā dažādu nozaru speciālistu un ekspertu diskusijas par bīstamības un riska novērtējuma algoritmu piemērošanas modeli Latvijā. Promocijas darba hipotēze: universālas metodoloģiskās pieejas izstrāde ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai PBO sniegs iespēju kvantitatīvi aprēķināt pieļaujamā riska robežas, kā arī avārijas gadījumā ekonomiski pamatot iespējamo zaudējumu apmēru.

Pētījuma metodes

Lai izpildītu promocijas darba uzdevumus un sasniegtu promocijas darba mērķi, autors pētījumā izmanto vispārējās zinātniskās pētījumu metodes: varbūtības analīzi, alternatīvu analīzi, abstrakciju, salīdzinošo metodi, induktīvo un deduktīvo metodi.

Analīze (grieķiski *analysis*—sadalīšana) ir zinātniskās pētniecības metode, kur veselais domās vai faktiski tiek sadalīts sastāvdaļās un kur tiek apskatītas šīs atsevišķās daļas.³

Būtiska loma promocijas darba uzdevumu izpildē un mērķa sasniegšanā ir analītiskajai pētniecības metodei. Ar šīs metodes palīdzību promocijas darbā analizēti:

- 1) tehnogēnās vides drošības elementi un to mijiedarbība;
- 2) normatīvie akti un no tiem izrietošās tiesības un pienākumi tehnogēnās vides drošības jomā;

Abstrakcija (latīniski *abstractio*—nošķiršana, attālināšana) ir teorētiskā pētniecības metode, kur vienu objekta īpašību vai attiecību domās nošķir un izdala no citām. Abstrakcija ļauj atdalīt pētāmā objekta būtiskās īpašības no nebūtiskajām, kuras kavē objekta skaidru izpēti. Ar abstrakcijas metodes palīdzību autors pētniecības darbā nodala atsevišķus būtiskākos tehnogēnās vides drošības elementus un pēta to ietekmi uz nacionālo drošības sistēmu kopumā.

Šajā promocijas darbā izmantota salīdzinošā metode, lai pārlicinātos par Latvijas tehnogēnās vides drošības sistēmas efektivitāti un lai noskaidrotu, vai tai nepieciešami uzlabojumi..

Promocijas darbā ir pielietota arī induktīvā un deduktīvā pētniecības metode. Ar induktīvās metodes palīdzību autors no atsevišķu gadījumu analīzes praksē atvasina vispārīgākus secinājumus un kopējos principus (no atsevišķā uz vispārīgo). Savukārt ar deduktīvās metodes palīdzību autors no teorētiskām atziņām un vispārīgajiem izdara slēdzienus par individuālajiem aspektiem (no vispārīgā uz atsevišķo).

³ Pommers, J. (1989). *Studentu zinātniskā darba pamati*. Rīga: Apgāds Zvaigzne. 106. lpp.

Promocijas darba struktūra

Lai izpildītu darba uzdevumus un sasniegtu darba mērķi, promocijas darbs sastāv no anotācijas, ievada, iztirzājuma, kas ir sadalīts trīs daļās. Katra daļa sastāv no vairākām nodaļām, apakšnodaļām un nobeiguma.

Pirmajā daļā „Tehnogēnās vides stāvoklis un nozīmīgums” ir pētīta un atspoguļota mūsdienu tehnogēnās vides drošības sistēma Latvijā un pasaulē, kā arī ar to saistītā terminoloģija. Šajā daļā ir arī analizēti plānošanas dokumenti tehnogēnās vides drošības jomā, ir pētīta drošības sistēmas būtība un tās elementi – vides aizsardzības sistēma, nacionālās drošības principi, civilās aizsardzības nodrošināšanas kārtība, iespējamās sekas tautsaimniecībai un sabiedrībai, un mijiedarbība starp sistēmas elementiem. Pirmā daļa sastāv no 6 nodaļām, kā arī daļas secinājumiem.

Otrajā daļā „Mūsdienu tehnogēnās vides avāriju zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas analīze” ir analizētas un aprakstītas pasaulē pastāvošās vides zaudējumu un gaisa piesārņojuma zaudējumu novērtēšanas metodes, ugunsbīstamības un sprādzienbīstamības saistīto zaudējumu novērtēšanas metodes, riska novērtēšanas metodes, kas palīdz veidot izpratni par avārijas seku novērtējuma procesu, tehnogēnās vides riskiem, riska novērtēšanas modeļiem. Otrā daļa sastāv no trim nodaļām, kā arī daļas secinājumiem. Katras nodaļas ietvaros ir pētīta un analizēta attiecīgā sistēma un tās trūkumi, kā arī ir sniegti priekšlikumi.

Trešajā daļā „Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas izstrāde” ir izveidota PBO ekonomisko un vides zaudējumu metodoloģija, kā arī trešās daļas ietvaros veikts praktiskais bīstamības, riska pakāpes ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas aprēķins. Šī daļa sastāv no divām nodaļām, kurās izstrādāts metodoloģiskais algoritms PBO ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanai. Katras daļas un nodaļas ietvaros autors ir izmantojis un analizējis gan pieejamo teoriju un problemātiku, gan arī citu valstu pieredzi. Atsevišķi izskatīta vidēji statistiskā cilvēka dzīvības vērtības noteikšanas pieeja, kas sniedz iespēju novērtēt ekonomiskās sekas no iespējamajiem letāliem gadījumiem PBO avārijas gadījumā, kā arī, pamatojoties uz zinātniskās literatūras analīzi, piedāvāts izmantot algoritmu vidējo ārstēšanas izmaksu aprēķināšanai, kas saistītas ar dažāda veida tehnogēnās avārijas traumu ārstēšanu stacionāros.

Promocijas darba rezultāti ir aprobēti ne tikai zinātniskajās konferencēs un rakstu krājumos, bet arī izmantoti praksē piedaloties INTERREG projektā–izstrādājot riska pārvaldības plānu “Vienota vides risku plāna izstrāde Jelgavas un Šauļu pilsētām” identifikācijas Nr. JPD2018/85/MI. Autors piedalās Vides pārraudzības valsts biroja darbā, pārstāvot Rīgas pašvaldības intereses un izvērtējot PBO izstrādātos dokumentus–RANP un DP. Vairākas no autora iniciatīvām CA un vides drošības jomā ir īstenotas un iekļautas Civilās aizsardzības un katastrofas pārvaldīšanas likumā un ar to saistītajos MK noteikumos, Valsts CA plānā. Autors pats piedalījās šī likuma izstrādes darba grupu sanāksmēs, lai jau sākotnēji likumdošanas ceļā panāktu atbilstošo nosacījumu iekļaušanu normatīvajos aktos.

Tēzes aizstāvēšanai:

- Izstrādātā metodoloģija ļauj novērtēt tehnogēno risku PBO.
- Izstrādātās metodoloģijas ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas algoritms sastāv no 6 pamata blokiem, kas iekļauti vienā sistēmā, kas veicina novērtētāja zināšanu paaugstināšanu–tiek sniegta informācija par esošo PBO riska līmeni, ekonomisko un vides seku iespējamo apmēru un avārijas ietekmi.
- Izstrādātā metodoloģija veicina novērtētāja sistemātisko zināšanu objektivitāti.

Promocijas darba ierobežojumi:

Ierobežojumi saistīti ar to, ka darba apjoma dēļ nav iespējams apskatīt un piedāvāt pilnu zaudējumu novērtēšanas metodoloģiju, tāpēc autors veic tikai daļēju metodoloģijas apskatu un svarīgāko zaudējumu novērtēšanu, kādi iestājas praktiski uzreiz pēc avārijas PBO. Šo metodoloģiju var izmantot plašs tādu interesentu loks, kuriem nav nepieciešama ierobežota komerciālā rakstura informācija. Piedāvātais matemātiskais riska un zaudējumu novērtēšanas modelis kopumā atspoguļo svarīgākos riska, ekonomiskos un vides zaudējumu novērtēšanas pamatelementus.

Darba aprobācija:

Promocijas darba rezultāti publicēti recenzētos zinātniskos žurnālos, konferenču pilna teksta izdevumos, ziņoti un apspriesti starptautiskās un vietējās konferencēs, kā arī autora vadītos studiju priekšmetos.

Darba autora ziņojumi zinātniskās konferencēs:

1. RTU 61th International Scientific Conference “Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship”, Riga, Latvia, October 16, 2020;
2. 21th Annual International Scientific Conference, “Economic Science for Rural Development”, Jelgava, Latvia, May 12-15, 2020;
3. 19th International Multidisciplinary Scientific conference "Rethinking regional Competitiveness", Šiauliai University, Šiauliai, Lithuania, November 28, 2019;
4. RTU 60th International Scientific Conference “Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship”, Riga, Latvia, October 11, 2019;
5. 18th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, Jelgava, Latvia, May 22–24, 2019;
6. RTU 59th International Scientific Conference “Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship”, Riga, Latvia, October 18, 2018;
7. 19th International Scientific Conference, “Economic Science for Rural Development”, Jelgava, Latvia, May 9-11, 2018;
8. RTU Studentu zinātniskā konferencē “Tehnogēnās vides drošības problēmas”, Rīgā, Latvijā, 2018.gada 20.aprīlī;
9. 8th International Scientific Conference, “Rural Development 2017:Bioeconomy Challenges”, Akademija, Lithuania, November 24, 2017;
10. RTU 58th International Scientific Conference “Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship”, Riga, Latvia, October 13, 2017.

Darba autora publikācijas:

1. Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. In: published by Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) Press.2020, pp.194–201. ISSN 2029-4441 / eISSN 2029-929X ISBN 978-609-476-231-4,eISBN978-609-476-230-7 <https://doi.org/10.3846/bm.2020.618>.
2. Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. Compliance of fire safety measures for accommodation of people in Riga schools. Proceedings of the 2020 International Conference "Economic Science for Rural Development" No 53 Jelgava, LLU ESAF, 12-15 May 2020, pp. 226-232 doi: 10.22616/esrd.2020.53.027 226
3. Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. Assessment of Technogenic Risks in Recovering Company for Worn Tyres. Proceedings, Latvija, Jelgava, 22.-24. maijs,

2019. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2019, 1616.-1622.lpp. ISSN 1691-5976. Pieejams: doi:10.22616/ERDev2019.18.N347.
4. Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. Identifying Potential Risks Created by State Joint-Stock Company Latvijas Dzelzceļš Jelgava Station and Evaluating Their Impact on Environment. No: 18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development": Proceedings. Vol.18, Latvija, Jelgava, 22.-24. maijs, 2019. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2019, 718.-725.lpp. ISSN 1691-5976. Pieejams: doi:10.22616/ERDev2019.18.N020.
 5. Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. Functioning of Latvian Detention Institutions Safety System in Case of Technogenic Disaster Threat. NORDSCI Conference Proceedings 2018, 2018, Book 2, Vol.1, 483.-490.lpp. ISSN 2603-4107. Pieejams: doi:10.32008/NORDSCI2018/B2/V1/52.
 6. Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. High Hazard Objects Exploitation in Rural Regions and Identified Risk Management Problems in Latvia. No: 19th International Scientific Conference "Economic Science for Rural Development 2018": Proceedings. Economic Science for Rural Development. No.47: Rural Development and Entrepreneurship; Production and Co-operation in Agriculture, Latvija, Jelgava, 9.-11. maijs, 2018. Jelgava: 2018, 341.-350.lpp. e-ISBN 978-9984-48-292-7. ISSN 1691-3078. e-ISSN 2255-9930. Pieejams: doi:10.22616/ESRD.2018.040.
 7. Kiseļovs, G., Urbans, M., Malahova, J., Izglītojamo apmācība ugunsgrēku izpētes veikšanā. No: RTU IEVF Akadēmiskā konference "Mācību metodiskā un zinātniskā darba integrācija studiju procesā" publikācijas, Latvija, Rīga, 27.-27. aprīlis, 2018. Rīga: 2018, 60.-63.lpp. ISBN 978-9943-22-070-5.
 8. Urbans, M., Malahova, J., Ieviņš, J., Radin, M. Modern Trends in Disaster Planning and Management in the World and in Latvia. WSEAS Transactions on Environment and Development, 2019, 164.-175.lpp. e-ISSN 2224-3496.
 9. Malahova, J., Urbans, M., Kiseļovs, G., Studiju priekšmeta "Objekta risku novērtēšana" kvalitātes. No: RTU IEVF Akadēmiskā konference "Mācību metodiskā un zinātniskā darba integrācija studiju procesā" publikācijas, Latvija, Rīga, 27.-27. aprīlis, 2018. Rīga: 2018, 75.-77.lpp. ISBN 978-9943-22-070-5.
 10. Urbans, M., Malahova, J., Ieviņš, J. Civil Defense System in Latvia and identified drawbacks in Riga. Rural development 2017 : bioeconomy challenges : proceedings of the 8th international scientific conference, 23-24 November, 2017, Aleksandras Stulginskis University, 2017, p. 1350-1355. <http://doi.org/10.15544/RD.2017.055>, <https://hdl.handle.net/20.500.12259/104452>

Darba aprobācija studentu apmācībā notikusi šādos mācībuursos:

1. ICA 301 Civilā aizsardzība 1.0 KP (Atb. Jeļena Malahova);
2. ICA 405 Ārkārtējo situāciju vadība un modelēšana 3.0 KP (Atb. Jeļena Malahova);
3. ICA 406 Objekta risku novērtēšana 3.0 KP (Atb. Jeļena Malahova).

1. TEHNOGĒNĀS VIDES STĀVOKLIS UN NOZĪMĪGUMS

1.1. Tehnogēnās vides būtība

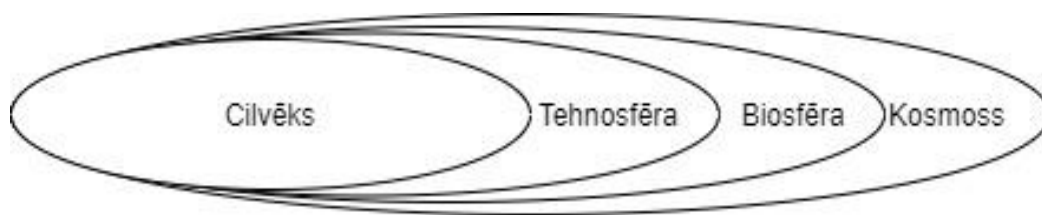
Liela daļa cilvēku mūsdienās uzskata, ka tehnoloģijas atvieglo viņu dzīvi. Šāda pieņēmuma pamatā ir līdzšinējā cilvēces attīstības gaita, jo īpaši - straujā industrializācija 20. gadsimtā. Cilvēku un sabiedrības efektīvai un mērķtiecīgai attīstībai nepieciešams sociālās vides, infrastruktūras un tehnoloģiju līdzsvars. Tehnogēnās avārijas sekas PBO ir ļoti atšķirīgas, un tām var būt ekonomiskā, sociālā, ekoloģiskā un pat politiskā ietekme. Viena no uzskatāmākajām drošības vadības iezīmēm ir drošības principu nozīme. Lai sistematizētu un definētu vienotus drošības apsvērumus, ir svarīgi identificēt un analizēt kopējās drošības sistēmas principu grupas ar cieši saistītu saturu.

21. gadsimtā vairums cilvēku dzīvo un strādā lielajās pilsētās, un tas viņiem dod vērā ņemamas priekšrocības salīdzinājumā ar lauku reģionu iedzīvotājiem. Piemēram, lielās pilsētās dzīvojošajiem ir lielākas iespējas pašattīstībai un izaugsmei, iespējas atrast sev interesējošu vaļasprieku un darbu, kas ļauj efektīvi realizēt savas zināšanas un sasniegt atbilstošu dzīves līmeni. Visas pasaules pilsētas ir mākslīgi veidotas, tās ir izveidojis cilvēks, lai pasargātu sevi no dabas parādību nelabvēlīgās ietekmes, piemēram, no vētrām, aukstuma, plūdiem un tamlīdzīga veida ietekmes. Šādu mākslīgu vidi dēvē par tehnogēnu vidi jeb par tehnosfēru vai urbosfēru. Mūsdienu pilsētās infrastruktūras priekšrocības tiek izmantotas ne tikai dzīves apstākļu uzlabošanai, bet arī ražošanai, kas bieži ir saistīta ar bīstamām tehnoloģijām un bīstamu vielu uzglabāšanu mazā un lielā apjomā. Bīstamo vielu aprites apmērs un pārstrādes rūpniecības preču daudzums katru gadu pieaug, un līdz ar to pieaug arī patēriņš un bīstamību kvalificējošie radītāji. Saskaņā ar Pasaules Bankas datiem vairāk nekā 50 % pasaules iedzīvotāju dzīvo pilsētu teritorijās (2007. gadā pilsētu iedzīvotāju skaits bija vienāds ar lauku iedzīvotāju skaitu), bet 2050. gadā šī attiecība pārsniegs 65 %. Pilsētās, aizņemot tikai 3 % no zemes platības, saražo vairāk nekā 50 % no pasaules IKP.⁴

Tehnosfēra kā globālā sistēma īpaši strauji attīstījās 20. gadsimtā, un, nepalēninoties attīstības tempam, ir radījusi pašlaik aktuālu problēmu – pārmērību. Šo sistēmu ir arvien grūtāk kontrolēt, un tā ietekmē arī citas sistēmas, piemēram, biosfēru. Turpmāk tekstā (1.1. att.) ir redzama cilvēka un apkārtējās vides savstarpējās iedarbības shēma, kur cilvēks ir attēlots kā vides elements, kas spēj ietekmēt vienu no vides sastāvdaļām, tādējādi ietekmējot arī pārējās vides daļas – tā dēvētais domino jeb ķēdes efekts. Zinātniskajā literatūrā šis efekts nav vienoti definēts, tomēr vairāki tā formulējumi apkopoti pētnieka A. Necci (*A. Necci*) pētījumā. Vienā no tiem ir skaidrots, ka domino efekts ir nelaimes gadījumu kaskāde (domino notikumi), ja iepriekšējā negadījuma sekas palielina izrietoša apdraudējuma iespējamību, kas telpā un laikā noved pie lielākas avārijas sekām.⁵ Kopumā konstatējams, ka domino efekts ir parādība, kad viens negadījums var provocēt citu negadījumu ar smagākām sekām nekā sākotnējā negadījuma sekas. Šis efekts skaidri redzams globālās sasilšanas kontekstā, jo visas pasaules tehnogēnā vide nekontrolēti ietekmē biosfēru un globālā mērogā notiek procesi, ko cilvēki nespēj kontrolēt, piemēram, vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanās un ozona slāņa samazināšanās. No sinerģētikas viedokļa tehnovide ir atklāta sistēma, kur notiek informācijas un enerģijas apmaiņa, tātad tā spēj reaģēt uz citu sistēmas elementu iedarbību un rezonēt.

⁴ Kobza, N., Hermanonowicz, M. (2018). How to use technology in the service of mankind? Sustainable development in the city. *IFAC Papers On Line*. Vol. (51-30), pp. 340-345.

⁵ Necci, N.A., Cozzani, V., Spadoni, G., Khan, F. (2015). Assessment of domino effect: State of the art and research. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. (143), pp. 3–18.



1.1. att. Cilvēka un vides savstarpējās iedarbības shēma.⁶

Zemes biosfēra ir veidojusies dabas un cilvēka mijiedarbības rezultātā. Tā ir funkcionējoša vienība ar specifiskām iezīmēm un likumsakarībām, tā ir vienota pasaules globāla ekosistēma, kas eksistē uz zemes un attīstās kopā ar apkārtējo vidi. D. Orlovs (D. Orlov) grāmatā *Shrinking the Technosphere* skaidro, ka biosfēra ir dabiska vide, kurā eksistē visa dzīvība un kas nodrošina mums gaisu, dzeramo ūdeni, kā arī savvaļas un kultivētus pārtikas produktus, celtniecības materiālus, dabiskas šķiedras, kažokādu, ādu un vēl daudz ko citu. Turpretī tehnosfēra ir parazitisks veidojums, kas radies biosfērā un nodarbojas ar tās degradēšanu.⁷ Ir izjaukta dabas un cilvēka harmoniska mijiedarbība, un to veicināja cilvēka tieksme dabas resursus izmantot ražošanā, pretī dodot atkritumus. Ņemot vērā šī procesa apmērus visā pasaulē, var secināt, ka šī ir globāla tendence. Pēc zinātnieku O. Poboļa (O. Pobol) un G. Firsova (G. Frisov) domām, Apvienoto Nāciju Organizācija (turpmāk – ANO) centieni īstenot pasaules ekonomikas ilgtspējīgas attīstības koncepciju, kas vērsta uz mūsdienu tehnoloģiju negatīvās ekoloģiskās ietekmes mazināšanu pēc pašai izslēgšanas, atjaunošanas un noslēgta cikla principiem izrādījās neefektīva,⁸ tāpēc joprojām aktuāli ir samazināt esošo tehnoloģiju bīstamību un apzināties iespējamo apdraudējumu.

Tehnogēnās vides pētījumi ir apkopoti daudzās publikācijās, kurās aprakstīta to struktūra un evolūcija. Salīdzinot ar iepriekšējiem cilvēces attīstības posmiem, dabas apdraudējumi nav ievērojami mainījušies, tomēr jāuzsver, ka dabas ietekme uz tehnogēno vidi, piemēram, plūdu gadījumā, rada drastiskākas sekas nekā pirms 100 gadiem. Rezultātā plūdu un citu apdraudējumu radītās sekas ar tās pavadošo domino efektu rada vērienīgākus zaudējumus, jo īpaši tad, ja ir skarti tehnovides PBO.

Atbilstoši pasaules zinātniskajā un mācību literatūrā minētajām tehnogēnās vides definīcijām, tehnovide (biosfēras daļa, ko cilvēks pārveido par tehniskajiem objektiem) nav nekas svešs biosfērai; tas ir kvalitatīvi jauns tās attīstības posms.⁹ Tehnovide ir biosfēras reģions pagātnē, ko cilvēks pārveidoja par tehniskiem un tehnogēniem objektiem, radot apdzīvojamu vidi. Tas ir priekšmetu, objektu, materiālo procesu un sabiedrības saražoto produktu kopums globālā mērogā. Tehnogēno vidi mēdz minēt arī saistībā ar zemes ģeosfēru, ko ietekmē ražošanas procesi un kas pārpildīta ar tās produktiem. Tehnovide ņem virsroku pār biosfēru, un tā rezultātā uz planētas ir palicis ļoti maz teritoriju ar dabisko ekosistēmu.¹⁰

Tehnovide ir dzīves vide, ko cilvēks, izmantojot tehniskos līdzekļus, izveidojis dabiskajā vidē, lai to pilnvērtīgāk izmantotu cilvēka sociāli ekonomiskajām vajadzībām.¹¹

Vienlaikus tehnovide ir biosfēras daļa, ko cilvēks pārveidoja, tieši vai netieši izmantojot tehniskos līdzekļus, lai tā nodrošinātu cilvēces sociāli ekonomiskās vajadzības. Tā

⁶Барышев, Е.Е., Волкова, А.А., Тягунов, Г.В., Шишкунов, В.Г. (2014). *Ноксология*. Екатеринбург: Уральский федеральный университет. 5 стр.

⁷ Orlov, D. (2016). *Shrinking the Technosphere*. New Society. Publishers: New Society Publishers. 9.p.

⁸ Поболю, О.Н., Фирсов, Г.И. (2013). Техносфера, ноосфера и экологические проблемы современных техногенных систем. Томск: *Вестник ТГУ*, т.18, вып.3, стр. 1073-1076.

⁹ Потапов, Г.П. (2000). *Экологические основы техносферы*. Казань: Экоцентр. 12 стр.

¹⁰ Мандра, Ю. А., Кознеделева, Т. А., Зеленская, Т. Г., Еременко, Р. С., Васильева, Н. Н. (2015). *Учение о биосфере*. Ставропольский государственный аграрный университет. Ставрополь. 98 стр.

¹¹ Барышев, Е.Е., Волкова, А.А., Тягунов, Г.В., Шишкунов, В.Г. (2014). *Ноксология*. Екатеринбург: Уральский федеральный университет. 5 стр.

ir noslēgta, reģionāla vai globāla tehnoloģiskā sistēma, kas attiecas uz izmantojamo dabas resursu apriti. Tā parasti aptver teritorijas, kur atrodas pilsētas, ciemati, ražošanas apgabali, uzņēmumi, tautsaimniecības un enerģētikas objekti, transporta infrastruktūra un kur notiek sadzīves procesi.¹²

Tehnovide ir visu funkcionējošo un veco, nestrādājošo objektu un to blakusproduktu kopums, kas parādījisies uz zemes un kosmosā. Ar šiem blakusproduktiem parasti ir saistītas ūdens, gaisa un zemes ķīmiskā sastāva un zemes garozas slāņu izmaiņas (zemes apstrāde), kā arī mežizstrādes sekmētās biogeocenotiskās izmaiņas, lauksaimniecības zemes apstrāde, purvu nosusināšana un mākslīgo, ūdenskrātuvju izveidošana. Tehnovide ir vides un laika sistēma, kas ir sociāli organizēta tehniskās matērijās.¹³

Tehnovide ir civilizācijas dzīvības vide, kas attīstījusies rūpniecības un tehnoloģiju revolūcijas rezultātā. Eksistē dažādi tehnovides līmeņi:

- mākslīgā pasaule, kas radīta, lai pārveidotu dabu un apmierinātu cilvēka vajadzības;
- tehniskās un citas zināšanas, tehnoloģijas, kas veido tehnosfēras intelektuālo kodolu;
- sociālie institūti, tehniski organizatoriskie sakari, ar kuru palīdzību cilvēki izveido tehnovides funkcionālās nozares, kas nodrošina tās darbību un attīstību.¹⁴

Analizējot šo terminu, var secināt, ka jēdzienu *tehnovide* parasti saprot kā biosfēras daļu, ko pārveidojis cilvēks, lai viņam būtu ērti dzīvot un nodrošināt sev drošus apstākļus. Tas iever visu veidu apdzīvotas vietas, agrocenozes, derīgo izrakteņu vietas un infrastruktūru, ko izmanto cilvēks savu vajadzību apmierināšanai. Paradokss ir cilvēku uzskats par kontroli pār dabu, ko šķietami nodrošina tehnovide, un pieņēmums, ka iegūtā kontrole ir proporcionāla cilvēka drošības un labsajūtas līmenim.

Tehnovidei tuvs termins, ko bieži izmanto vienā no ekoloģijas nozarēm, ir urboekoloģija, urbosfēra. Termins *urbosfēra*, kas radies no vārda *urbanizācija*, attiecas uz ģeogrāfisko apkārtni, ko apgūst vai kas apgūta ar pilsētas būvniecību–pilsētām, ciematiem un tos savienojošām komunikācijām, un kas kaut kādā mērā aptver iedzīvotāju intereses (atpūtas vieta, darba vieta, resursu ieguves vai cita vieta).¹⁵ Zinātnieki E. Lihačeva (*E. Likhachev*), D. Timofejevs (*D. Timofeev*) un A. Makkavejevs (*A. Makkaveev*) terminu *urbosfēra* definē kā dabisku antropogēnu sistēmu, kas veido dabas un cilvēka radīto formu un arhitektūras objektu simbiozi un ko ietekmē specifiski ģeoloģiskie un ģeomorfoloģiskie apstākļi, jo ir īpašs poliģenētiskās virsmas veids.¹⁶ Urbosfērai kā sistēmai piemīt standarta īpašību kopums: struktūra, stabilitāte, hierarhija un organizācija, un tajā ietilpst ne tikai pilsētas, bet arī satiksmes infrastruktūra, darba vietas un citi pilsētas vides elementi. Urbosfēra ir biosfēras daļa, ko cilvēks pārveidojis, lai nodrošinātu savas vajadzības, kā arī komfortu un drošus apstākļus. Tātad, termini *urbosfēra* un *tehnovide* jēdzieniski un saturiski ir gandrīz identiski, tikai tos izmanto dažādās zinātnes jomās–ekoloģijā un urboekoloģijā.

Sākotnēji tehnovides mērķis bija palīdzēt cilvēkiem un tos aizsargāt, taču ar laiku tehnovide pati radīja apdraudējumu mūsdienu sabiedrībai, ja to pienācīgi nekontrolē un nepārvalda. Jebkurš ražošanas process var apdraudēt darbiniekus, apkārtējo vidi un cilvēkus ārpus ražošanas objekta, tāpēc ir svarīgi pieņemt pamatotus lēmumus¹⁷ attiecībā uz to, kā

¹² Белов, С.В., Ильницкая, А.В., Козьяков, А.Ф., Морозова, Л.Л., и др. (2005). *Безопасность жизнедеятельности*. Москва: Высшая школа. 5-е изд., испр. и доп. 6 стр.

¹³ Некрасова, Н.А., Некрасов, С.И. (2010). *Философия техники*. Учебник. Москва: МИИТ. 18.стр

¹⁴ Калининкова, М.В. (2010). Социальные аспекты экологизации современного общества. *Известия Саратовского университета*. Т. 10. Сер. Социология, Политология. Вып. 4, стр. 11-13.

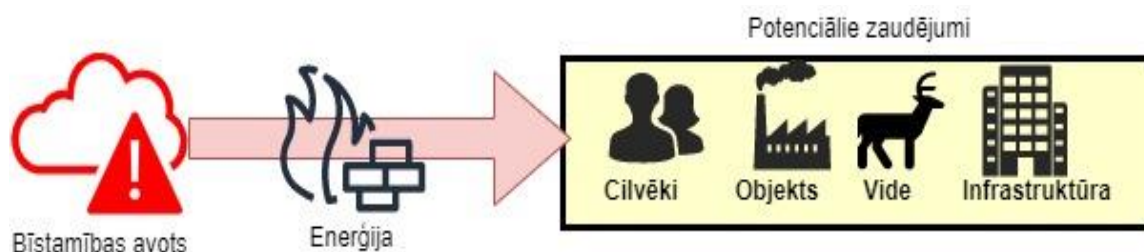
¹⁵ Лихачева, Э.А., Тимофеев, Д.А. (2009). *Очерки по геоморфологии урбосферы*. Москва: Медиа-ПРЕСС. 3 стр.

¹⁶ Лихачева, Э.А., Тимофеев, Д.А., Макавеев, А.Н. (2011). Системный анализ урбосферы и ее границ. *Георесурсы. Геоэнергетика Геополитика*, том 3, № 1. стр. 1.

¹⁷ Вентцель, Е.С. (1980). *Исследование операций*. Москва: Наука. 10 стр.

samazināt bīstamību. Viens no ekonomiskās stabilitātes principiem jebkurā valstī un reģionā ir radīt drošu tehnovidi, jo nekontrolētu procesu negatīvās sekas vienmēr rada sociālus, ekonomiskus un vides zaudējumus. Tāpēc ir būtiski paredzēt iespējamo zaudējumu apmēru tehnovides objektā, izmantojot zaudējumu novērtēšanas metodiku. Pamatotas metodikas izstrādi apgrūtina lielais informācijas apjoms par tehnovides objektu, tā parametriem un tajā izmantotajām tehnoloģijām, kā arī par apkārtējās vides objektiem, iedzīvotājiem un citiem aspektiem. Zaudējumu apmēra novērtēšana ir svarīga apriorās un aposteriorās bīstamības novērtēšanas posmā, lai efektīvāk likvidētu avārijas sekas, lai pamatotu naudas ieguldījumus drošības sistēmas uzlabošanā un pilnveidošanā, un lai palīdzētu apdrošināšanas uzņēmumiem, kas nosaka apdrošināšanas prēmijas apmēru.

Tehnovide ietekmē biosfēru, un šajā darbā uzmanība galvenokārt vērsta uz drošības problēmām un konkrēti- uz tehnogēnās vides drošību. Iedzīvotājiem vislielāko apdraudējumu, izņemot bruņotos konfliktus, rada PBO, piemēram, ķīmiskās rūpnīcas, elektrostacijas, bīstamo vielu noliktavas un līdzīgi objekti. Ņemot vērā apdraudējuma mērogu un ietekmi uz biosfēru, jāizceļ objekti, kas būvēti, izmantojot fizisko darbu un cilvēku zināšanas, un kas avārijas gadījumā vistiešākajā veidā apdraud pārējos vides elementus. Bīstamības ilustrācija sniegta 1.2. attēlā.



1.2. att. Bīstamības ilustrācija. (Avots: autora veidots).

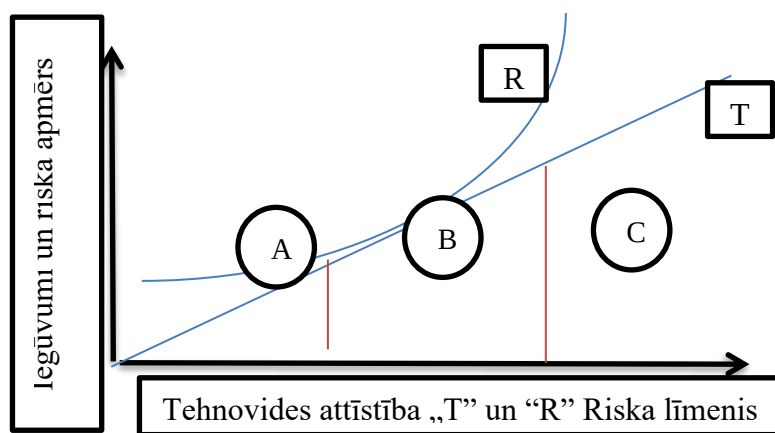
Mūsdienu tehnovides pieaugošās bīstamības un apdraudējumu dēļ drošības jautājumi joprojām ir aktuāli, tomēr galvenā problēma ir tā, ka esošos apdraudējumus nevar pilnīgi likvidēt un cilvēkiem sava komforta nolūkā jāsamierinās ar pastāvošo apdraudējuma līmeni. Sociāli ekonomiskās sekas PBO avārijas gadījumā ir kopējie zaudējumi, kas saistīti ar iedzīvotāju, organizāciju, pašvaldību un valsts organizāciju zaudējumiem, kas rodas, lokalizējot avārijas sekas un atjaunojot dzīves līmeni avārijas skartajā teritorijā, kā arī ar izdevumiem, kas savlaicīgi jāparedz plānojot teritoriju attīstību, lai nepieļautu iespējamās avārijas eskalāciju,¹⁸ un lai, budžeta plānošanas laikā paredzētu un būtu gatavi segt ārstniecības pakalpojumu izmaksas un izmaksāt kompensācijas cietušajiem. Ekonomiskie zaudējumu radītāji ir ieguldījumi preventīvajos pasākumos, kas saistīti ar potenciālā zaudējuma samazināšanu iedzīvotāju veselībai, darbiniekiem, izmaksas pabalstu izmaksai par nāvi, ārstēšanos, juridisko un fizisko personu materiālo vērtību zaudējumi¹⁹. Zaudējumi parasti tiek noteikti avārijas laikā vai pēc avārijas, un materiālos zaudējumus, kas avārijas rezultātā radīti fiziskām personām, juridiskām personām vai valstij kopumā, ir iespējams novērst. Zaudējumu vispārējā shēma atspoguļota 11. pielikumā. Tiešie zaudējumi rodas tieši avārijas skartajā teritorijā, un tie attiecas uz skarto īpašumu un cilvēkiem, tomēr parasti tie ir tikai daļa no kopējiem zaudējumiem, jo ar avāriju var būt saistīti apdrošināšanas uzņēmumi, ģimenes locekļi, valsts struktūras un citi subjekti, kas saistīti ar cietušo cilvēku vai

¹⁸ Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. (2018). High hazard objects exploitation in rural regions and identified risk management problems in Latvia. *Proceedings of the 2018 International Conference "Economic science for rural development"* No 47. Jelgava: LLU ESAF, pp. 341-350.

¹⁹ Кабанов, Л.П., Исламов, Р.Т., Деревянкин, А.А., Жуков, И.В., Берберова, М.А., Дядюра, С.С. (2011). Оценка риска для АЭС с ВВЭР. *Материалы 7 международной научно-технической конференции "Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР. ОКБ "Гидропресс"*.

uzņēmumu, turklāt jāņem vērā arī ekoloģiskie zaudējumi. Zaudējumus, kas nav tiešie zaudējumi, sauc par netiešiem zaudējumiem, un arī tie ir uzskaitīti 11. pielikumā. Tie veido sistēmu, kur katru elementu ir ļoti sarežģīti novērtēt, jo īpaši gadījumos, kad kaitīgās sekas saglabājas ilgtermiņā.

Tehnovei piemīt galvenās riska izmaiņu likumsakarības, kas parādītas 1.3. attēlā. Pirmā veida risks pieaug proporcionāli ietekmes ilgumam, kā rezultātā ar laiku zaudējumu apmērs pārsniedz sabiedrības ieguvumus no tehnovides darbības. Līdz 20. gadsimtam cilvēces dzīve noritēja A sistēmas periodā, kas nozīmē, ka ar ražošanu saistīto ieguvumu bija vairāk nekā zaudējumu. 20. gadsimtā sākās B sistēmas periods, kas nozīmē, ka sistēmas izaugsmes temps samazinās, taču bīstamība palielinās. C sistēmas periods uzskatāms par sliktāko no trim, jo tehnovide nespēj nodrošināt pietiekamus ieguvumus sabiedrībai, kā rezultātā sistēmas darbībai galvenokārt būs negatīva ietekme uz dzīves vidi, un tehnovides darbības rezultātā radīsies pieaugošs un nesamērīgs biosfēras piesārņojums, ar ko cīnīties ir ļoti grūti.



1.3. att. Tehnovides galveno riska izmaiņu likumsakarības.²⁰

Pasaulē ir noteikti divi galvenie principi, no kuriem ir atkarīgs drošības līmenis PBO. Pirmais princips ir *ALAPA* (angliski—*as low as practicably achievable*) jeb absolūtas drošības princips, kas paredz nepieciešamību noteikt praktiski zemāko iespējamo apdraudējuma līmeni. Šī principa galvenā nepilnība ir neefektīvs naudas izlietojums vai pat bīstamības palielināšanās pretēji vēlamajam tās samazinājumam. *ALAPA* principa galvenais izaicinājums ir noteikt pieļaujamo bīstamības līmeni jeb to, cik drošam jābūt objektam, tāpēc pasaules PBO bīstamības novērtēšanai pašlaik izmanto *ALARA* principu (angliski—*as low as reasonably achievable*), kas paredz noteikt tik zemu apdraudējuma līmeni, kādu saprātīgi ir iespējams sasniegt,²¹ t. i., lai bīstamība būtu samazināta līdz pieļaujamajam līmenim. Pieļaujamais risks ietver pieļaujamos zaudējumus, kas nepārsniedz līdzekļus, kuri nepieciešami radušos zaudējumu apmaksai, nepazeminot kopējo dzīves līmeni. Savukārt nepieļaujamais risks samazina dzīves kvalitāti zem kritiskā līmeņa, un tā atjaunošanai paredzētos naudas līdzekļus nav iespējams piešķirt nepieciešamajā apmērā, piemēram, tiek pārsniegts budžets. Tas var izraisīt sabiedrības neapmierinātību, masu nekārtības un politiskā kursa izmaiņas. *ALARA* principu pasaulē mēdz apzīmēt arī citādi. Citi šim principam ļoti tuvi un līdzīgi nosaukumi apkopoti 1.1. tabulā. Vispirms tika ieviests akronīms *ALAP*, 20. gadsimta 70. gadu sākumā to aizstāja ar *ALARA-ASV* un ar *ALARP-Eiropā*.²²

²⁰ Владимиров, В.А. (2012). Катастрофы и социально-экономическое развитие. *Стратегия гражданской защиты: Проблемы и исследования*. 1(8) том 5. стр. 197-221.

²¹ Блэк, С.К., Нихаус, Ф. (1980). Насколько безопасно “слишком” безопасное? *Бюллетень МАГАТЭ*, т.22, N1. стр.47-58. Pieejams: <URL> https://www.iaea.org/sites/default/files/22102084050_ru.pdf

²² Wilson, R. (2002). Precautionary principles and risk analysis. *Technology and Society Magazine, IEEE*, Vol. 21(4), pp. 40–44.

Bīstamības novērtēšanas principi (Avots: autora veidots).

Nr.	Saīsinājums	Skaidrojums angļu valodā	Skaidrojuma tulkojums
1.	ALAP	<i>as low as practicable</i>	pēc iespējas zemāk
2.	ALARA	<i>as low as reasonably achievable</i>	tik zemu, cik saprātīgi iespējams
3.	ALARA	<i>as low as reasonably attainable</i>	tik zemu, cik pamatoti sasniedzams
4.	ALARP	<i>as low as reasonably practicable</i>	tik zemu, cik praktiski iespējams
5.	SFAIRP	<i>so far as is reasonably practicable</i>	ciktāl tas praktiski iespējams

Zaudējumu novērtēšana ir PBO vadības pamata pienākums, lai:

- sistematizētu un uzskaitītu visas avārijas pēc vienotiem ekonomiskiem kritērijiem;
- novērtētu PBO riskus;
- pieņemtu pamatotus lēmumus drošības sistēmas ietvaros;
- novērtētu bīstamības un iespējamo zaudējumu samazināšanas pasākumus.

Vispusīga sabiedrības un tehnoloģiju pretestība pret iespējamām katastrofām ir mākslīgi izveidota vide, kas attiecas uz starpnozaru pētījumu jomu.²³ Lai sniegtu visaptverošu, neatkarīgu viedokli un apskatītu visas iespējamās iedarbības kopsakarības un elementu mijiedarbību sociotehniskajā sistēmā, katastrofu izpēti procesā jāiesaista dažādu zinātnes jomu pētnieki, kuriem ir atšķirīga dzīves pieredze un kas izmanto dažādas pētniecības metodes. Piemērs: inženieriem, projektējot un būvējot būves, celtnes, infrastruktūras objektus un citas konstrukcijas, jāievēro potenciālais apdraudējums un sliktāko negadījumu varbūtības scenāriji, kas aktuāli attiecīgajā pasaules reģionā. Par konstatētiem trūkumiem jāinformē sabiedrību, uzņēmējus un valsts uzraudzības iestādes, kuru pienākums ir pēc iespējas samazināt ar avārijas varbūtību saistītos riskus, tādējādi efektīvi mazinot iespējamās zaudējumus nākotnē. Atbilstoši N. Levesones (*N. Leveson*) pētījumā izteiktajam viedoklim, drošība ir sistēmas pamata sastāvdaļa, kas veidojas tehnisko, fizisko un cilvēcisko komponentu mijiedarbības rezultātā, bet sistēma sastāv no savstarpēji saistītām komponentēm, kas atrodas dinamiskā līdzsvara stāvoklī, izmantojot atgriezenisko saiti un aizliegumu kontroli, lai sekmētu sistēmas drošu darbību.²⁴ Negadījumi parasti notiek tad, kad tiek zaudēta vadības, organizācijas vai tehnikas kontrole un kad tiek pārkāptas sistēmas drošības robežvērtības. Jo sarežģītāka ir sistēmas uzbūve un jo vairāk tai ir apakšsistēmu un elementu, jo grūtāk ir izsekot un saprast šīs sistēmas likumsakarības, un līdz ar to ir apgrūtināts riska novērtējums. Tāpēc ir nepieciešams identificēt un modelēt visus iespējamās negadījumus, kā arī paredzēt to bīstamības sekas. Negadījumus mēdz atšķirīgi interpretēt, un dažādās valstīs statistikas dati nav akurāti, jo nav vienotas zaudējumu novērtēšanas un seku apzināšanas sistēmas. Negadījums, kas vienā valstī var būt valsts mēroga katastrofa, citā valstī var tikt novērtēts kā avārija. Tas galvenokārt ir atkarīgs no valsts lieluma un seku interpretācijas.

Zinātniskajā literatūrā nav vienotas tehnogēnā apdraudējuma definīcijas, tāpēc izmantosim zinātnieka K.K.N.B. Adikarama (*K.K.N.B. Adikaram*) sniegto definīciju: tehnogēnie vai antropogēnie apdraudējumi (sarežģītas ĀS vai konflikti, bads, iedzīvotāju

²³ Faber, M.H., Giuliani, L., Revez, A., Jayasena, S., Sparf, J., Mendez, J.M. (2014). Interdisciplinary approach to disaster resilience education and research. *Procedia Economics and Finance*, Vol.18, pp. 601-609.

²⁴ Leveson, N.G. (2011). Applying systems thinking to analyze and learn from events. *Safety Science*. Vol.49 (1), pp.55–64.

evakuācija, rūpnieciskās avārijas nelaimes gadījumi un satiksmes negadījumi), kas ir īpaši cilvēku izraisīti notikumi, kas notiek apdzīvotās vietās vai to tiešā tuvumā, var ietvert vides degradāciju, piesārņojumu un nelaimes gadījumus.²⁵ Tātad, tehnogēns apdraudējums ir cilvēka darbības vai bezdarbības izraisīts notikums, piemēram, laicīgi neveicot nepieciešamos preventīvos pasākumus. Tehnoloģiski sarežģīti procesi, kas netiek kontrolēti vai tiek nepietiekami kontrolēti, agrāk vai vēlāk var izraisīt avāriju.

Visā pasaulē tiek ekspluatēti tūkstošiem potenciāli bīstamu tehnoloģisko objektu, kuros glabājas daudz bīstamo vielu, piemēram, radioaktīvo, toksisko un sprādzienbīstamo vielu, kas avārijas vai vienkāršas kļūdas gadījumā var izraisīt ārkārtas situāciju vai katastrofu. Tehnogēnām katastrofām parasti ir notikuma sākumpunkts, bet beigu punkta var arī nebūt. Šādu katastrofu sekas ir ļoti grūti prognozēt, un radīto zaudējumu apmērs ļoti ilgu laiku var nemazināties, turpinot negatīvi ietekmēt tautsaimniecību, piemēram, radiācijas vai ķīmisko vielu noplūdes gadījumā.

Pēdējo 20 gadu laikā daudzās bīstamās ražošanas nozarēs visā pasaulē ir veiktas būtiskas izmaiņas, lai nodrošinātu tehnoloģisko iekārtu bezavārijas ekspluatāciju vai lai līdz minimumam samazinātu avārijas varbūtību. Konkurētspēja un liberalizācija radīja ievērojamas priekšrocības tirgū, uzlabojās produktu un pakalpojumu kvalitāte. Vienlaikus jauni procesi un sistēmas sarežģīja darbu, jo palielinājās enerģijas rādītāji (spiediens un temperatūra), pieauga vielu apjomi, samazinājās uzglabāšanas vietas un veidojās nozaru un tehnoloģiju savstarpējā atkarība. Ir palielinājies plaša mēroga negadījumu risks, kas var radīt būtiskus zaudējumus uzņēmuma darbībai un reputācijai, kā arī cilvēkiem un valsts ekonomikai.²⁶

Valstī ir jāsamazina tehnogēno avāriju iespējamība, lai pēc iespējas samazinātu zaudējumus videi, ekonomikai un cilvēkiem. Apriora novērtējuma ietvaros svarīgi prognozēt iespējamās sekas, lai sagatavotos iespējamajam apdraudējumam un lai pieņemtu nepieciešamos lēmumus; tas ir visbūtiskākais novērtējums drošības vadības procesā. Apriorajā novērtējumā jāiekļauj PBO ekspertīzes metodoloģija vides un ekonomisko zaudējumu novērtēšanai un rekomendācijas PBO apdraudējumu aprēķināšanai un samazināšanai. Šis novērtējums no aposteriora novērtējuma galvenokārt atšķiras ar to, ka nav pieejami dati par avāriju, izņemot iespējamās scenārijus un varbūtību.

1.2. Paaugstinātas bīstamības objektu bīstamības aktualitāte

Pēdējos 100 gados notikušas daudzas avārijas, kas saistītas ar specifiskiem procesiem PBO, piemēram, ar paaugstinātu spiedienu vai temperatūru. Šī darba ietvaros nav iespējams apskatīt visu avāriju cēloņus un sekas, tāpēc ir apkopota informācija par, pēc autora domām, nozīmīgākajām avārijām un to radītajām sekām. Viens no veidiem, kā sagatavoties ĀS, ir pārzināt ar drošības sistēmas bīstamajiem procesiem saistītos elementus–uzņēmuma vadību, atbildīgās personas valsts un pašvaldības iestādēs, bīstamo ķīmisko vielu dzīves ciklā veiktās darbības, ieskaitot ražošanu, izmantošanu, uzglabāšanu, apsaimniekošanu, transportēšanu un atkritumu likvidēšanu, jo noplūde, ugunsgrēks un sprādziens var notikt jebkurā laikā.²⁷ Šie

²⁵ Adikarama, K.K.N.B., Nawarathna, C.M. (2018). Business sector preparedness in disaster management: case study with businesses in Southern Sri Lanka in both aspects of natural and technological disasters. *Procedia Engineering*. Vol. 212, pp. 918–920.

²⁶ Zio, E., Aven, T. (2013). Industrial disasters: Extreme events, extremely rare. Some reflections on the treatment of uncertainties in the assessment of the associated risks. *Process Safety and Environmental Protection*. Vol. 91, pp. 31–45.

²⁷ Xuanya, L., Jingjing, L., Xinwei, L. (2017). Study of dynamic risk management system for flammable and explosive dangerous chemicals storage area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.(49), pp. 983-988.

negadījumi parasti ir saistīti ar nepareizu darbību vai bezdarbību, haotisku pārvaldību, iekārtu bojājumiem un citiem iespējamajiem apdraudējuma faktoriem. Jāatzīmē, ka ugunsgrēku izmeklēšana, ko veic, lai noskaidrotu ugunsgrēka tehnisko iemeslu, ir viena no grūtākajām izmeklēšanām.²⁸ Saskaņā ar termodinamikas otro likumu nedzīvajā dabā visu laiku paaugstinās entropija, tātad palielinās haoss un dezorganizācija,²⁹ un jebkura veida PBO ir pakļauts šī likuma nosacījumiem. Tas nozīmē, ka savlaicīgi nerīkojoties un neplānojot atjaunošanas pasākumus, ar laiku tas var izraisīt tehnogēnās sistēmas sabrukumu ar negatīvām sekām. Entropijas terminu 1865. gadā ierosināja vācu fiziķis R. Klauzijs (*R. Clausius*), izvirzot hipotēzi, ka izolētā sistēmā enerģijas pašplūsma var pāriet tikai no augstāka līmeņa uz zemāku, bet ne savādāk, tādējādi pašplūsmā entropijas samazināšanas procesi nenotiek.

Laika gaitā cilvēce spēra lielu soli civilizācijas attīstības virzienā, sākot ar primitīvu darba instrumentu, piemēram, lāpstas vai grābekļa izmantošanu, un beidzot ar cilvēka vadītām datortehnoloģijām. Fizisko darbu lielā mērā aizstāja intelektuālais darbs, vairākkārtīgi pieauga arī ražošanas apjomi un tas deva iespēju gandrīz visos bīstamajos objektos aizstāt cilvēkus, kas veic bīstamu darbu un kas ir pakļauti traumu riskam, tādējādi darbu padarot drošāku un paātrinot darba tempu. Līdz ar to mazinājās nepieciešamība izmantot fizisko spēku, atvērt un aizvērt tehnoloģisko iekārtu aizbīdņus, veikt monotonu manuālo darbu, atrasties sprādzienbīstamajās vietās un veikt citas darbības. Mūsdienās gandrīz visas šīs darbības var veikt ierīces, cilvēkam nospiežot atbilstošās vadības iekārtu pogas, atrodoties drošā attālumā no tehnoloģiskiem procesiem un vērojot procesus, un vadot sistēmas attālināti, piemēram, monitoros vai manometros.

Tehnoloģijām ir liela nozīme cilvēku drošības sekmēšanā, tomēr bez cilvēka līdzdalības efektīva ražošana nav iespējama. Cilvēka līdzdalība un ietekme uz tehnoloģiskajiem procesiem ne vienmēr ir tikai pozitīva. Esot vienatnē saskarē ar tehnogēno vidi, cilvēks kļūst par vienu no tās elementiem, kas ir tiešā kontaktā ar iekārtām, tās projektējot vai lietojot. Tomēr pastāv cilvēciskās kļūdas faktors, kas ir saistīts ar psihofizioloģiskiem procesiem.³⁰ Lai pēc iespējas samazinātu šī faktora iespējamo negatīvo ietekmi, mūsdienās eksistē vairākas zinātnes nozares, kas pēta šo problēmu, un šajā nolūkā radītas tādas zinātnes jomas kā inženierpsiholoģija un ergonomika. Ergonomika (grieķiski – *ergon* nozīmē *darbs*, bet *nomos* nozīmē *likums*) ir multidisciplināra zinātnes nozare, kas pēta ikvienu ar cilvēku saistītu aktivitāti.³¹ Ergonomikas uzdevums ir viegli izpildāmā veidā pielāgot darba procesus un darba vidi cilvēka psihiskajām un fiziskajām iespējām, lai nodrošinātu efektīvu darbu, neradot apdraudējumu cilvēka veselībai.³²

Inženierpsiholoģija ir zinātne, kas pēta sistēmu *cilvēks-tehnika* ar mērķi sasniegt vislielāko efektivitāti, kā arī attīsta psiholoģiskos pamatus: tehnikas konstruēšanu un tehnoloģiskās organizācijas vadīšanas procesu; tādu darbinieku atlasīšanu, kam piemīt nepieciešamās profesionālās īpašības; to darbinieku profesionālu apmācību, kas darbā izmanto sarežģītas tehniskās iekārtas.³³ No cilvēka, kas mūsdienu apstākļos strādā ar moderniem un sarežģītiem tehniskiem līdzekļiem, tiek sagaidīta ļoti liela fizioloģiskā un psiholoģiskā atdeve, precīza darba pienākumu izpilde, profesionalitāte, pilnīga savu iemaņu un spēju pielietošana darbā, jo tikai ar šādu pieeju ir iespējams samazināt bīstamību, kas pastāv, cilvēkam lietojot iekārtas. Abas šīs pieejas ir cieši saistītas ar tādu zinātnes jomu kā

²⁸ Kiseļovs, G., Urbans, M., Malahova, J. (2017). Izglītojamo apmācība ugunsgrēku izpētes veikšanā. *Akadēmiskās konference: "Mācību metodiskā un zinātniskā darba integrācija studiju procesā"*, 60-63.lpp.

²⁹ Пекелис, В. (1986). *Твои возможности, человек!*. Москва: Издательство «Знание», 27.стр.

³⁰ Харисов, Г.Х., Бирюков, Р.Н., Сидоренко, Г.Г., Мирзаянц, А.В. (2012). *Надежность технических систем и техногенный риск*. Москва, 49.стр.

³¹ Kaļķis, V., Roja, Ž., Kaļķis, H. (2015) *Arodveselība un riski darba*. Medicīnas apgāds. 472.lpp.

³² Kozlov, V., Večena, R., Ziemelis, V. (2002). *Darba aizsardzība*. Rīga: RTU izdevniecība. 59.lpp.

³³ Сергеев, С.Ф. (2008). *Инженерная психология и эргономика*. Москва: НИИ школьных технологий, 12.стр.

antropomaksimoloģija, kas pēta cilvēka maksimālo rezervju potenciālu.³⁴ Šis potenciāls ir svarīgs, cilvēkam risinot sarežģītas situācijas, kas var notikt PBO, un nozīmīga ir arī spēja ātri un pareizi rīkoties ārkārtas gadījumā. Augstākminēto pasākumu efektīva organizēšana PBO var padarīt to drošāku un atvieglot vadības procesu.

Sarežģīto tehnoloģisko sistēmu izveide dod civilizācijai varu ne tikai pār ekosistēmu un dabu, bet arī pār cilvēkiem, kurus varētu ietekmēt iespējamās avārijas sekas, piemēram, Fukusimas AES un Černobiļas AES avārija, kuru rezultātā iedzīvotāji bija spiesti evakuēties un uz ilgu laiku pamest savu dzīvesvietu. Neatkarīgas izmeklēšanas komisijas pārbaudēs konstatēts, ka viens no faktoriem, kāpēc Fukusimas AES nebija gatava avārijai, ir daudzas vadības procesu kļūdas, vieglprātība un nolaidība. Vairāki zinātnieki, tostarp N. Behlinga (*N. Behling*) apgalvo, ka, pamatojoties uz neatkarīgas izmeklēšanas komisijas atskaites datiem, viens no galvenajiem organizatoriskajiem trūkumiem joprojām ir nepietiekamas privāto uzņēmumu finanšu līdzekļu investīcijas, kas nepieciešamas, lai mazinātu drošības risku, kā arī valsts iestāžu bezatbildība un nevēlēšanās iesaistīties drošības jautājumu risināšanā, jo 2005. gadā Starptautiskā Atomenerģijas aģentūra ieteica Japānai pārskatīt drošības normas, kas saistītas ar iespējamo zemestrīču un cunami radīto apdraudējumu.³⁵ Tātad, ar sarežģītām tehnoloģijām un lieliem kapitālieguldījumiem saistītas problēmas pastāv arī attīstītajās valstīs. Amerikas Mehānisko inženieru biedrība (*American Society of Mechanical Engineers*) novērtēja, ka Japānas aptuvenās kopējās ar Fukusimas Daiči avāriju saistītās izmaksas bija aptuveni 500 miljardi USD.³⁶ Šie finansiālie zaudējumi neatspoguļo visus ar avāriju saistītos zaudējumus; kopējā cena ir daudz augstāka, jo vides atjaunošana ilgs daudzus gadus, turklāt nepieciešama augsnes attīrīšana, zemes platību atjaunošana slēgtajā zonā, un minētajās izmaksās nav iekļautas kompensācijas par ekonomiskiem zaudējumiem un cietušo neizmērojamām sāpēm un ciešanām, zaudējot savas mājas un tuviniekus. Šādas sekas ir cilvēces maksa par tehnoloģiju izmantošanu, nekontrolējot iespējamās ar PBO ekspluatāciju saistītos negadījumus. Viena no iespējām, kā uzlabot valsts uzraudzīto PBO drošību, ir ievērot normatīvo aktu prasības un veikt savlaicīgas pārbaudes PBO, kā arī ievērot noteikumus un pārbaudīt, vai PBO noteiktais drošības līmenis garantē drošību arī ārpus PBO teritorijas. Kopumā zaudējumus tehnogēnās vides ietvaros var attēlot shematiski (skatīt 11. pielikumu), un šī darba ietvaros tiek iedalīti PBO avārijas radītie tiešie zaudējumi un ekonomiskie zaudējumi.

Pasaulē 1942. gadā bija zināmi un identificēti tikai 600 000 ķīmisko vielu un to savienojumu, bet līdz ar straujo industriālo attīstību pēc Otrā pasaules kara līdz 1947. gadam šis skaits bija pieaudzis līdz 4 miljoniem,. Kopš tā laika kopējais identificēto ķīmisko vielu savienojumu skaits ir sasniedzis apmēram 11 miljonus.³⁷ Avārijas gadījumā ķīmisko vielu iztvaikošanas rezultātā var veidoties ķīmiskais mākonis, kas var būt neredzams un kam var nebūt specifiska aromāta, tomēr tas rada papildu apdraudējumu cilvēkiem, kas atrodas kaitīgo vielu ietekmes apgabalā. Diemžēl bez ķīmiskās rūpniecības mūsdienu pasaule nav iedomājama, tāpēc ir svarīgi nepieļaut ķīmisko vielu noplūdes, un noplūdes gadījumā veikt savlaicīgus novēršanas pasākumus. Pašreiz ir zināmi vairāk nekā 11 miljoni ķīmisko vielu

³⁴ Kuznetsov, V. V. (1982). The potentialities of man and anthropomaximology. *International. Social Science Journal. Published quarterly by Unesco*. Vol. XXXIV, No. 2, pp.277- 291.

³⁵ Behling, N., Williams, M. C., Behling T. G., Managi, S. (2019). Aftermath of Fukushima: Avoiding another major nuclear disaster. *Energy Policy* . Vol.126, pp.411–420.

³⁶ ASME (2012). Forging a New Nuclear Safety Construct, The American Society of Mechanical Engineers Presidential Task Force on Response to Japan Nuclear Power Plant Events, [tiešsaite]14 June 2012, [skatīts 2017.gada 14. novembrī]. Pieejams: https://www.asme.org/getmedia/73081de8-e963-4557-9498-f856b56dabd1/Forging_a_new_nuclear_safety_construct.aspx,

³⁷ Lönngren, R. (1992). *International approaches to chemicals control, a historical overview*. Stockholm: National Chemicals Inspectorate in Sweden, 19.pp.

savienojumu un vairāk nekā 500 no tiem ir bīstami cilvēkam, jo, nokļūstot cilvēka organismā caur elpceļiem, gremošanas traktu, ādu vai brūcēm, tie ir indīgi.

Pēc Norvēģijas Preču reģistra datiem ES tirgū 20. gadsimta 90. gadu beigās eksistēja ap 30 000 ķīmisko vielu un vairāki simti tūkstošu šo vielu kombināciju jeb ķīmisko produktu (lakas, krāsas, pesticīdi, minerālmēsli un citi produkti). Lai gan Latvijā saražoto un importēto ķīmikāliju apjoms saprotamu iemeslu dēļ ir ievērojami mazāks—2000. gadā aktīvā aprītē bija ap 800 ķīmisko vielu un 2000 produktu,—tomēr ir vērojama tendence izmantot vairāk ķīmikāliju un lielākā apjomā.³⁸ Attiecībā uz ķīmiskām vielām, kas ir bīstamas ilgtermiņā un kas var izraisīt piesārņojuma līmeņa normu pārsniegšanu un pasliktināt pašreizējo vides stāvokli, tiek izdalītas šādas ķīmiskās vielas: toksiskas (indīgas), ķīmiski noturīgas (stabilas), kas laika gaitā koncentrējas šūnās un spēj ieplūst dzīvo organismu barības ķēdē; vielas, kas spēj uzkrāties cilvēka un dzīvnieka organismā, izraisot dažādas veselības problēmas, un vielas, kas spēj izraisīt nopietnas vides problēmas. Vielu par bīstamu padara tai piemītošās īpašības, kuras parasti nevar redzēt. Dažas vielas var izraisīt tādas tūlītējas veselības problēmas kā saindēšanos, alerģiju un ādas, acu vai elpceļu kairinājumu. Piemēram, nātrija hidroksīds jeb nātrija sārms, kas ir cauruļu tīrāmo līdzekļu sastāvā un kas paredzēts aizsērējuma likvidēšanai, saskarē ar ādu rada apdegumu. Citas vielas var nodarīt kaitējumu ilgākā laika periodā—izraisīt vēzi, bojāt hormonālo vai reproduktīvo sistēmu, vājināt imūnsistēmu un radīt citas veselības problēmas.³⁹

Ķīmiskās vielas izmanto lauksaimniecībā, ražošanā, mašīnbūvē un citās tautsaimniecības nozarēs, un pieprasījums pēc ķīmiskajām vielām nepārtraukti pieaug.⁴⁰ Ķīmiskās rūpniecības attīstība nebūtu iespējama bez speciālām ražošanas, transportēšanas un uzglabāšanas tehnoloģijām, tāpēc ķīmisko negadījumu iespējamība un notikušo negadījumu smaguma pakāpe nepārtraukti palielinās. Rezultātā daudzas smagas ķīmiskās avārijas pēdējā laikā ir ietekmējušas apkārtējo vidi, cilvēku populāciju un sabiedrības attieksmi.

1.3. Paaugstinātas bīstamības objektu izveide

Apdraudējumi ražošanas nozarē sākās līdz ar ražošanas uzņēmumu izveidi un attīstību. Tie pieņēmas spēkā attīstītajā industrializācijas posmā un nav izzuduši līdz ar postindustrializācijas pāreju uz daļēju deindustrializāciju. Tehnoloģiju attīstības vēsture un sabiedrības vērtības ir veidojušas mūsdienu sabiedrības izpratni, fobijas un priekšstatus par ražošanas avārijām un to iespējamo bīstamību.

Zinātniskajā literatūrā pētnieki parasti izdala četrus ražošanas objektu izveidošanas jeb industrializācijas posmus bīstamās ķīmiskās rūpniecības kontekstā. Industrializācija ir pāreja no agrāras sabiedrības uz rūpniecisku sabiedrību, kas ietver plašas sociālās pārmaiņas ekonomiskās attīstības jomā un kas ir cieši saistīta ar tehnoloģiskiem jauninājumiem.⁴¹ Līdzīgs šī termina skaidrojums ir aprakstīts tīmekļa vietnē www.vesture.lv: „Industrializācija (angliski—*industrialization*)—mašinizētas lielražošanas attīstīšana ekonomikā.”⁴² Tas, kad, kā un kāpēc konkrētas sabiedrības izgāja cauri industrializācijas procesam, joprojām ir sociālo zinātnieku pētniecības objekts, un jau vairāk nekā divus gadsimtus ir pētīti vēsturiskie aspekti,

³⁸ *Latvijas vides pārskats* (2001). [tiešsaite]. Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. [skatīts 2018.gada 20.janvārī]. Pieejams: http://www2.meteo.lv/produkti/soe2001_lv/faktori/kim_vielas/kim_vielas.htm

³⁹ *Padomā, pirms pērc.* [tiešsaite]. Baltijas vides forums [skatīts 2018.gada 2.janvārī]. Pieejams: <http://padomapirmsperc.lv/consumer-5/bistamas-vielas/>

⁴⁰ Park, J. (2011). Domestic and international environmental restrict and plan for reaction against. *Chemical industry*. No. 44, pp.2–3.

⁴¹ Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept – a historical perspective. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. Vol. (110), pp.738 – 746.

⁴² *Industrializācija* [tiešsaite]. Vēstures enciklopēdiskā vārdnīca [skatīts 2018.gada 5.februārī]. Pieejams: <http://vesture.eu/index.php/Industrializ%C4%81cija>

analizējot saistību starp ražošanas metodēm, transporta iekārtām, finanšu starpniecību, valsts pārvaldi, ārvalstu tirdzniecību, urbanizāciju, tiesību sistēmām un kultūrām no vienas puses un attīstības tempu un modeļiem dažādos pasaules ekonomikas reģionos - no otras puses,⁴³ lai izskaidrotu industrializācijas procesa pakāpenisko attīstību un ietekmi uz sabiedrību.

Zinātnieki K. Monts (*C. Montt*) un I. Māss (*I. Maas*) atgādina, ka pirms industrializācijas perioda lielākā daļa ražošanas produktu tika izgatavoti mājāsaimniecības apstākļos un nelielos apjomos kā lauksaimniecības blakusprodukti.⁴⁴ Tātad nepieciešamos produktus pārsvarā ražoja, izmantojot katras mājāsaimniecības resursus un parasti tikai savām vajadzībām, piemēram, apģērbu šuva no saimniecībā izaudzētām izejvielām, izmantojot primitīvus darbarīkus, un parasti šis process bija laikietilpīgs. Diemžēl industrializācija iet rokrokā ar piesārņojumu, avārijām, negadījumiem, katastrofām un citiem nevēlamiem apstākļiem, radot ne tikai ieguvumus, bet arī jaunu katastrofas veidu-tehnogēnās vai antropogēnās katastrofas, kad katastrofas izraisītājs ir pats cilvēks, kas radīja un izmantoja tehniskās iekārtas. Mūsdienās industrializācija ir jaunattīstības valstu ekonomiskās izaugsmes neatņemama sastāvdaļa, tā uzlabo ekonomikas dalībnieku labklājību, kā tas notika Eiropā 19. gadsimtā rūpnieciskās revolūcijas rezultātā. Tomēr strauji pieaug neapmierinātība ar negatīvo ietekmi uz vidi, ar piesārņojumu un ar brīvi pieejamo dabas resursu izsīkšanu, kas mēdz būt saistīti ar industrializācijas procesiem.⁴⁵

Informācija par iepriekšējiem incidentiem un katastrofām ir noderīga, lai analizētu līdzšinējos negadījumus, kas ir viena no jebkura drošības procesa nozīmīgākajām komponentēm un kas palīdz samazināt turpmāku negadījumu iespējamību.⁴⁶ Tāpēc šajā darbā analizēti industrializācijas posmi pasaulē, un ir pētīta to savstarpējā saistība, ieguvumi un apdraudējums sabiedrībai. Par pirmo industrializācijas posmu tiek uzskatīts laiks, kad 18. gadsimtā, līdz pat 19. gadsimta sākumam, Ziemeļamerikā un dažviet Eiropā notika pāreja no agrārās uz industriālo sabiedrību jeb tā dēvētā rūpnieciskā revolūcija.⁴⁷ Pirmais industrializācijas posms saistīts galvenokārt ar tekstilrūpniecības straujo attīstību, kad radās nepieciešamība pēc mazgāšanas un balināšanas līdzekļiem un krāsvielām. Sociologs K. Deiviss (*K. Davis*) uzsver, ka industrializācijas procesam bijusi ļoti būtiska nozīme, jo cilvēku darbu arvien biežāk aizstāja ar mehāniskām iekārtām, piemēram, ar vērjamo mašīnu (angliski-*spinning-jenny*)-agrīna vairāku vārpstu ierīce vilnas vai kokvilnas vērpšanai⁴⁸-vai ar tvaika dzinēju enerģijas ražošanā.⁴⁹ Pieaugot ražošanas apjomiem, samazinājās šādi izgatavotu preču cenas un mājāsaimniecībām vairs nebija nepieciešams ražot savu produkciju, jo nopirkt preces bija izdevīgāk. A. A. Kabrera (*A. A. Cabrera*) savā pētījumā uzsver, ka rūpnieciskā revolūcija pārveidoja ne tikai Lielbritānijas ekonomiku, sociālos un demogrāfiskos rādītājus, bet arī situāciju daudzās citās pasaules valstīs, turklāt šīs pārmaiņas

⁴³ O'Brien, P.K (2001). Industrialization, Typologies and History of. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. pp. 7360-7367.

⁴⁴ Montt, C., Maas, I. (2015). The openness of Britain during industrialisation. Determinants of career success of British men born between 1780 and 1880. *Research in Social Stratification and Mobility* No. 42, pp.123-135.

⁴⁵ Antoci, A., Galeotti, M., Sordi, S. (2018). Environmental pollution as engine of industrialization. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* No. 58, pp. 262-273.

⁴⁶ Pittman, W., Han, Z., Harding, B., Rosas, C., Jiang, J., Pineda, A., Mannan, M.S. (2014). Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years. *Journal of Hazardous Materials* No. 280, pp. 472-477.

⁴⁷ Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept – a historical perspective. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* No. 110. pp. 738 – 746.

⁴⁸ *Encyclopaedia Britannica* [tiešsaite]. britannica.com [skatīts 2018.gada 15 aprīlī] Pieejams: <https://www.britannica.com/technology/spinning-jenny>.

⁴⁹ Davis, K. (1955). Social and demographic aspects of economic development in India. In S. Kuznets, W. E. Moore, & J. J. Spengler (Eds.), *Economic growth: Brazil, India, Japan*. Durham, NC: Duke University Press. pp. 263-315.

notika ātrāk, un to ietekme bija lielāka nekā jebkurām citām pārmaiņām sabiedrības vēsturē.⁵⁰ Pirmo reizi cilvēces vēsturē faktiskie ienākumi uz vienu iedzīvotāju pakāpeniski un ievērojami palielinājās visos sabiedrības slāņos pateicoties tam, ka tika nodrošinātas visu cilvēku pamatvajadzības, turklāt ar ievērojamu ietaupījumu rezervi, un ekonomiskā sistēma mazināja ar bioloģiskajām izejvielām saistītus ierobežojumus, paļaujoties uz enerģiju, mašīnām un tehnoloģijām. Industrializācijas panākumus nodrošināja vairāki faktori, to skaitā katras valsts sākotnējie ekonomiskie apstākļi un citi faktori, piemēram, demogrāfija un atrašanās vieta.

Industrializācijas procesā izejvielu trūkuma dēļ pārsvarā izmantoja neorganiskos savienojumus: sērskābi, sēra dioksīdu, nātrija sulfātu, nātriju un hloru. Šajā laikā pieauga arī akmeņogļu ieguves apmēri, tomēr tolaik akmeņogles vēl neizmantoja kā izejvielu ķīmisko produktu ražošanā, jo, lai gan akmeņogles ir organiska viela, to pārstrādes procesā iegūtie sveķi bija grūti utilizējams blakusprodukts. Akmeņogļu gāzes ražošanas process bija ļoti sarežģīts, turklāt šī gāze bija ļoti toksiska, jo tā saturēja no 4–40 % oglekļa monoksīda (CO).

Tvaika katlu sprādzieni ražošanas procesā bija ierasta parādība, jo katli bija nepieciešami, lai nodrošinātu enerģiju. Tolaik izmantotie tvaika katli pārsvarā nebija aprīkoti ar pamata drošības elementiem—spiediena vārstiem, un nebija uzstādīta kaut vai primitīva avārijas brīdinājuma sistēma. Arī ūdens sagataves sistēma nebija attīstīta un tā sastāvā bija liela kalcija un magnija koncentrācija. Šie elementi katla iekšpusē veidoja nogulsnes un pēc noteikta izmantošanas laika katla iekšpusē izveidojās cietu nogulšņu slānis, kas samazināja siltuma atdevi, bieži vien izraisot katlu avārijas.

Lielas konkurences un valsts iestāžu neiesaistīšanās rezultātā tika pieļauti nopietni pārkāpumi. Rūpniecības uzņēmumi piesārņoja ūdeni, gaisu, zemi un radīja darbinieku veselībai nelabvēlīgus apstākļus. Rezultātā radās drošības apdraudējums un bija nepieciešams valsts līmenī kontrolēt uzņēmumu darbu un pieņemt pirmos regulējošos normatīvos aktus. Lielbritānijā 1863. gadā tika pieņemts likums par sārmu rūpniecību, kas regulēja galvenokārt ar Leblanka procesa izmantošanu saistīto atmosfēras piesārņojumu, jo Lielbritānijas dienvidu Lankašīrā katru dienu atmosfērā tika izmests līdz desmit tonnām sālsskābes. Ar ražošanu saistītās saslimšanas tika atzītas par arodslimībām un tās regulēja normatīvie akti. Kad Lielbritānijā stājās spēkā likums par tvaika katlu ekspluatāciju, apdrošināšanas uzņēmumi sāka piedāvāt pakalpojumus ar katlu ekspluatāciju saistītu risku jomā. Šajā laikā galvenās ķīmiskās rūpniecības bīstamības vēl nebija izplatītas, izņemot dažus gadījumus, kas saistīti ar sprāgstvielu ražošanu un glabāšanu.

Otrais industrializācijas vilnis, sākot ar 19. gadsimta vidu, bija automatizācijas periods, kam par iemeslu kalpoja tvaika dzinēja pilnveidošana, iekšdedzes dzinēja izgudrošana, elektrības ģenerēšana un izplatīšana, kanālu un dzelzceļu būvniecība un vērienīga rūpnīcu darbība.⁵¹ Otrais ķīmiskās rūpniecības attīstības un industrializācijas posms ir saistīts arī ar tekstila ražošanas uzplaukumu. Izmantojot dabiskās krāsvielas nebija iespējams apmierināt strauji augošo pieprasījumu un līdz ar anilīna krāsvielas atklāšanu 1859. gadā uzplauka anilīna rūpniecība, galvenokārt Vācijā. Galvenā izejviela bija akmeņogļu sveķi, kas iepriekš bija grūti utilizējams blakusprodukts, bet tagad tie bija vērtīga izejviela, ko izmantoja simtiem organisko produktu ražošanā. Rezultātā radās nepieciešamība pēc slāpekļskābes, jo anilīna ražošanas pamatā bija nitrobenzola atjaunošanas un citu aromātisko slāpekļa savienojumu reakcijas. Līdz ar dinamīta izgudrošanu varēja atteikties no šaujampulvera izmantošanas un sāka izmantot nitroglicerīnu un nitrocelulozi, kas bija iemesls

⁵⁰ Cabrera, A.A. (2013). Historia económica mundial siglos xvii-xix: revoluciones burguesas y procesos de industrialización. *Economía Informa*, Vol. 378, pp.60-73.

⁵¹ Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept—a historical perspective. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*. Vol. 110, pp.738–746

sprādzieniem daudzās rūpnīcās. Visi šie atklājumi bija priekšnosacījums nākamajam attīstības posmam.

Trešais ķīmiskās rūpniecības attīstības posms sākās pirms Pirmā pasaules kara, un tas bija saistīts ar veiksmīgiem amonjaka ražošanas pirmsākumiem, izmantojot Habera-Boša procesu, kur vairāk nekā 500 °C augstā temperatūrā un 10–25 mPa spiediena apstākļos tiek sintezēts amonjaks. Tieši šis izgudrojums 1921. gada 21. septembrī *Oppau* pilsētā Vācijā izraisīja negadījumu, minerālmēslu ražošanas uzņēmumā sprāgstot 450 tonnām amonija nitrāta, kā rezultātā dzīvību zaudēja līdz 500 cilvēkiem. Sprādziena rezultātā izveidojās 90*125*20 m liels krāteris.⁵² Šis gadījums iezīmē bīstamo ražošanas uzņēmumu pirmsākumus.

Šajā laikā ķīmiskās rūpniecības apmēri strauji pieauga, bet produkcijas apjomu ierobežojumu praktiski nebija. Palielinājās arī naftas kā izejvielas izmantošana ķīmiskajā rūpniecībā un viens no ķīmiskās rūpniecības attīstības pagrieziena punktiem bija G. Forda (*G. Ford*) 1908. gadā izgudrotais automašīnas modelis *Ford T*, ar ko aizsākās automašīnu plaša izmantošana un ar to saistītā nepieciešamība pēc motoreļļas, smērvielām un degvielas. Šis modernizācijas process deviņpadsmitā gadsimta sākumā bija aizsākums nozīmīgiem jauninājumiem, piemēram, lielākai precizitātei mehanizācijas jomā, izgudrojumiem stikla apstrādes un ķīmisko tehnoloģiju jomā, darbinieku specializācijai atbilstoši ražošanas uzdevumiem, kā arī pakalpojumu profesiju attīstībai un izrietošām pārmaiņām sabiedrības struktūrā un paradumos. Industrializācija radīja nepieciešamību pēc standartizācijas, lai rūpnīcu iekārtas atbilstu mehāniskiem ierobežojumiem; tika ieviests darba grafiks un maiņu darbs un izgudroti jauni enerģijas avoti.⁵³

Ceturtais ķīmiskās rūpniecības attīstības posms sākās 20. gadsimta 30. gados, kad zinātnieki atklāja, ka no naftas gāzes iespējams ražot alkānus. Līdz ar to akmeņogles bieži vien tika aizstātas ar naftas produktiem un pakāpeniski sākās pasaules ķīmiskās rūpniecības uzplaukums, rūpniecībā izmantojot izdevīgākas izejvielas – naftas produktus. Šajā laikā industrializācija strauji attīstījās visā pasaulē. Iepriekšējos posmos industrializācija auga tikai attīstītājās pasaules valstīs, bet kopš šī brīža tās uzvaras gājiens aptvēra visu pasauli un bīstamie rūpniecības objekti parādījās pat trešās pasaules valstīs.

Industrializācija ir pāreja no agrārās sabiedrības uz industriālo sabiedrību, tā atspoguļo plašākas sociālās pārmaiņas un ekonomisko attīstību, kas cieši saistīta ar tehnoloģiskiem jauninājumiem. Tehnoloģiskas inovācijas ietekmēja ekonomisko un sociālo attīstību, kā arī ļāva cilvēkiem labāk organizēt savu dzīvi un deva vairāk brīva laika vaļaspriekiem un ģimenei. Tādējādi tehnoloģiju attīstība ietekmēja kultūru, kas savukārt ietekmēja tehnoloģijas, un rezultātā inovācijas bija cēlonis sociāliem jauninājumiem, jo sabiedrība pielāgojās jaunajām tehnoloģijām un meklēja jaunus risinājumus.⁵⁴ Visbeidzot, analizējot industrializācijas attīstības gaitu, var secināt, ka valstis atrodas dažādās industrializācijas pakāpēs – kāda valsts izgājusi visus četrus posmus, bet citas ir tikai vidusposmā, piemēram, Ķīna. Jāuzsver, ka visā pasaulē bīstamo tehnoloģiju pārvaldībā strauji pieaug dažādu moderno tehnoloģiju loma. Daudzi šo tehnoloģiju iespējamie ietekmes aspekti vēl nav pietiekami izpētīti, tāpēc ne vienmēr tiek garantēta augstākā drošības pakāpe un var tikt radīts papildu apdraudējums.

⁵² *Explosion in a Nitrogenous Fertiliser Plant, Oppau-[Rhénanie], Germany, 1921, 21 September*. [tiešsaite]. French Ministry of Environment, [skatīts 2018. gada 18. aprīlī]. Pieejams: http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files/mf/FD_14373_oppau_1921_ang.pdf

⁵³ Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept – a historical perspective. *Procedia–Social and Behavioral Sciences*. Vol. 110, pp.738–746.

⁵⁴ Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept – a historical perspective. *Procedia–Social and Behavioral Sciences*. Vol. 110, pp. 738–746 .

Apkopojot informāciju par ķīmiskajām vielām mūsdienās, ir konstatēts, ka pasaulē vidēji ik pēc 8 stundām tiek radīta jauna ķīmiska viela, un katru dienu tiek izmantots vairāk nekā 100 000 dažādu vielu.⁵⁵ Zinātnieks M. Tolba (*M. Tolba*) 1990. gadā pareģoja, ka ķīmisko vielu ražošanas un izmantošanas apmērs pasaulē vēl palielināties, jo īpaši jaunattīstības valstīs. Ķīmiskām vielām ir būtiska nozīme ikvienā ekonomikas nozarē un gandrīz ikvienā tautsaimniecības sektorā. Par bīstamiem materiāliem uzskatāmas „ļoti toksiskas vielas un citas ķīmiskas vielas, kas ir toksiskas, kodīgas, sprādzienbīstamas vai uzliesmojošas, vai degošas vielas, kas var kaitēt cilvēkiem, iekārtām vai videi”. Nokļūstot apkārtējā vidē, bīstamie materiāli var kaitēt cilvēku veselībai un ekosistēmai.⁵⁶

Procesu vadība un PBO droša ekspluatācija ir tieši saistīta ar tehnoloģiju drošību, drošām konstrukcijām un to aizsardzību pret tehnogēniem, dabas, kā arī nesankcionētas darbības apdraudējumiem, un šīs drošības nolūkā izmanto teorētiskos materiālus un praktisko pieredzi, ieskaitot riska teoriju un mikrodaļiņu teoriju. Atbildīgajām iestādēm būtu jānodrošina procesu pārvaldība un jāizanalizē vairāki svarīgi kritēriji, ņemot vērā drošības, resursu, dzīvotspējas un citus faktorus. Digitalizācija rada jaunas iespējas iekārtu un procesu savietojamībai, uzraudzībai un procesu izpratnei, turklāt mainās saziņas veidi un paradumi. Avārijas situācijas iespējamība tehnogēnās vides objektos ir atkarīga no PBO aizsardzības līmeņa, kas saistīts arī ar iespējamo risku vadību – jo lielākas avārijas sekas, jo mazāka ietekme ir riska vadībai, un, lai gan hipotētiskās avārijas risks ir ļoti zems un atbilst 10⁻¹¹ pakāpei, tā vadība praktiski nav iespējama. Vadības loma avārijas situācijā ir parādīta 1.2. tabulā.

Mobilitāte un sociālais spiediens joprojām katru dienu maina ierasto lauku un pilsētu dzīves vidi, kā arī sistēmas notiekošo procesu ātrumu. Nepārtraukti tiek atklāti jauninājumi tehnikas un zinātnes jomā; zināšanas un tehnoloģiju attīstība uzlabo ražošanas procesus un drošību, preču un pakalpojumu kvalitāti un dzīves vidi, vienlaikus mainot biznesa, dzīves un darba ieradumus un nosakot jaunas prasības cilvēkiem, uzņēmumiem, iestādēm un valdībai. Digitālā, fiziskā un cilvēciskā pasaule turpina savstarpēji integrēties un notiek vērīnīga pārveide, ko mēdz uzskatīt par 4. industriālo revolūciju. Mainās lietu veidi un veidojas liels datu apjoms, mainās arī dzīvesveids, preču un pakalpojumu projektēšanas, ražošanas un piegādes paņēmieni, transporta veidi un dzīves temps.

1.2. tabula

Avāriju situāciju veidi un PBO aizsardzības pakāpe⁵⁷

Nr.	Avārijas situācija	Aizsardzības līmenis	Riski
1.	Standarta ekspluatācijas apstākļi	Paaugstināts	Vadāmi
2.	Nobīde no standarta ekspluatācijas apstākļiem	Pietiekošs	Regulējami
3.	Projekta avārijas	Daļējs	Analizējami
4.	Paredzamas avārijas	Nepietiekams	Paaugstināti
5.	Hipotētiskas avārijas	Zems	Augsti

⁵⁵ Zhang, H., Duan, H., Zuo, J., Song, M., Zhang, Y., Yang, B., Niu, Y. (2017). Characterization of post-disaster environmental management for Hazardous Materials Incidents: Lessons learnt from the Tianjin warehouse explosion. China. *Journal of Environmental Management*. Vol. 199, pp. 21-30.

⁵⁶ Zhang, H., Duan, H., Zuo, J., Song, M., Zhang, Y., Yang, B., Niu, Y. (2017) Characterization of post-disaster environmental management for Hazardous Materials Incidents: Lessons learnt from the Tianjin warehouse explosion. China. *Journal of Environmental Management*. Vol. 199, pp. 21-30.

⁵⁷ Багров, А.И., Муртазов, А.К. (2010). *Техногенные системы и теория риска*. Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. 29.стр.

Mašīnu elementu un konstrukciju bojājumi rodas vairāku faktoru sakritības rezultātā, tos ietekmē konstrukciju īpatnības, ekspluatācijas vide un apmērs, materiālu fizikālās un ķīmiskās īpašības, kā arī apkārtējās vides faktori. Avāriju un katastrofu novēršana PBO ir viens no pamatvirzieniem, lai garantētu drošu un nekaitīgu ekspluatāciju, pamatojoties uz robežvērtības stāvokļa novērtējumu dažādos ĀS attīstības scenārijos. Galvenie drošības pasākumi ir pareiza darbības procedūra, uzglabāšanas monitorings, uzraudzība, kontroles mērījumi un drošības aizsardzības līmeņa noteikšana.⁵⁸ Jebkurš izstrādājums (detāļa vai agregāts) var veikt noteiktas funkcijas tikai tad, ja visu ekspluatācijas laiku tas atbilst noteiktiem kritērijiem un prasībām, kas ir noteiktas iekārtas tehniskajā specifikācijā. Novirzoties no tehniskajiem parametriem, var iestāties iekārtas, detaļas atteice jeb darbības kļūda, kā rezultātā iekārta nedarbojas vai darbojas nepilnīgi.

Neskatoties uz to, ka Latvijā izveidoto PBO vadībai likumdevējs uzlicis lielu administratīvo slogu un ierobežojumus, lai garantētu objekta konstrukciju un iekārtu drošu ekspluatāciju, bieži vien – neuzmanības dēļ vai apzināti – nosacījumi netiek ievēroti. Pasaulē apmēram 70 % negadījumu PBO notiek noteikumu un reglamenta neievērošanas dēļ. Tehnogēnās vides negadījumu cēloņus var iedalīt divās pamatkategorijās. Pirmās negadījumu kategorijas iespējamie cēloņi ir arvien sarežģītākas ražošanas tehnoloģijas un indīgo, radioaktīvo un citu bīstamo materiālu biežāka izmantošana. Otrās negadījumu kategorijas iespējamie cēloņi ir tehnisko noteikumu un reglamenta apzināta neievērošana, zems darbinieku disciplīnas līmenis un vēlme ietaupīt.

Kopumā risku avārijas un katastrofas gadījumu ietekmi izsaka kā noteikto zaudējumu iestāšanās varbūtību cilvēkam un apkārtējai videi. Šo varbūtības risku skaitliski izsaka, izmantojot trīs komponentu kopumu (1.1.):⁵⁹

$$R = R_1 * R_2 * R_3, \quad (1.1.)$$

kur, R_1 – bīstama gadījuma varbūtība, kas veido bīstamos ietekmes faktorus (avārijas, katastrofas varbūtība PBO, retrospektīvā – biežums);

R_2 – varbūtība, ka bīstamie faktori ietekmēs cilvēkus vai apkārtējās vides objektus, kam jānosaka ietekmes vērtība, piemēram, pārspiediena un siltumstarojuma zonas izveidošanās;

R_3 – varbūtība, ka tehnogēno faktoru iedarbība nerada noteiktos zaudējumus (īslaicīgi – objektu vai infrastruktūras bojājumi, ilglaicīgi – biosfēras sagraušana, cilvēku veselības pasliktināšanās).

R_1 izsaka kā materiālo vērtību zaudējumus – ēkas, iekārtas, bojājumi, cilvēku veselības pasliktināšanās un letāli gadījumi. R_2 ir negatīvs ekoloģiskais stāvoklis, piemēram, floras un faunas degradācija, cilvēku veselības pasliktināšanās. Vienu un to pašu PBO var novērtēt ar tehnogēnā un ekoloģiskā riska rādītājiem. Vissarežģītāk ir noteikt R_3 komponenti, jo nav zināms, vai ietekme būs. Grāmatas *Objekta riska novērtēšana* autori piedāvā izmantot līdzīgu vienādojumu riska vērtības noteikšanai. Atšķiras tikai elementu apzīmējumi, bet noteikšanas jēga nemainās (1.2.):

$$Risks (R) = E * A * S, \quad (1.2.)^{60}$$

kur E (eksistence) – varbūtība, ka pastāv noteiktie riski;

A (avoidance) – varbūtība, ka var izvairīties no riskiem;

S (severity) – kategorija, kas nosaka riska smaguma pakāpi.

⁵⁸ Liu, X., Li, J., Li, X. (2017). Study of dynamic risk management system for flammable and explosive dangerous chemicals storage area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 49, pp. 983-988.

⁵⁹ Измалков, В.И., Измалков, А.В. (1998). *Техногенная и экологическая безопасность и управление риском*. Издательство: СПб, НИЦЭБ РАН. 331.стр.

⁶⁰ Jemeljanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība, 7.lpp.

Kopumā abi vienādojumi parāda, ka risks sastāv no dažiem elementiem, kurus ir svarīgi apzināties, lai nodrošinātu PBO vadības procesus un lai samazinātu iespējamus zaudējumus.

1.4. Mūsdienu negadījumu statistiskais apskats

Notikušo avāriju, katastrofu un citu negadījumu analīze ir viena no efektīvākajām un biežāk lietotajām metodēm, lai iegūtu informāciju un gūtu priekšstatu par negadījumu iemesliem, par to, kāpēc PBO notiek avārijas, kādi negadījumi ir reģistrēti iepriekš un kādi bija to radītie zaudējumi. Šī analīze nodrošina nenovērtējamu informāciju par procesa nepilnībām, turklāt analīzes datus var izmantot, lai izstrādātu negadījumu novēršanas stratēģijas vai lai mīkstinātu iespējamo negadījuma seku ietekmi. Ja netiks nodrošināta pienācīga katastrofas bīstamības incidentu un īpaši bīstamu materiālu iespējamo sprādzienu gadījumu pārvaldība, bīstami negadījumi var radīt nopietnas problēmas un kaitējumu videi.⁶¹

Ekonomiskie aspekti ir ekonomiskie zaudējumi gan naudas, gan fiziskā izteiksmē: inženiertīklu, ēku un būvju sagraušana vai sabojāšana, darbnespēja, vajadzība pēc ievērojamiem materiāliem izdevumiem procesu atjaunošanai un kompensācijām, apdrošināšanas un citu speciālu fondu izveide, kā arī milzīgu līdzekļu un daudzveidīgas tehnikas izmantošana negadījuma novēršanai un tā seku likvidēšanai.⁶² Tātad tiek apzināti faktiski vai iespējami sociālie un ekonomiskie zaudējumi – cilvēka veselības stāvokļa novirzes no vidējiem rādītājiem, grūtības veikt standarta saimniecisko darbību, īpašuma zaudēšana, citi materiālie un dabas vērtību zaudējumi. Šo zaudējumu novērtēšanai nepieciešami pamatoti dati par radītajiem zaudējumiem un par to nozīmīgumu, tāpēc jāizvērtē pastāvošie rīki, lai iegūtu pamatotus rezultātus. Dažādiem ĀS scenārijiem zaudējumu apmērs var atšķirties atkarībā no ietekmējošiem faktoriem. Prognozējot zaudējumus (W), jāņem vērā zaudējumu varbūtība, kas atkarīga no sadales funkcijas (1.3.):⁶³

$$F(w) = P(W < w) \quad (1.3.)$$

Matemātiski novērstos zaudējumus var izteikt ar šādu vienādojumu (1.4.):⁶⁴

$$\Delta W = W_0 - W_1, \quad (1.4.)$$

kur (1.3.) un (1.4.) vienādojumā W_0 un W_1 ir zaudējumi pirms un pēc aizsardzības pasākumu veikšanas.

Izvērtējot tehnogēnās vides avārijas rezultātus, izšķir tiešo, netiešo, pilno un kopējo zaudējumu apmēru.

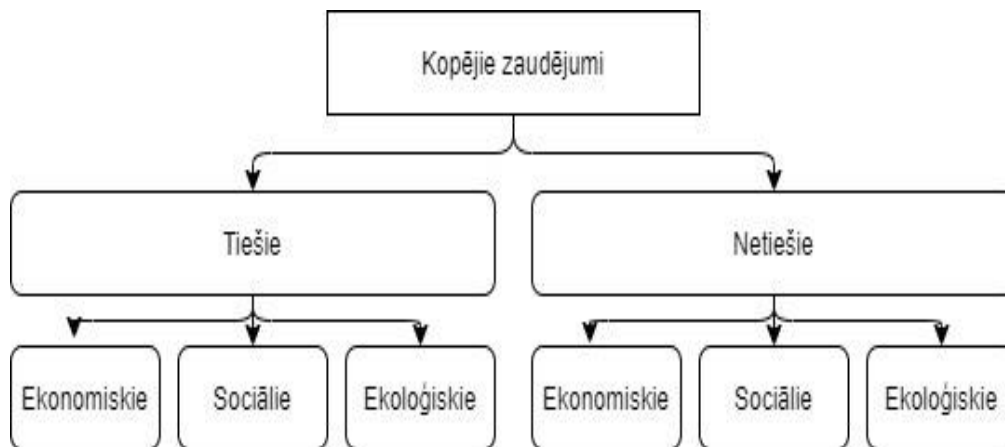
Tehnogēnā apdraudējuma gadījumā, veicot aposterioru novērtējumu, ir svarīgi novērtēt zaudējumu kopējo apmēru, kā arī zaudējumu komponentes. Zaudējumu struktūras shēma sniegta 1.4. attēlā. Veicot aprioru novērtējumu, var aprēķināt risku un iespējamās sociāli ekonomiskās zaudējumus, ņemot vērā iespējamās ietekmes varbūtību.

⁶¹ Zhang, H., Duan, H., Zuo, J., Song, M., Zhang, Y., Yang, B., Niu Y. (2017) Characterization of post-disaster environmental management for Hazardous Materials Incidents: Lessons learnt from the Tianjin warehouse explosion, China. *Journal of Environmental Management*. Vol. 199, pp.21-30.

⁶² Jemeljanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība, 33.lpp.

⁶³ Беляев, Г.Н. (2008). Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций. *Известия Томского политехнического университета*. Т. 312. № 5, стр. 150- 152.

⁶⁴ Беляев, Г.Н. (2008). Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций. *Известия Томского политехнического университета*. Т. 312. № 5, стр.150- 152.



1.4. att. Pilno zaudējumu struktūra.⁶⁵

Avāriju rezultātā par tiešiem zaudējumiem uzskata visu to ekonomisko struktūru zaudējumus, kas bija katastrofas vai avārijas zonā. Šie zaudējumi attiecas uz ēku un būvju bojājumiem, nesaražoto produkciju un līdzīgiem aspektiem. Sociālie zaudējumi ir cilvēku gūtās traumas vai dzīvības zaudējums. Ekoloģiskie zaudējumi ir saistīti ar zemes atmosfēras vai ūdens resursu piesārņojumu.

Veicot aprioru novērtējumu, zaudējumu novērtēšanai svarīga ir riska novērtēšanas procedūra, kas palīdz noteikt iespējamās tehnogēnās vides zaudējumus. Risku matemātiski var izteikt šādi (1.5.):⁶⁶

$$R = Q \cdot P, \quad (1.5.)$$

kur Q – iespējamība (negadījuma varbūtība) un

P – sekas (zaudējumu apmērs).

Riska novērtēšanas metodes detalizētāk aprakstītas šī darba 2. daļā.

Drošības sistēmas mērķis ir saglabāt cilvēku dzīvību un vidi, nodrošināt ekonomisko, sociālo un rūpniecisko attīstību un mūsdienu dzīves kvalitāti, tomēr vadošie nozares pētnieki, piemēram, S. Dekers (*S. Dekker*) un K. Picers (*C. Pitzer*), apgalvo, ka pastāv noteiktas aktuālas problēmas, lai uzlabotu drošības sistēmas un lai līdz minimumam samazinātu nevēlamās blakusparādības drošības jomā.⁶⁷ T. Šulers (*T. Schuller*) apgalvo, ka nākotnē valdības lēmumi būs jāpamato ar pierādījumiem.⁶⁸ Statistikas dati ir viens no labākajiem pierādījumiem, ko izmantot pamatotu lēmumu pieņemšanā.

Analizējot statistikas datus par avārijām, katastrofām un ĀS, var identificēt procesu likumsakarības un paredzēt iespējamās tendences, kuru pamatā ir iepriekšēja negatīva vai pozitīva pārmaiņu procesa pieredze. Statistikas dati ļauj arī laicīgi plānot nepieciešamos pasākumus, lai samazinātu iespējamās apdraudējumus konkrētā tautsaimniecības jomā. Statistikas likums skaidri definē statistikas jēdzienu – tā ir informācija, kura raksturo statistisko vienību kopumu vai procesu.⁶⁹ Statistiskās datu precizitāte ir svarīgs informācijas ticamības nosacījums, lai datus varētu izmantot turpmākās situācijas prognozēšanai. Zemas kvalitātes

⁶⁵ Вигдорович, В.И. (2004). Техногенный риск. проблемы и решения. *Вестник ТГУ*, т.9, вып.4, стр. 405-415.

⁶⁶ Jemelajans, A., Ieviš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība. 7.lpp.

⁶⁷ Dekker, S., Pitzer, C. (2016). Examining the asymptote in safety progress: a literature review. *Int. J. Occup. Safety Ergon.* 22 (1), pp. 57–65.

⁶⁸ Schuller, T. (2006). Evidence and policy research. *European Educational Research Journal*, Volume 5(1), pp.57- 70 .

⁶⁹ *Statistikas likums* 1.pants. Pieņemts: 04.06.2015 Publicēts: "Latvijas Vēstnesis", 118 (5436), 18.06.2015. OP numurs: 2015/118.3.

datu izmantošana var radīt negatīvas sekas, maldināt sabiedrību un uzraudzības iestādes par sistēmas faktisko stāvokli. Izmantojot zemas kvalitātes datus, nav iespējams sniegt precīzu drošības sistēmas stāvokļa raksturojumu, kas savukārt var negatīvi ietekmēt kopējo sistēmas darbību. Turpretī augstas kvalitātes dati var ievērojami uzlabot objekta darbību un sistēmas drošību.

Statistikas datu pieejamība un to kvalitāte ietekmē PBO darbu, drošību valstī un pasaulē, kā arī sniedz iespēju PBO vadībai, valsts pārvaldes struktūrām un sabiedrībai pieņemt atbilstošus un pamatotus lēmumus, lai noteiktu optimālo problēmas risinājumu un lai to īstenotu. Pētniece M. Martinē (*M. Martine*) uzskata, ka statistikas uzdevums nav tikai apkopot datus un ka statistikas jēdziens ir daudz plašāks, aptverot ne tikai statistikas metodoloģiju, bet vairākas darbības, ko veic, apkopojot statistiskos datus – nepieciešamo datu savākšanu, apstrādes procesa plānošanu un faktisko procesu, kas ietver datu vākšanu, datu analīzi un izplatīšanu mērķauditorijai.⁷⁰ Statistika neprognozē sekas, bet kvantitatīvi ar datu palīdzību raksturo iepriekšējo lēmumu pieņemšanas kļūdas un panākumus. Statistika ir tikai rīks, ar kura palīdzību var veidot pamatotas prognozes.

Šī darba ietvaros ir svarīgi ar statistikas palīdzību identificēt pastāvošās problemātiskās situācijas un tendences, procesu rādītājus un novirzes tehnogēnā vidē. Izmantojot speciālas zinātniskās metodes un rīcībā esošos datus, ir iespējams precīzāk prognozēt iespējamās PBO avārijas sekas. ES statistikas prakses kodeksā noteikts, ka Eiropas Statistikas sistēmas uzdevums ir sniegt ES, visām pasaules valstīm un sabiedrībai neatkarīgu un kvalitatīvu informāciju par ekonomiku un sabiedrību Eiropas, valsts un reģionālā līmenī un nodrošināt šīs informācijas pieejamību ikvienam interesentam lēmumu pieņemšanas, pētniecības un diskusiju nolūkā.⁷¹ Attiecībā uz PBO situācija ir ļoti līdzīga – PBO vadībai ir jāsniedz kompetentajām valsts iestādēm precīza informācija par bīstamo produktu apgrozījumu, kā arī par notikušajiem incidentiem, avārijām un to cēloņiem. Valsts iestāžu pienākums ir šos datus apkopot un nodot atbildīgajām starptautiskajām organizācijām. Tehnogēnās vides jomā var izdalīt trīs galvenos statistiskos veidus: PBO statistika par notikušajiem incidentiem uzņēmumā, valsts statistika par avārijas gadījumiem valstī un globālā statistika par ĀS tendencēm pasaulē un par to izraisītajām sekām.

Analizējot Latvijā notikušo katastrofu statistikas datus, secināms, ka Latvijā nav vienotas datubāzes, kurā apkopoti dati par katastrofu radītajām sekām, un tas liedz apkopot katastrofu tendences un veikt zaudējumu sistemātisko analīzi. Viena no vissvarīgākajām krīzes iezīmēm ir tā, ka tā nav prognozējama un nevar būt pilnīgi paredzami scenāriji⁷². Daļēja informācija par katastrofām ir pieejama Valsts ugunsdzēsības un glābšanas dienesta (turpmāk – VUGD) tīmekļa vietnē un tā pārsvarā attiecas uz Krīzes vadības padomes darbu – sanāksmju protokoli par Latvijā notikušiem un sabiedrībā plaši apspriestiem negadījumiem, kas radījuši zaudējumus tautsaimniecībai. No šiem protokoliem iegūtās informācijas apkopošana ir ļoti laikietilpīga, neefektīva, turklāt šī informācija ir nepārskatāma. Informācija par notikušajiem negadījumiem Latvijā, kas iegūta, analizējot Krīzes vadības padomes sēžu protokolus, apkopota 12. pielikumā, un tā ļauj secināt, ka vērienīgi negadījumi, kad tiek sasaukta Krīzes vadības padome, notiek vidēji reizi gadā.

Dabas stihiju izraisīti negadījumi ietekmē visas pasaules valstis neatkarīgi no valsts attīstības līmeņa, no valsts budžeta, no iedzīvotāju ienākumu līmeņa un no valsts atrašanās vietas. Turpmāk tekstā aprakstītie pasaules statistikas dati liecina, ka negatīvās ietekmes

⁷⁰ Martin, M. (1981), Statistical Practice in Bureaucracies, *Journal of the American Statistical Association*, Volume 76, pp. 1–8.

⁷¹ Eurostat (2011). Eiropas Statistikas prakses kodekss. [tiešsaite] Eiropas Statistikas sistēma. [skatīts 2018. gada 3. martā] Pieejams: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5922265/10425-LV-LV.PDF>

⁷² Vivacqua, A.S., Borges, M.R.S. (2012). Taking advantage of collective knowledge in emergency response systems. *Journal of network and Computer applications*. Vol. 35, pp. 189–198.

gradācija ir tieši saistīta ar iedzīvotāju ienākumu un valsts attīstības līmeni un veiktajiem preventīvajiem pasākumiem. Latvijas Ministru kabineta 2016. gada 14. septembra rīkojuma Nr. 523 „Par Attīstības sadarbības politikas pamatnostādnēm 2016.–2020. gadam” 2. pielikuma 1. sadaļā noteikti šādi valsts attīstības apdraudējumi: nemieri un politiskā nestabilitāte, klimata pārmaiņu radītas pārtikas nodrošinājuma krīzes un katastrofas, jaunas globālas pandēmijas, finanšu un kapitāla tirgu nestabilitāte un nelegālā migrācija, kas negatīvi ietekmē pasaules nabadzīgākās valstis.⁷³ Tātad katastrofas var apdraudēt valsts attīstību un potenciālo negadījumu novēršanā būtiska nozīme ir preventīvu pasākumu vadībai.

Statistiku par stihiju izraisītiem negadījumiem parasti apkopo valsts līmenī un reizi gadā šie dati tiek nosūtīti atbildīgajām globālām organizācijām, kas tos apkopo, lai analizētu negadījumu tendences un likumsakarības pasaulē un lai sagatavotu prognozes. Katastrofu epidemioloģijas pētījumu centrs (*Center for Research on the Epidemiology of Disasters*) jau vairāk nekā 40 gadus apkopo valsts iestāžu iesniegtos oficiālos statistikas datus, ANO, nevalstisko organizāciju, apdrošinātāju un zinātniski pētniecisko institūtu datus. Ir izveidota datubāze, kurā apkopota informācija par stihiju izraisītiem negadījumiem visā pasaulē, kā arī par stihiskajiem negadījumiem, dažādu veidu un mērogu katastrofām un to radītajiem zaudējumiem. Ārkārtas gadījumu datubāze (*Emergency Events Database*) tika izveidota 1988. gadā, lai racionalizētu lēmumu pieņemšanu, lai valstis varētu labāk sagatavoties stihiju izraisītiem negadījumiem un katastrofām un lai palīdzētu novērtēt zaudējumus un noteikt prioritātes zaudējumu samazināšanas jomā. Tajā apkopota informācija par vairāk nekā 18 000 katastrofu izraisītājiem un sekām visā pasaulē, aptverot laikposmu no 1900. gada līdz pat mūsdienām.⁷⁴ Statistiskās datiem ir būtiska nozīme PBO būvniecības un modernizācijas plānošanas posmā, pasūtītājam izvēloties PBO atrašanās vietu un izmantojamās tehnoloģijas. Tāpēc šiem datiem jābūt uzticamiem, precīziem, saskaņotiem un savlaicīgi pieejamiem gan valsts, gan starptautiskā līmenī.

Statistikas datus autors apkopoja 2017.-2018.gadā, kad iesāka rakstīt promocijas darbu, jo tas kalpoja par pamatu pētījumam, tāpēc 2021.gadā daži dati varētu būt novecojuši. Tomēr, darba autora ieskatā, galvenais mērķis ir parādīt kopējās tendences. 1.3. tabulā, kur apkopota Ārkārtas gadījumu datubāzē, kas ir viena no pilnīgākajām datubāzēm pasaulē, pieejamā informācija par Latvijā notikušām katastrofām, redzams, ka dati ir nepilnīgi, piemēram, nav norādīts zaudējumu apmērs. Šī informācija neatbilst Latvijas valsts iestāžu sniegtajiem datiem. Piemēram, ir publiskota informācija par divām katastrofām, par kurām ir pieejams valsts iestāžu apkopotais zaudējumu apmērs un par ko ir iesniegts pieprasījums ES Solidaritātes fondā. Pirmais ieraksts ir par 2005. gadā notikušo dabas stihiju izraisītu katastrofu–vētru *Erwin*, kas radīja zaudējumus 193 miljonu eiro apmērā. Otrais ieraksts ir par plūdiem 2017. gada rudenī, kas, saskaņā ar valsts pārvaldes institūciju sniegto informāciju, radīja zaudējumus 380,5 miljonu eiro apmērā.⁷⁵

Ārkārtas gadījumu datubāzē (*EM-DAT*) pieejamā informācija par Latvijā notikušām katastrofām sniegta 1.3. tabulā.

⁷³ *Par Attīstības sadarbības politikas pamatnostādnēm 2016.-2020. gadam* (2016). LR Ministru kabineta rīkojums Nr. 523, pieņemts Rīgā 2016. gada 14. Septembrī, 2. pielikums.

⁷⁴ *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*. [tiešsaite].CRED [skatīts 2018.gada 7. novembrī].Pieejams: <https://www.cred.be/>

⁷⁵ *Solidaritātes fonda pieteikuma veidlapa* [tiešsaite]. Eiropas Komisijas mājas lapa [skatīts 2018.gada 30.decembrī]. Pieejams: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/thefunds/doc/interventions_since_2002.pdf

Informācija par Latvijā notikušām katastrofām. (Avots: autora veidots)

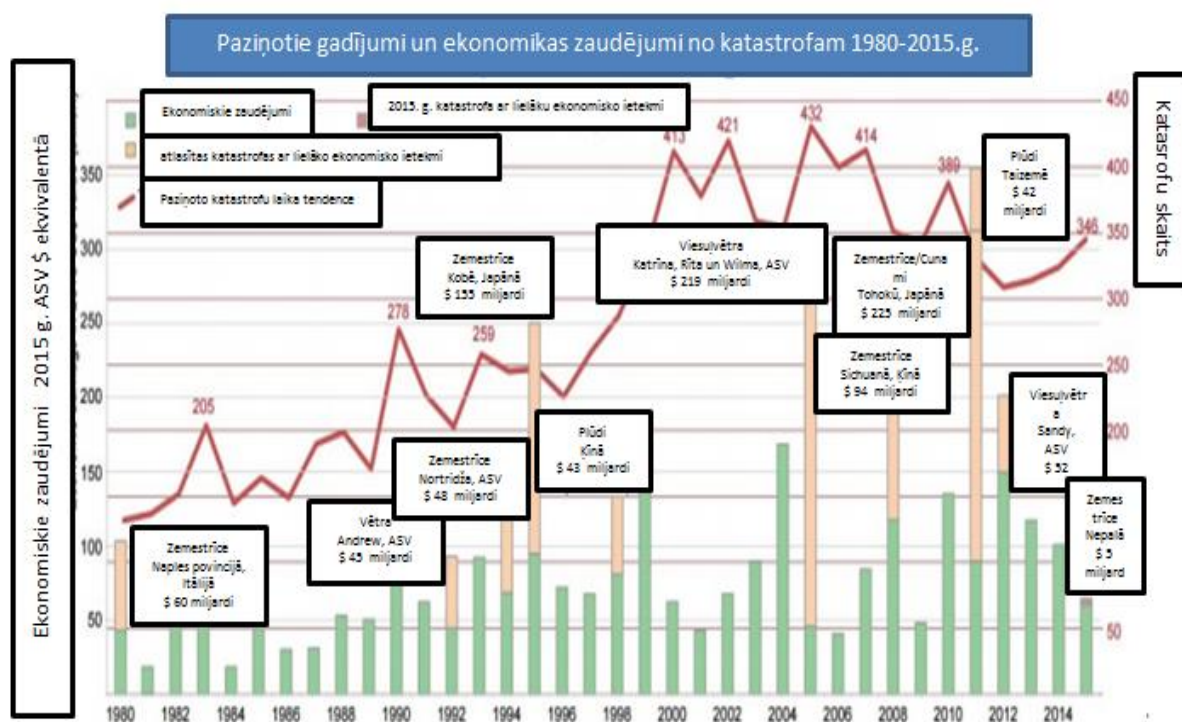
Gads	Notikums	Ietekmēto cilvēku skaits			Kopējais zaudējumu apmērs (milj. USD)
		Bojāgājušie	Guvuši traumas	Citādi ietekmētie	
1999	Vētra	6	–	–	0,5
2000	Gripas epidēmija	–	–	102	–
2001	Ekstrēms aukstums	21	–	–	–
2003	Ekstrēms aukstums	15	–	–	–
2005	Vētra	–	–	–	325
2006	Ekstrēms aukstums	40	–	–	–
2012	Ekstrēms aukstums	10	–	–	–
2013	Ēkas sabrukums	54	29	–	–

Pašlaik Latvijā ir sarežģīti iegūt statistikas datus par katru katastrofu vai negadījumu, jo Latvijā nav efektīvas šo datu apkopošanas sistēmas un datu ieguve nav automatizēta. Noderīgs tehnogēnās vides un dabas ietekmes risku pārvaldības instruments būtu detalizēta un viegli pielāgojama datubāze, kurā būtu atspoguļota un saglabāta informācija par visiem apdraudējumu veidiem Latvijā, un ko varētu izmantot statistikas veidošanai.

Katastrofu epidemioloģijas pētījumu centrs atbalsta pētniecību, tehniskās pieredzes un informācijas uzkrāšanu par visu veidu ĀS, un jo īpaši veselības aizsardzības un epidemioloģijas jomā, jo, novērtējot un kontrolējot cilvēku veselības stāvokli pēc ĀS vai katastrofas, var identificēt izplatītākos katastrofas seku veidus, to skaitā dzīvības zaudējumu un badošanās gadījumus, un novērtēt negadījuma smaguma pakāpi.

Dabas stihiju izraisīto negadījumu radītie ekonomiskie zaudējumi laikposmā no 1980. gada līdz 2015. gadam ir apkopoti 1.5. attēla grafikā, kur redzami kopējie pasaulē radītie ekonomiskie zaudējumi. Grafikā ir izcelti vērienīgākie un smagākie negadījumi gadu griezumā un norādīta valsts, kur tie notikuši. Pie dzeltenās atzīmes norādīts viena ekonomisko zaudējumu ziņā lielākā negadījuma zaudējumu apmērs konkrētajā gadā. Pēdējie apkopotie dati *EM-DAT* datu bāzē ir apkopoti 2016.gadā, bet katru gadu ir iespējams sekot datiem, kas apkopoti pārskata veidā, piemēram, 2019.gadā notika 396 dabas katastrofas, ietekmēti vairāk par 95 miljoniem cilvēku un zaudējumi sastāda 130 miljardi ASV dolāru⁷⁶.

⁷⁶ CRED Crunch 58 - Disaster Year in Review (2019). *Disaster Year in Review 2019* [tiešsaiste] Issue No.58. [skatīts 2020. gada 17. jūlijā]. Pieejams: https://www.cred.be/publications?field_publication_type_tid=All&order=field_publication_year&sort=des



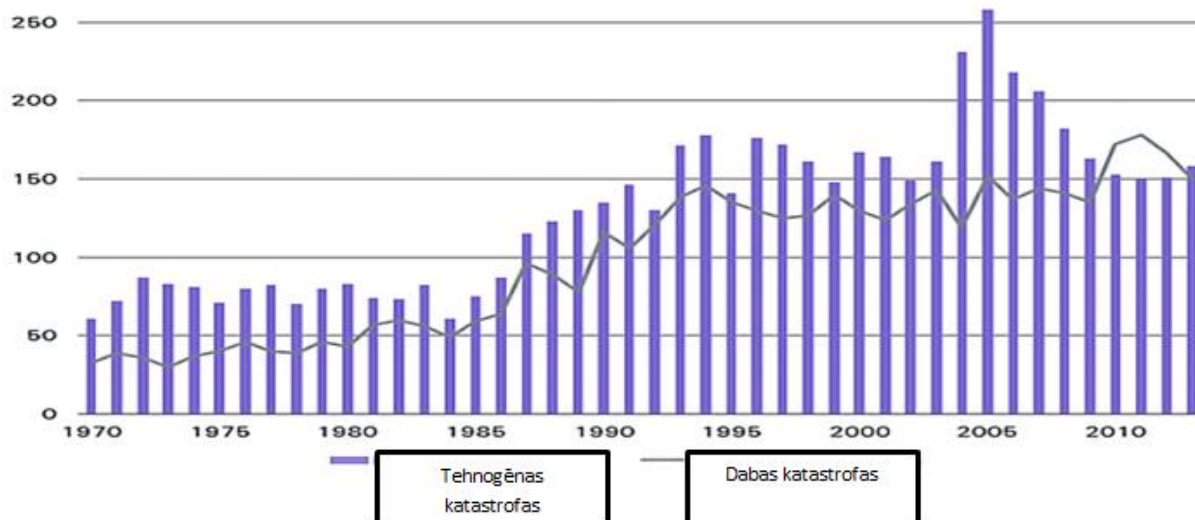
1.5. att. Ikgadējie notikumi un ziņojumi par katastrofū izraisītiem ekonomiskiem zaudējumiem laikposmā no 1980. gada līdz 2015. gadam.⁷⁷

Atbilstoši ANO datiem biežākais dabas stihiju izraisīto negadījumu cēlonis pasaulē faktiskā un cietušo skaita ziņā ir plūdi un cunami. Otrs biežākais cēlonis ir zemestrīces, vulkānu izvirdumi, bet trešais—tehnogēnās katastrofas. 1.6. attēlā sniegtie dati apliecina, ka lai gan tehnoloģiju drošību līmenis ir paaugstinājies, negadījumu skaits nav samazinājies, bet ir samērā stabils.

Apmēram 67 % gadījumu visā pasaulē galvenie būtisku incidentu datubāzē (*Major Accidents Reporting System—MARS*) reģistrēto tehnogēno avāriju iemesli ir zems drošības līmenis ražošanas nozarē un neefektīva ekoloģiskās drošības sistēmas pārvaldība.⁷⁸ Katastrofu epidemioloģijas pētījumu centrs tehnogēnās katastrofas iedala trīs grupās: ražošanas (ķīmiskais piesārņojums, sprādzieni, radiācijas piesārņojums, sabrukumi), transporta (avārijas gaisā, jūrā, uz dzelzceļa sliekšņiem un citur) un jaukta veida katastrofas (notiek citos, neklasificētos objektos). Lai tehnogēnais negadījums un tā izraisītās sekas iekļautu starptautiskajā datubāzē, jābūt izpildītam vismaz vienam no šiem kritērijiem: zaudējumu apmērs ir vismaz 80 miljoni USD (32,2 miljoni USD—aviācijas katastrofas gadījumā un 16 miljonu USD—citu transporta katastrofu gadījumā), bojā gājušo vai bez vēsts pazudušo cilvēku skaits ir vismaz 20, traumas guvuši vismaz 50 cilvēki, dzīvesvietu zaudējuši vismaz 2000 cilvēki. Dabas un tehnogēno katastrofu kopējā statistika no 1970. gada līdz 2013. gadam ir parādīta 1.6. attēlā, kur redzams, ka kopš 1970. gada abu veidu katastrofu skaits pasaulē ir trīskāršojies. Tehnogēno katastrofu skaits strauji palielinājās 2006. gadā, kas ir saistīts ar ražojumu apjoma pieaugumu pirms globālās ekonomiskās krīzes.

⁷⁷Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2016). “Disaster Data: A Balanced Perspective” [tiešsaiste] Issue No.41. [skatīts 2017. gada 3. novembrī]. Pieejams: https://www.cred.be/publications?field_publication_type_tid=All&order=field_publication_published&sort=desc

⁷⁸Sychev, Y.V. (2012). Risks of the man-made disasters of modern times. *Интернет-журнал "Технологии техноосферной безопасности"*. Выпуск № 1 (41). стр. 1-9.



1.6. att. Dabas un tehnogēno katastrofu skaits pasaulē.⁷⁹

Dabas stihiju izraisīto negadījumu un tehnogēno katastrofu skaits industriālās attīstības laikmetā ir palielinājies un lielā mērā tas ir noticis jaunu, līdz šim neapdzīvotu un par neapdzīvojamu uzskatītu teritoriju, piemēram, applūstošu apgabalu vai teritoriju seismiski aktīvās zonās, apgūšanas rezultātā. Bieži vien šajās teritorijās uzbūvēti arī PBO, piemēram, Fukusimas Daiči AES, kur zemestrīces rezultātā izveidojās cunami vilnis, kas noskaloja un padarīja par darbnespējīgu šīs elektrostacijas nozīmīgo infrastruktūru, un domino efekta rezultātā šis negadījums izraisīja tehnogēno katastrofu. Par lielu ugunsgrēku ķīmiski bīstamā objektā uzskatāms ugunsgrēks, kurā deg izejvielas, starpprodukti, galaprodukti, ražošanas atkritumi vai tehnoloģiskas vienības. Viens no šādiem ugunsgrēkiem notika 1974. gada 1. jūnijā Fliksboro, Anglijā, kur dega 60 000 m² ķīmisku vielu.

1.5. Iespējamie ārējie un iekšējie apdraudējumi

Katastrofu riska politikā Eiropas līmenī tiek risināti daudzi jautājumi, tostarp par dabas un cilvēka izraisītām katastrofām, apdraudējumu veselībai, pandēmijām, ar rūpniecību, kodolenerģiju un lauksaimniecību saistītiem riskiem un cita veida apdraudējumu. Ciktāl reaģēšana uz reālām katastrofām Eiropā ir saistīta ar CA dienestu darbībām, ir skaidrs, ka šādi riski ir jāsamazina un ir jāizveido atbilstoši atgriezeniskās saites mehānismi, lai pēc iespējas novērstu katastrofas un lai mazinātu to ietekmi.⁸⁰

Tehnogēnās ĀS pazīmes ir dažādu normatīvo aktu pārkāpumi attiecībā uz Satversmi, Krimināllikumu, administratīvajiem tiesību aktiem, Civillikumu, darba tiesībām, ekoloģijas un vides tiesībām. Šāda veida ĀS gadījumā PBO vadību un darbiniekus var saukt pie administratīvās atbildības vai kriminālatbildības. Normatīvos aktus var izmantot kā rīku, lai sekmētu noteikumu ievērošanu. Taču nopietns izaicinājums ir tas, ka negatīvo apstākļu iemesli tiek atklāti tikai pēc negadījuma un cilvēki ir jāsauc pie atbildības atbilstoši radīto seku smaguma pakāpei atkarībā no tā, vai avārija notikusi apzinātas darbības, vai nejaušības rezultātā. Viens no uzraudzības iestāžu pienākumiem ir, salīdzinot dokumentos aprakstītā

⁷⁹ SIGMA 1970-2013 (2014). SIGMA Economic Research and Consulting: Swiss Re, sigma №1 [tiešsaite]. [skatīts 2018.gada 5. oktobrī]. Pieejams: <http://institute.swissre.com/research/overview/?year=2014#anchor0>

⁸⁰ Komisijas dienestu darba dokuments. (2010). Riska novērtēšanas un kartēšanas vadlīnijas katastrofu pārvaldībai. Briselē, 2010. gada 12. Decembrī. SEC(2010) 1626 galīgā redakcija, 5.lpp.

objekta faktisko stāvokli, laicīgi konstatēt iespējamus apdraudējumus, lai varētu veikt preventīvus pasākumus.

Par vienu no efektīvākajām un biežāk izmantotajām metodēm informācijas ieguvei par negadījumu iemesliem PBO, par iepriekšējiem negadījumiem un to zaudējumu apmēru, uzskatāma iepriekšējo avāriju, katastrofu un negadījumu analīze. Tā sniedz nenovērtējamu informāciju par pieļautajām kļūdām, ko var izmantot, izstrādājot efektīvu stratēģiju un nodrošinot procesu efektīvu pārvaldību, lai novērstu turpmākus negadījumus vai lai samazinātu to iespējamās sekas. Nepilnvērtīgas katastrofāli bīstamu incidentu un īpaši bīstamu materiālu sprādziena iespējamības pārvaldības rezultātā nopietni negadījumi var radīt smagas sekas un kaitēt videi.⁸¹ Vairākās datubāzēs pasaulē ir reģistrēti un apkopoti negadījumi ķīmiskās rūpniecības nozarē. Šī statistika un tās nozīme ir apskatīta šī darba iepriekšējā sadaļā.

Lielākajā daļā zinātnes un tehnoloģiju nozaru atkārtojamie eksperimenti veido teorētisko pamatu drošības sistēmu izstrādei, testēšanai un pilnveidei, tomēr avāriju, nopietnu negadījumu un katastrofu prognozēšanas un novēršanas jomā pasaules mērogā ir paveikts salīdzinoši maz. Laiku pa laikam tiek veikti dažādi modelēšanas eksperimenti, daudz mazākā mērogā pielietojot imitācijas modelēšanas metodi un imitējot kuģu defektus, sprādzienus un toksisku vielu noplūdes, ja nav iespējams eksperimentēt ar faktiskā izmēra iekārtām.⁸² Tāpēc vērienīgas avārijas ļauj izdarīt secinājumus par teorētisku aprēķinu precizitāti.

Tehnogēnās ĀS ir saistītas ar organizētu rūpniecības objekta darbību, kas ekspluatācijas laikā kļūva nestabila un kas negatīvo seku rezultātā var izraisīt vides piesārņojumu. Tas negatīvi ietekmē sabiedrību un rada sociālos, ekonomiskos un vides zaudējumus tautsaimniecībai un valstij. Šī darba ietvaros nepieciešamību definēt negatīvu notikumu jeb negadījumu nosaka dažādu veidu avāriju izraisītas bīstamās sekas, kā arī dažādu tehnogēno negadījumu variācijas un iespējamās situācijas PBO. Bieži vien vērienīgi negadījumi, piemēram, sprādzieni, ugunsgrēki, ķīmisku vielu noplūdes un saindēšanās, ir saistīti ar cilvēka darbību, iekārtu darbības kļūdu, ražošanas procesu nepilnīgu pārvaldību vai vides faktoru, kas var negatīvi ietekmēt ķīmisko rūpnīcu strādnieku un rūpnīcu tuvumā dzīvojošo cilvēku veselību.⁸³

Tehnogēnās ĀS ir viens no pasaulē izplatītākajiem mākslīgiem procesiem un lai tās pilnīgi izprastu, ir padziļināti jāpēta ar šo procesu saistītās izmaiņas apkārtējā vidē. ĀS gadījumā ir svarīgi noteikt tās iemeslu, notikuma būtību, iespējamās sekas, kā arī tiesisko situāciju un noskaidrot, vai saistībā ar notikušo ĀS var tikt ierosināta administratīvā, kriminālā vai civiltiesiskā lieta. Nosakot tehnogēnās ĀS precīzu iemeslu, ir iespējams atbilstoši sodīt atbildīgās personas, kas to pieļāva vai kuras noveda objektu līdz avārijas situācijai. Tāpēc ir svarīgi, lai valsts atbildīgās institūcijas varētu noskaidrot bīstamo procesu likumsakarības un precīzi noteikt negatīvo seku apmēru. Par tehnogēniem vides apdraudējumiem, kas var izraisīt avāriju vai katastrofu, uzskatāmi šādi faktori:

1) avārijas vai katastrofas cēloņi, kas pamatoti ar tehnogēnās vides neizpētītajām likumsakarībām (dažus procesus, kurus cilvēce šajā attīstības posmā nevar izskaidrot un līdz ar to nevar arī pārvaldīt);

2) nepareizs objektu izvietojums, kas var apdraudēt vidi;

3) būtisks iekārtu nolietojums, novēlota detaļu un novecojošu tehnoloģiju nomaiņa;

⁸¹ Zhang, H., Duan, H., Zuo, J., Song, M., Zhang, Y., Yang, B., Niu, Y. (2017). Characterization of post-disaster environmental management for Hazardous Materials Incidents: Lessons learnt from the Tianjin warehouse explosion. *China Journal of Environmental Management*. Vol. 199, pp.21-30.

⁸² Abdolhamidzadeh, B., Abbasi T., Rashtchiana, D., Abbasi, A. (2011). Domino effect in process-industry accidents – An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 24, Issue 5, pp.575-593.

⁸³ Gaia, W., Dub Y., Deng, Y. (2018). Evacuation risk assessment of regional evacuation for major accidents and its application in emergency planning: A case study. *Safety Science*. Vol.106, pp. 203-218.

- 4) ražošanas, glabāšanas, pārvadāšanas materiālu apjomu pieaugums un nepareiza bīstamo vielu un tehnoloģisko iekārtu izmantošana;
- 5) atbildības un pienākuma apziņas samazināšanās, kā arī noteikumu un reglamentu neievērošana;
- 6) nepietiekami drošības pasākumi;
- 7) objekta tehniskā stāvokļa nepietiekoša vai vāja uzraudzība;
- 8) tehniskās kontroles iekārtu zema efektivitāte, procesu bezavārijas apstādināšanas ierīču vājais tehniskais stāvoklis;
- 9) personāla nepietiekama gatavība rīcībai avārijas gadījumā;
- 10) neefektīva lokālo un centralizēto vides monitoringa, kontroles, identifikācijas iekārtu izmantošana.

Steidzamu un kritisku jeb ārkārtas situāciju, piemēram, tehnogēnās vai dabas katastrofas gadījumā atbildīgajiem dienestiem, pašvaldības iestādēm un valsts institūcijām jāpieņem ātri un izšķiroši lēmumi. Profesionāli risinot problēmas un piedāvājot reālus risinājumus draudu un iespējamo zaudējumu mazināšanai, ir iespējams samazināt potenciālo negatīvo seku apmēru. ĀS ir svarīgi pieņemt pareizos lēmumus, tāpēc ir jāpārzina sarežģīto dabas un tehnogēnās vides procesu likumsakarības. Vienam lēmumu pieņēmējam ir grūti pieņemt vispusīgu lēmumu ĀS, lai tā nekļūtu par avāriju vai katastrofu, tāpēc ar ĀS saistītu problēmu risināšana būtu jāuztic kompetentu cilvēku grupai un PBO būtu jāizveido ĀS vadības grupa vai komiteja. Pašvaldības līmenī darbojas CA komisija, bet valsts līmenī – Krīzes vadības padome, tāpēc efektīvākai bīstamo situāciju pārvaldībai katrā līmenī tiek izstrādāti CA plāni vai avārijas novēršanas pasākumu plāni. Ārkārtas lēmumu pieņemšanas pieejas ir attīstījušās un paredz uzklaut dažādu (piemēram, hidroloģijas, ģeoloģijas, meteoroloģijas, socioloģijas un demogrāfijas) profesionālo jomu ekspertus, kas darbojas kā ideju ģeneratori, uzlabojot lēmumu pieņemšanas procesu, un kas apgrūtina ārkārtas lēmumu pieņemšanu grupā.⁸⁴

Slimību profilakses un kontroles centrs piedāvā šādu ĀS definīciju: par ĀS uzskatāma situācija, kas apdraud cilvēka dzīvību, veselību, īpašumu vai vidi, kā arī situācija, kas jau ir izsaukusi dzīvības zaudējumu, nodarījusi kaitējumu cilvēka veselībai, ir bojājusi īpašumu vai kaitējusi videi.⁸⁵ Latvijā izmanto arī terminu *ārkārtējā situācija*, kas definēts likumā „Par ārkārtējo situāciju un izņēmuma stāvokli”: ārkārtējā situācija ir īpašs tiesiskais režīms, kura laikā MK ir tiesības likumā noteiktajā kārtībā un apjomā ierobežot valsts pārvaldes un pašvaldību institūciju, fizisko un juridisko personu tiesības un brīvības, kā arī uzlikt tām papildu pienākumus. Ārkārtējo situāciju var izsludināt tāda valsts apdraudējuma gadījumā, kas saistīts ar katastrofu, tās draudiem vai kritiskās infrastruktūras apdraudējumu, ja būtiski apdraudēta valsts, sabiedrības, vides, saimnieciskās darbības drošība vai cilvēku veselība un dzīvība.⁸⁶ Lēmumu par ārkārtējās situācijas izsludināšanu un atcelšanu pieņem MK, un šo režīmu var izsludināt ne ilgāk, kā uz trīs mēnešiem, bet nepieciešamības gadījumā to var pagarināt vēl uz tādu pašu periodu. Tas nozīmē, ka ĀS un ārkārtējā situācija ir divi dažādi termini. Lai gan to saturs ir ļoti līdzīgs, galvenā atšķirība ir tā, ka ārkārtējo situāciju izsludina MK, un tas ir īpašs tiesiskais režīms. Tāpēc PBO abi termini ir saistoši – notiekot avārijai, uzņēmumā tā būs ĀS, kas var radīt zaudējumus, bet, ja šis objekts apdraud apkārtējo teritoriju, tad MK var izsludināt ārkārtējo situāciju un noteikt ierobežojumus apdraudētajā zonā.

⁸⁴ Wang, L., Wang, Y., Martínez, L. (2017). A group decision method based on prospect theory for emergency situations. *Information Sciences*. Vol. 418–419, pp. 119–135.

⁸⁵ *Ārkārtas situācijas* [tiešsaiste]. Slimību profilakses un kontroles centrs [skatīts 2018. gada 9. martā]. Pieejams: <https://www.spkc.gov.lv/lv/arkartas-situacijas>

⁸⁶ *Par ārkārtējo situāciju un izņēmuma stāvokli*. (2013). LR likums pieņemts 2013. gada 27. martā, "Latvijas Vēstnesis", 61 (4867).

Zinātniskajā literatūrā izšķir ĀS atkarībā no mēroga un ietekmes, un sīkākā iedalījumā ietilpst katastrofas, avārijas, incidenti, bojājumi, novirzes, bīstamība un apdraudējums. Vērienīgas katastrofas notiek ļoti reti, un cilvēki mēdz uzskatīt, ka tās nekad nenotiks, jo būtu jāsakrīt vairākiem negatīviem faktoriem. ANO Katastrofu riska mazināšanas birojs (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction*) katastrofu definē šādi: katastrofa ir būtisks traucējums sabiedrības darbībai jebkurā mērogā saistībā ar bīstamu notikumu mijiedarbību ar riska eksponēcijas ievainojamības un reaģēšanas kapacitātes faktoriem, kā rezultātā rodas viens vai vairāki no šiem zaudējumu veidiem: cilvēku, materiālie, ekonomiskie vai vides zaudējumi un ar to ietekmi saistītās sekas.⁸⁷ Starptautiskā Sarkanā Krusta un Sarkanā Pusmēness kustība katastrofu definē kā pēkšņu nelaimes gadījumu, kas nopietni traucē sabiedrības vai kopienas darbību un izraisa cilvēku, materiālos un ekonomiskos vai vides zaudējumus, kas pārsniedz kopienas vai sabiedrības spēju tikt galā ar pašu resursiem.⁸⁸ Vienotas termina *katastrofa* definīcijas trūkums apgrūtinā katastrofu seku apzināšanu un statistikas datu apkopošanu. Svarīgākais ĀS faktors ir tās nenoteiktība, kurai ir pakļauti cilvēki un citi apkārtējie objekti, un nav iespējams zināt ĀS seku radītās ietekmes apmēru.

Parasti lielām un postošām katastrofām plašsaziņas līdzekļi pievērš lielu uzmanību, taču par avāriju vai incidentu plašāka sabiedrība var pat neuzzināt, tāpēc ir jāizvērtē iepriekš tekstā minēto negadījumu atšķirības. Nelaimes gadījumus un incidentus var uzskatīt par sistēmas darbības ekstremāliem stāvokļiem,⁸⁹ un, ņemot vērā iepriekš tekstā minētos situācijas aprakstus, ir skaidrs, ka bīstamo negadījumu un notikumu identificēšana un raksturojoši scenāriji ir būtisks informācijas avots, kas ir noderīgs riska novērtēšanai.

Bīstamās ķīmikālijas parasti ir sarežģīta, dinamiska sistēma, kurā mijiedarbojas vairāki faktori. Tāpēc ir svarīga visaptveroša izpratne par riska avotiem un to radīto bojājumu apmēru, kā arī par to klasifikāciju atkarībā no negadījuma smaguma vai mēroga.

Apdraudējums „ir bīstama parādība, viela, cilvēka darbība vai apstākļi, kas var izraisīt dzīvības zaudējumu, radīt ievainojumus vai citu kaitējumu veselībai, nodarīt kaitējumu īpašumam, izraisīt iztikas līdzekļu un pakalpojumu zaudējumu, sociālo un ekonomisko destabilizāciju vai nodarīt kaitējumu videi”.⁹⁰ Apdraudējumu parasti var konstatēt iepriekš, un ar šo terminu apzīmē negatīva notikuma iespējamību, ja netiks veikti savlaicīgi preventīvi pasākumi un ja netiks novērsti apdraudējuma iespējamie cēloņi. Tiek izšķirts arī termins „tehnoloģisks apdraudējums”, kas ir „apdraudējums, ko rada tehnoloģiskie vai rūpniecības apstākļi, tostarp nelaimes gadījumi, bīstamas procedūras, infrastruktūras darbības atteice vai noteiktas cilvēka darbības, kas var izraisīt dzīvības zaudējumu, radīt ievainojumus vai citu kaitējumu veselībai, nodarīt kaitējumu īpašumam, izraisīt iztikas līdzekļu un pakalpojumu zaudējumu, sociālo un ekonomisko destabilizāciju vai nodarīt kaitējumu videi.”⁹¹ Šis ir precizējošs termins, un šāda veida apdraudējumi pastāv tikai rūpniecības objektos. Kopumā avārijas un incidentus var analizēt kā sistēmas darbības galarezultātu, un bīstamie notikumi ir jāidentificē un jāapraksta, lai apkopotu informāciju un lai veiktu risku novērtējumu.⁹²

⁸⁷ Kelman, I. (2018). Connecting theories of cascading disasters and disaster diplomacy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Vol. 30. pp. 172–179.

⁸⁸ *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction* [tiešsaite]. UNISDR [skatīts 2015.gada 17. novembrī]. Pieejams: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/51748>

⁸⁹ Ale, B. (2016). Risk analysis and big data. *Safety and reliability*. Vol. 36, No. 3, pp. 153–165.

⁹⁰ Komisijas dienestu darba dokuments, (2010). *Riska novērtēšanas un kartēšanas vadlīnijas katastrofu pārvaldībai*. Briselē, 2010. gada 12. Decembrī. SEC(2010) 1626 galīgā redakcija, 8. lpp.

⁹¹ Komisijas dienestu darba dokuments, (2010). *Riska novērtēšanas un kartēšanas vadlīnijas katastrofu pārvaldībai*. Briselē, 2010. gada 12. Decembrī. SEC(2010) 1626 galīgā redakcija, 8. lpp.

⁹² E. Zio. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 177, pp.176–190.

Drošuma novērtēšanas nolūkā nepieciešams saprast, kā bojājumi varētu ietekmēt tādas aspektus kā statiska un noguruma stiprība, plūstamība un paliekošā stiprība. Par defektu uzskatāms jebkurš sistēmas (agregāta) vai atsevišķa elementa (mezgla, detaļas) bojājums un izregulēšanās, kas nesekmēja to darbības zaudēšanu.⁹³ Pie ražošanas tehnoloģiskiem defektiem pieskaitāmi arī defekti, kas radušies ražošanas kļūdas rezultātā.⁹⁴

Konstruktīvie defekti ir projektēšanas laikā pieļauto aprēķinu kļūdu rezultāts. Visizplatītākā konstruktīvā defekta iezīme ir detaļas atteice tā dēvētās tipveida slodzes gadījumā.

Tehnoloģiskie defekti var rasties izstrādājuma izgatavošanas vai remonta tehnoloģijas prasību neievērošanas rezultātā. Parasti biežāk sastopamie tehnoloģiskie defekti rodas termiskas apstrādes, galvaniskā pārklājuma vai citu izejvielu defektu rezultātā.

Ekspluatācijas defekti parasti rodas izstrādājumu ekspluatācijas nosacījumu neievērošanas gadījumā, un parasti tas notiek, ekspluatējot iekārtas nepiemērotos vides apstākļos, kā arī regulāri un savlaicīgi neveicot tehnikas apkopi.

Incidents, darbības atteice vai PBO lietoto tehnisko iekārtu bojājums ir novirze no tehnoloģiskās procedūras, un tas var būt saistīts ar normatīvo aktu un tehniskās dokumentācijas nosacījumu neievērošanu.⁹⁵ Incidents ir zemākas pakāpes bīstamība, jo, lai gan tas var radīt apdraudējumu, tas nerada zaudējumus lielā apmērā.

Bīstamība attiecas uz negatīvo apstākļu cēloni, un tā ir saistīta ar dabas stihiju ietekmē radītiem bīstamo vielu izmešiem no tehnoloģiskām iekārtām vai noliktavas.⁹⁶

1.6. Drošības sistēmas vispārīgs normatīvais regulējums pasaulē un Latvijā

Apdraudējuma novērtējumam un tā instrumentiem, piemēram, riska identificēšanai, ir diezgan sena vēsture. Jau pirms vairāk nekā 2400 gadiem Atēnu iedzīvotāji, pieņemot lēmumus, ņēma vērā riska novērtējumu, tomēr riska novērtēšana un pārvaldība kā zinātnes joma ir jauna, un to izmanto ne vairāk kā 30–40 gadu. Tajā laikā sāka izdot pirmos zinātniskos žurnālus, iznāca pirmās zinātniskās publikācijas un regulāri tika rīkotas zinātniskās konferences, kurās tika pārrunātas fundamentālas idejas un principi pareizas risku novērtēšanas un vadības jomā.⁹⁷ Kopš tiem laikiem daudz kas ir mainījies— uzņēmumos tiek veidotas drošības sistēmas, ir uzlabojusies darbības kvalitāte, un ir radušās jaunas pieejas un metodes, ko mūsdienās plaši izmanto visdažādākajos tautsaimniecības un ekonomikas sektoros, un kas ļauj paredzēt potenciālo zaudējumu apmēru un samazināt iespējamās nelabvēlīgās sekas. Pašreizējie apstākļi nodrošina iespēju panākt bezavārijas darbības stāvokli, izmantojot atbilstošu metodiku un programmas, lai apkopotu dažādus drošības sistēmas rādītājus un rezultātus un lai apzinātu riskus un iespējamās ietekmes apmēru. Aktuāls, ar drošības sistēmu saistīts izaicinājums ir noteikt, kura pieeja, metode vai programma būtu jāizmanto, lai pēc iespējas racionālāk plānotu naudas ieguldījumus

⁹³ Harbuz, Y. (2015). *Aviācijas materiālu un konstrukciju noguruma bojājumu novērtējums uz akustiskās emisijas signālu mērījuma pamata*. Promocijas darbs, Rīga : RTU izdevniecība. 19.lpp.

⁹⁴ Лозовский, В.Н., Бондал, Г.В., Каксис, А.О., Колтунов, А.Е. (1988). *Диагностика авиационных деталей*. Москва: Машиностроение, 31 стр.

⁹⁵ *Экологический словарь* [tiešsaiste]. Академик. [skatīts 2018. gada 18. janvārī]. Pieejams: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/515/%D0%98%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%94%D0%95%D0%9D%D0%A2>

⁹⁶ Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (2017). *Natech Risk Assessment and Management Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations*. Chapter 6—Technological Hazard Characterization. 91-103. p.

⁹⁷ Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. Vol.253, Issue 1, pp.1-13.

tehnoloģiju modernizācijā un inovācijā, un izvērtēt, kura no tām sniegtu labākus un pilnīgākus rezultātus.

Jebkuras ekonomiskās sistēmas efektīvas darbības priekšnosacījums ir ekonomiskā brīvība, kas nodrošina ražotājiem un patērētājiem noteiktas tiesības un dod iespēju brīvi pieņemt lēmumus. Taču brīvībai ir vēl otra puse, ar kuru ir saistīti arī apgrūtinājoši faktori, piemēram, nenoteiktība un riski, jo papildus ekonomiski iesaistīto pušu brīvībai jāņem vērā arī citu subjektu brīvība un izvēles iespējas. Lielākā daļa Latvijā funkcionējošo PBO ir neatkarīgi ekonomiski funkcionējoši subjekti, tāpēc tie var patstāvīgi plānot savu darbu, izstrādāt stratēģiju, misiju, vīziju, izvēlēties drošības sistēmu un izmantot sev ērtāko riska aprēķināšanas metodi. Tas apgrūtina uzraudzības iestāžu darbu, jo nav vienotas drošības novērtēšanas metodes. Darbs šajos objektos un jebkura darbība brīvā tirgus apstākļos notiek nenoteiktības un riska apstākļos, kas atkarīgi no noslēgtiem līgumiem ar piegādātājiem un no pieprasījuma tirgū, bet no tā savukārt ir atkarīga objektu infrastruktūras izmantošanas intensitāte un tehnoloģiju modernizēšanai nepieciešamās investīcijas. Izvērsot objekta darbību, parasti tiek ieviestas jaunas tehniskās komponentes, piemēram, cauruļvadi, iekārtas, sūkņi un citi tehniskie risinājumi, tādējādi pastiprinot apdraudējuma neatkarīgos faktorus.

Eiropā ir izstrādāts liels skaits efektīvu katastrofu pārvaldības pasākumu, kas var palīdzēt efektīvi paredzēt iespējamās bīstamības apmēru un ierobežot apdraudējuma nelabvēlīgās sekas. Eiropas Komisija 2009. gada 23. februārī pieņēma paziņojumu par „Kopienas pieeju dabas un cilvēka izraisīto katastrofu novēršanai”, kurā aprakstīta vispārējā katastrofu novēršanas sistēma un ierosināti katastrofu ietekmes mazināšanas pasākumi. Paziņojumā minēts priekšlikums izstrādāt tādu ES un valsts politiku, kurā būtu atbalstīts katastrofu pārvaldības cikls – preventīvais posms, gatavošanās, reaģēšana un atjaunošana.⁹⁸

Specifiski PBO apdraudējumi 20. gadsimtā dažādos posmos tika pārvaldīti ar dažādu instrumentu palīdzību atkarībā no modernizācijas līmeņa, likumdošanas, uzņēmuma īpašnieku ieinteresētības un uzraudzības iestāžu pilnvarām. Laika gaitā ir mainījušies tehnogēnās vides apdraudējumi (traumas, arodslimības, avāriju skaits, vides piesārņojuma apmēri), to novēršanai un novērtēšanai ir izstrādāti zinātniski tehniskie, sociāli ekonomiskie un kontroles paņēmieni, tiek veikta iekšējā un ārējā uzraudzība, un ir būtiski palielinājusies valsts iestāžu un iedzīvotāju interese par drošības pasākumiem. Atkarībā no pastāvīgiem un apmēra ziņā maznozīmīgiem ražošanas apdraudējumiem, ar kuriem strādā darba aizsardzības un ražošanas ekoloģijas speciālisti (tehnoloģiju pilnveidošanā), ĀS liecina ne tikai par tehnoloģiskām nepilnībām, bet arī par sociāli tehnoloģiskajiem apdraudējumiem, kas jāņem vērā, izvēloties modernizācijas virzienu ražošanas nozarēs un valsts mērogā.

Zaudējumu aprēķinā tiek iekļauta arī medicīniskā palīdzība, nosakot nepieciešamo transportlīdzekļu skaitu, atjaunošanas pasākumus un to izmaksas.

Viens no galvenajiem faktoriem, no kā ir atkarīga jebkuras sistēmas veiksmīga organizācija, ir drošības sistēmas efektīva pārvaldība un sistēmas likumsakarību apzināšanās. Šajā sadaļā sniegts ieskats par drošības sistēmas pamatu veidojošo un pastāvošo normatīvo regulējumu Latvijā, kas ir aktuāls, jo pēdējo desmit gadu laikā cilvēku izraisīto un dabas radīto katastrofu skaits pasaulē ir sasniedzis nebijušu apmēru.⁹⁹ Tāpēc ir svarīgi apzināt Latvijā spēkā esošo normatīvo regulējumu drošības jomā, kura mērķis ir pasargāt iedzīvotājus un garantēt valsts drošību iespējamu apdraudējumu jomā, un pārbaudīt, vai pašreizējais normatīvajos aktos noteiktais drošības līmenis ir pietiekams, lai efektīvi novērstu iespējamus apdraudējumus. Attīstītajās valstīs tiek veikti pētījumi par apdraudējumu novēršanu, tiek

⁹⁸ Komisijas dienestu darba dokuments, (2010). *Riska novērtēšanas un kartēšanas vadlīnijas katastrofu pārvaldībai*. Briselē, 2010. gada 12. Decembrī. SEC(2010) 1626 galīgā redakcija, 3.lpp.

⁹⁹ Khanmohamadi, M., Bagheria, M., Khademi, N., Ghannadpour, S.D., (2018). A security vulnerability analysis model for dangerous goods transportation by rail—Case study: Chlorine transportation in Texas-Illinois. *Safety Science* .Vol.110, pp. 230–241.

noteikti standarti un prasības, taču joprojām notiek avārijas, negadījumi, katastrofas un pastāv citi apdraudējumi.

Viens no attīstīto valstu pamatzdevumiem ir gādāt par drošību, aizsargāt iedzīvotājus un vidi, tostarp no dabas un tehnogēno avotu izraisītiem apdraudējumiem, un šajā nolūkā tiek izstrādāti dažādi normatīvie akti un izveidotas organizācijas, kuru galvenais uzdevums ir pārbaudīt, vai drošības sistēmas darbības rezultātā samazinās avārijas gadījumu skaits. Ikviens vēlas dzīvot pilnīgi drošā vidē, taču mūsdienu tehnoloģiju laikmetā – jo īpaši lielajās industriālajās pilsētās – tas diemžēl pašlaik nav iespējams. Mūsdienās dabas radīto negadījumu un tehnogēno avāriju seku likvidēšana izmaksā dārgāk un prasa lielāku ieguldījumu nekā preventīvie pasākumi, veicot risku novērtējumu, preventīvas darbības vai izveidojot efektīvu reaģēšanas sistēmu, ja nevar novērst apdraudējumu vai samazināt iespējamo riska līmeni.

ANO Sendajas ietvarā katastrofu risku mazināšanai 2015.–2030. gadam iekļauts aicinājums visu pasaules valstu vadībām veikt nepieciešamos pētniecības pasākumus dažādu veidu risku un iespējamo risinājumu apzināšanai, kā arī saistībā ar stihisko nelaimju risku vadību, lai novērstu nepilnības, šķēršļus, savstarpējo atkarību, kā arī sociālās, ekonomiskās, izglītības un vides problēmas un katastrofu risku.¹⁰⁰ Šāda plāna nepieciešamību apliecina joprojām pieaugošais katastrofu skaits pasaulē, kas, neskatoties uz sasniegto attīstības līmeni un veiktajiem preventīvajiem pasākumiem, nemazinās, un daudzu valstu amatpersonas šim jautājumam joprojām pievērš pastiprinātu uzmanību. Sendajas plāna ietvaros tika izstrādātas vairākas programmas, veikti pētījumi par dabas stihisko nelaimju samazināšanas pasākumiem, lai nodrošinātu pasaules attīstību ilgtermiņā un lai samazinātu iespējamo zaudējumu apmēru. Divi galvenie plāna mērķi ir nodrošināt atbalstu vietējām kopienām un sekmēt nacionālās drošības sistēmas izstrādi katrā valstī, lai pēc iespējas samazinātu apdraudējuma potenciāli radītās sekas.¹⁰¹

Šajā sadāļā aprakstītie normatīvie akti un noteikumi nosaka kārtību, kā Latvijā īsteno preventīvos pasākumus un bīstamo situāciju pārvaldību, kā likvidē sekas un atjauno kārtību, kāds ir rīcības pamatojums. Īstenojot šos normatīvos aktus ar valsts un pašvaldību iestāžu, kā arī objektu vadības palīdzību, iespējams panākt noteikto drošības līmeni attiecībā uz valsts iedzīvotājiem, samazinot iespējamās bīstamās sekas, kas var apdraudēt sociotehnisko sistēmu, vidi, īpašumu vai iedzīvotājus. Par atbildīgo, kontrolējošo un ekonomiskās pārvaldības mehānismu efektīvu darbību liecina tas, ka šajā jomā tiek pieņemti normatīvie akti, un ka šī joma tiek uzraudzīta.

Latvijas nacionālā drošības sistēma sastāv no vairākiem tiesību aktiem, kuru mērķis ir garantēt valsts drošību, neatkarību, kā arī labklājību un stabilitāti, un veikt atbilstošus pasākumus, lai sekmētu drošu plānoto, ilgtspējīgo attīstību. Latvijai kā ES dalībvalstij ir saistoši arī ES normatīvie akti, ieskaitot drošības standartus un prasības, kas aprakstītas SEVESO III direktīvā.

Saskaņā ar 1950. gada 4. novembrī Romā pieņemtās Eiropas Cilvēktiesību konvencijas 2. pantu ikviena cilvēka tiesības uz dzīvību ir aizsargātas ar likumu, bet 5. panta 1. daļā noteikts, ka „Ikvienam ir tiesības uz personisko brīvību un drošību”,¹⁰² tādējādi šis dokuments paredz cilvēktiesību un pamatbrīvību aizsardzību un nosaka, ka valsts pienākums ir garantēt drošus dzīves apstākļus. Zinātnieks E. Zjo (*E. Zio*) uzskata, ka drošība ir brīvība–

¹⁰⁰ Witta, E., Lill, I. (2018). Methodologies of contemporary disaster resilience research. *Procedia Engineering*. Vol. 212, pp. 970–977.

¹⁰¹ Urbans, M., Malahova, J., Ievins, J., Radin, M.A. (2019). Modern Trends in Disaster Planning and Management in the World and in Latvia. WSEAS Transactions on Environment and Development. *World Scientific and Engineering Academy and Society*. Vol.15, pp. 164.-175.

¹⁰² *Cilvēktiesību un pamatbrīvību aizsardzības konvencija* (1950). Eiropas padome [tiešsaite] "Latvijas Vēstnesis", 143/144 [skatīts 2019. gada 8. janvārī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/lv/starptautiskie-ligumi/id/649>

brīvība no iespējama kaitējuma, – un ka indivīdam uz to ir tiesības. Riska novērtēšanai 20. gadsimtā ir bijusi būtiska nozīme, lai nodrošinātu šīs tiesības rūpniecisko sistēmu projektēšanas un ekspluatācijas laikā.¹⁰³

Latvijas Republikas pamatlikums ir Satversme, un tajā ir noteiktas cilvēka pamattiesības, ieskaitot tiesības uz dzīvību, un saskaņā ar 115. pantu „valsts aizsargā ikviena tiesības dzīvot labvēlīgā vidē, sniedzot ziņas par vides stāvokli un rūpējoties par tās saglabāšanu un uzlabošanu.”¹⁰⁴ Kā noteikt vides labvēlību un kā to saglabāt? Šis jautājums ir apskatīts valsts tiesību aktos un MK noteikumos, un būtībā visu normatīvo aktu nolūks ir uzlabot valsts iedzīvotāju drošību un savlaicīgi noteikt nepieciešamos reaģēšanas mehānismus, kas ir adekvāts pretspēks 21. gadsimtā pastāvošiem apdraudējumiem.

Valsts pārvaldes iekārtas likumā ir noteikti galvenie valsts pienākumi un ir definēta tiesās pārvaldes institucionālā sistēma. Šī likuma mērķis ir nodrošināt demokrātisku, tiesisku, efektīvu, atklātu un sabiedrībai pieejamu valsts pārvaldi.

Nacionālās drošības likums ir viens no svarīgākajiem tiesību aktiem nacionālās drošības jomā, kas, cita starpā, nosaka MK sagatavot Nacionālās drošības koncepciju, kuras pamatā ir valsts apdraudējuma analīze un kurā noteikti valsts apdraudējuma novēršanas stratēģiskie pamatprincipi, prioritātes un pasākumi.¹⁰⁵ Nacionālās drošības likumā noteikta prasība sagatavot šādas apdraudējuma novēršanas koncepcijas un plānus: Valsts apdraudējuma analīze, Nacionālās drošības koncepcija, Militāro draudu analīze, Valsts aizsardzības koncepcija, Nacionālās drošības plāns, Valsts aizsardzības plāns, Valsts aizsardzības operatīvais plāns, Tautsaimniecības mobilizācijas plāns un Valsts CA plāns. Nacionālās drošības normatīvo aktu sistēma ir atspoguļota 1.7. attēlā, kur parādīts, ka efektīvai nacionālās drošības sistēmas darbībai ir būtiski visu šajā sadaļā uzskaitīto tiesību aktu pasākumi, kas pārklājas. Atsaucoties uz E. Bompāru (*E. Bompard*) un citiem zinātniekiem, drošības līmenis jānovērtē, pamatojoties uz zinātniskajām atziņām un modeļiem, kas spēj izsekot līdzī strauji mainīgiem ģeopolitiskiem apstākļiem, nodrošināt precīzu informāciju un kvantitatīvos datus, kas jāņem vērā valstu amatpersonām, pieņemot politiskus lēmumus.¹⁰⁶ Lai iepriekš tekstā minētos normatīvos aktus varētu efektīvi īstenot, ir jābūt pieejamiem pamatotiem zinātniskiem modeļiem, jo tikai tā var sasniegt labāko radītāju un pārvarēt iespējamās krīzes situācijas.

¹⁰³ E. Zio. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 177. pp.176–190.

¹⁰⁴ *Latvijas Republikas Satversme* (1922). [tiešsaiste]. pieņemts Rīgā, 1922. gada 15. februārī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv. [skatīts 2018. gada 3. aprīlī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/57980-latvijas-republikas-satversme>

¹⁰⁵ *Delfi.lv* (2012). [tiešsaiste]. interneta vietne Delfi.lv [skatīts 2018. gada 20. martā]. Pieejams: <http://www.delfi.lv/news/comment/kaspars-druvaskalns-nacionalas-drosibas-likums-prieks-kakiem-ne-amatpersonam.d?id=42704984>

¹⁰⁶ Bompard, E., Carpignano, A., Erriquez, M., Grosso, D., Pession, M., Profumo F., (2017). National energy security assessment in a geopolitical perspective. *Energy*. Vol. 130, pp.144-154.



1.7. att. Nacionālās drošības sistēma.¹⁰⁷

CA un katastrofas pārvaldīšanas likums nosaka tiesiskos un organizatoriskos CA sistēmas darbības un katastrofas pārvaldīšanas principus, lai katastrofas gadījumā pēc iespējas nodrošinātu cilvēku, vides, infrastruktūras, īpašuma drošību un aizsardzību, kā arī ievērotu katastrofas pārvaldības pamatprincipus un atbildīgo institūciju pienākumus.

Likumā par ārkārtējo situāciju un izņēmuma stāvokli ĀS ir definēts īpašs tiesiskais režīms, kura laikā MK ir tiesības likumā noteiktajā kārtībā un apjomā ierobežot valsts pārvaldes institūciju, pašvaldību institūciju, fizisko un juridisko personu tiesības un brīvības, kā arī uzlikt tām papildu pienākumus. Lai sekmīgāk pārvaldītu ĀS jebkurā uzņēmumā, ir jāizstrādā ĀS pārvaldības plāns, iekļaujot maksimāli iespējamo apdraudējumu skaitu un rīcības algoritmus. Viens no jebkura uzņēmuma pamatuzdevumiem ir garantēt drošu darba vidi darbiniekiem, bet papildus standarta situācijām var izveidoties arī bīstamas situācijas, kas apdraud visus uzņēmuma darbiniekus vai atsevišķos gadījumos arī iedzīvotājus ārpus uzņēmuma teritorijas. PBO objektos ir jābūt CA plānam, ugunsdrošības instrukcijām, darba aizsardzības instrukcijām un citiem ar drošību saistītiem dokumentiem.

Mobilizācijas likumā mobilizācija definēta kā valsts militārās un civilās aizsardzības mērķtiecīgi plānoti un sagatavoti pasākumi valsts apdraudējuma novēršanai vai tā seku likvidācijai, izmantojot noteiktus cilvēkresursus, materiālos un finanšu resursus. Mobilizācijas likumam ir būtiska nozīme gadījumā, ja PBO notiek liela mēroga katastrofa, kuras rezultātā var būt nepieciešams mobilizēt CA formējumus vai pat mobilizēt iedzīvotājus. Pašreiz Latvijā nav izveidoti CA formējumi, un ministrijas nav devušas rīkojumu tos izveidot.

Likuma „Par pašvaldībām” 15. panta 18. punktā noteikts pašvaldību pienākums piedalīties CA pasākumu nodrošināšanā, kas ir katras pašvaldības autonomā funkcija. CA un katastrofas pārvaldīšanas likumā, pamatojoties uz likumu „Par pašvaldībām”, ir definēti pašvaldības pienākumi..

Būvniecības likumā ir atrunāts pienākumu un atbildības jomu sadalījums starp būvniecībā iesaistītajām pusēm, kas var būt fiziskas vai juridiskas personas. Tajā ir noteikti arī kontrolējošo valsts un pašvaldību atbildīgo institūciju pienākumi, atbildība būvniecības procesa uzraudzībā, kā arī paredzēta iespēja ieinteresētiem iedzīvotājiem savlaicīgi iepazīties ar informāciju un izteikt viedokli par savas dzīvesvietas tuvumā plānoto būvniecības projektu īstenošanu. Tas attiecas arī uz PBO būvniecību, jo šis likums iedzīvotājiem dod iespēju piedalīties dažādos būvniecības posmos, izsakot viedokli par paredzamo teritorijas apbūvi, tādējādi ietekmējot objekta būvniecības procesu. Saskaņā ar šo likumu pašvaldība pirms būvatļaujas izsniegšanas drīkst pieprasīt konstrukciju projektēšanu atbilstīgi noteiktiem standartiem un prasībām, kā arī drīkst noraidīt projektu, ja tas neatbilst prasībām.

Aizsargjoslu likumā ir definētas dažādu veidu aizsargjoslas, aizsargzonas, aizsardzības

¹⁰⁷ Urbans, M., Malahova, J., Ieviņš, J. (2017) Civil defense system in Latvia and identified drawbacks in Riga. *The 8 th international scientific conference Rural Development*. Conference Proceedings. pp.1350-1355.

joslas, kas noteiktas likumos un citos normatīvajos aktos. Saskaņā ar šo likumu, „aizsargjoslas ir noteiktas platības, kuru mērķis ir aizsargāt dažāda veida (gan dabiskus, gan mākslīgus) objektus no nevēlamas ārējās iedarbības, nodrošināt to ekspluatāciju un drošību vai pasargāt vidi un cilvēkus no kāda objekta kaitīgās ietekmes.”¹⁰⁸ Šis likums PBO kontekstā ir nozīmīgs, jo ap šāda veida objektiem ir nepieciešams izveidot aizsargjoslu, lai samazinātu iespēju, ka bīstamības zonā tiktu uzbūvēti citi objekti, kas varētu palielināt bīstamības pakāpi vai radīt domino efekta risku.

Likuma „Par bīstamo iekārtu tehnisko uzraudzību, mērķis ir panākt bīstamo iekārtu drošu, cilvēka dzīvībai, veselībai un īpašumam, kā arī videi nekaitīgu lietošanu un uzturēšanu, noteikt tiesisko un organizatorisko pamatu bīstamo iekārtu montāžai, remontam, tehniskajai apkopei, modernizācijai un pārbaudēm, kā arī noteikt valsts uzraudzības un kontroles institūciju funkcijas bīstamo iekārtu tehniskās uzraudzības jomā.”¹⁰⁹ Šī likuma nozīmīgums saistīts ar to, ka PBO parasti tiek ekspluatētas daudzas iekārtas, kuru uzraudzību veic atbilstīgi šī likuma prasībām.

Vides aizsardzības likums paredz nodrošināt vides kvalitātes saglabāšanu un atjaunošanu, kā arī dabas resursu ilgtspējīgu izmantošanu. Lai izvērtētu bīstamības objekta ietekmi uz vidi, ir izveidots Vides pārraudzības valsts birojs, kas ir Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas pārraudzībā esoša institūcija, kas izvērtē PBO izstrādāto DP un rūpniecisko avāriju novēršanas programmas atbilstību valsts normatīvo aktu un ES tiesību aktu prasībām.

Ugunsdrošības un ugunsdzēsības likums nosaka ugunsdrošības, ugunsdzēsības un glābšanas dienestu un organizāciju sistēmu, fizisko un juridisko personu uzdevumus un kompetenci ugunsdrošības un ugunsdzēsības jomā, kā arī VUGD funkcijas un amatpersonu ar speciālajām dienesta pakāpēm pienākumus, tiesības un tiesisko aizsardzību.¹¹⁰ Šis likums nosaka būtiskas prasības PBO vadībai un avārijas draudu novēršanai veicamos (nepieciešamos) ugunsdrošības pasākumos. Jāatzīmē, ka VUGD Latvijā ir atbildīgā institūcija par CA sistēmas uzturēšanu, tāpēc tam ir viena no svarīgākajām lomām civilās drošības sistēmas organizēšanā un uzturēšanā.

Ķīmisko vielu likuma mērķis ir nepieļaut, aizkavēt vai mazināt kaitējumu, ko ķīmiskās vielas un maisījumi tiem piemītošo īpašību dēļ var nodarīt videi, cilvēku veselībai un īpašumam.¹¹¹ Pamatojoties uz šo likumu, ir izdoti Ministru kabineta 2016. gada 1. marta noteikumi Nr. 131 „Rūpniecisko avāriju riska novērtēšanas kārtība un riska samazināšanas pasākumi”, lai nodrošinātu Eiropas Parlamenta un Padomes 2012. gada 4. jūlija direktīvu 2012/18/ES par lielu, ar bīstamām vielām saistītu avāriju risku pārvaldību, ar kuru groza un vēlāk atceļ padomes Direktīvas 96/82/EK ieviešanu Latvijas valsts normatīvajos aktos.

Likuma „Par piesārņojumu” mērķis ir novērst vai mazināt cilvēku veselībai, īpašumam un videi nodarīto kaitējumu piesārņojuma dēļ un novērst kaitējuma radītās sekas. Latvijā ir ieviesti rūpniecisko avāriju riska novērtēšanas un samazināšanas pasākumi, kuru īstenošanu uzrauga atbildīgās institūcijas, piemēram, Valsts vides dienests, Vides pārraudzības valsts birojs un savas kompetences ietvaros arī VUGD, lai nepieļautu vai

¹⁰⁸ *Aizsargjoslu un aprobežojumu tematiskais plānojums* (2016). [tiešsaiste]. Rīgas domes Pilsētas attīstības departaments. interneta vietne rdpad.lv 7.lpp. [skatīts 2017. gada 20.augustā]. Pieejams: http://www.rdpad.lv/wp-content/uploads/2016/10/AIZSARGJOSLAS/JOS_paskaidrojuma_raksts.pdf,

¹⁰⁹ *Par bīstamo iekārtu tehnisko uzraudzību* (1998). LR likums, pieņemts Rīgā. 1998. gada 13. oktobrī, Latvijas Vēstnesis, 291/292 (1352/1353).

¹¹⁰ *Ugunsdrošības un ugunsdzēsības likums*. (2002). [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 2002. gada 24. oktobrī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne [Likumi.lv](http://likumi.lv) [skatīts 2019. gada 2. janvārī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/68293-ugunsdroshibas-un-ugunsdzesibas-likums>

¹¹¹ *Ķīmisko vielu likums*. (1998). [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 1998. gada 1. aprīlī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne [Likumi.lv](http://likumi.lv) [skatīts 2019. gada 2. janvārī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/47839-kimisko-vielu-likums>

samazinātu iespējamo kaitējumu, ko rūpniecisko avāriju rezultātā ķīmiskās vielas tām piemītošo īpašību dēļ var nodarīt videi, apkārtnei, cilvēku labsajūtai, veselībai un īpašumam. Lēmumu par atļaujas izsniegšanu PBO veikt piesārņojošo darbu pieņem Valsts vides dienests, kas izvērtē piesārņojuma apmēru. Pēc tam atļaujā minēto informāciju izmanto pašvaldības plānojot teritoriju izmantošanu, kā arī Vides pārraudzības valsts birojs izvērtējot PBO iesniegtos DP un RANP. Vides pārraudzības valsts birojs ir izveidots saskaņā ar Ministru kabineta 2004. gada 6. janvāra noteikumiem Nr.4 „Vides pārraudzības valsts biroja nolikums”, kurā noteikti Vides pārraudzības valsts biroja galvenie darbības principi, funkcijas, uzdevumi un kompetences jomas vides saglabāšanas jomā. Vides pārraudzības valsts biroja 2018. gada publiskajā pārskatā ir sniegta informācija par piesārņojumu atļauju kategorijām, objektiem, kur tiek veikta noteikta rūpnieciskā ražošana un saimnieciskā darbība (piesārņojošās darbības), un, atkarībā no bīstamības videi, tiek iedalītas A, B un C kategorijā, kur A kategorijas darbībai ir potenciāli visbūtiskākā ietekme. Lai veiktu darbību, kas atbilst A un B kategorijai, ir nepieciešama atbilstoša A vai B kategorijas atļauja. Saskaņā ar likumu „Par piesārņojumu” Vides pārraudzības valsts birojs piedalās A un B kategorijas piesārņojošai darbībai izsniegto atļauju uzraudzības procesā.¹¹² Šī institūcija ir arī pilnvarota sniegt informāciju par objektu avāriju risku pārvaldību Latvijā, iekļaut to Eiropas Komisijas datubāzē, kā tas noteikts Eiropas Parlamenta un Padomes 2012. gada 4. jūlija Direktīvā 2012/18/ES. Tādējādi Vides pārraudzības valsts birojs pilda svarīgu funkciju rūpniecisko avāriju draudu samazināšanā un vides un cilvēku drošības sekmēšanā.

Darba aizsardzības likuma mērķis ir garantēt un uzlabot nodarbināto drošību, veselības aizsardzību darbā, nosakot darba devēju, nodarbināto un viņu pārstāvju, kā arī valsts institūciju pienākumus, tiesības un savstarpējās attiecības darba aizsardzības jomā.¹¹³ Darba aizsardzības likums galvenokārt regulē nodarbināto tiesības uz drošu darba vidi, un paredz, ka, neatkarīgi no tā, vai darbu veic PBO, vai citur, darba devēja pienākums ir nodrošināt, lai darba apstākļi neradītu risku nodarbināto personu veselībai.

Nacionālās gatavības plāna mērķis piesārņojuma gadījumiem ūdeņos ir noteikt kārtību, kādā valsts un pašvaldību iestādes, kas minētas Jūrlietu pārvaldes un jūras drošības likumā, rīkosies neparedzētas naftas, bīstamo vai kaitīgo vielu noplūdes gadījumā jūrā.¹¹⁴ Plāns nosaka trauksmes izziņošanas, piesārņojuma novērtēšanas, situācijas kontroles, operatīvās vadības un avārijas seku likvidācijas pasākumu noteikto secību neparedzētas naftas, bīstamo vai kaitīgo vielu izplūdes gadījumā. Plāns ir piemērojams jebkuram negadījumam jūrā, kas izraisa vai draud izraisīt piesārņojumu Latvijas ūdeņos ārpus ostu akvatorijām.

Jūrlietu pārvaldes un jūras drošības likums nosaka valsts pārvaldes institucionālo sistēmu jūrlietās, nodrošina jūras drošības un aizsardzības jomā pieņemto Latvijai saistošo starptautisko līgumu prasību, standartu īstenošanu un ievērošanu, lai nodrošinātu kuģošanas drošību, kuģu, ostu un ostas iekārtu aizsardzību, novērstu vides piesārņošanu no kuģiem un padarītu efektīvāku jūras satiksmi.¹¹⁵ Atsaucoties uz šo likumu, ir izdoti Ministru kabineta

¹¹² 2015.gada publiskais pārskats (2015). [tiešsaiste]. Vides pārraudzības valsts birojs [skatīts 2019. gada 30. janvārī]. Pieejams: http://www.vpvb.gov.lv/data/files/VPVB_2015_gada_parskats_END.pdf

¹¹³ Darba aizsardzības likums. (2002). [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 2001. gada 20. jūnijā, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2018. gada 15. janvārī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/26020-darba-aizsardzibas-likums>

¹¹⁴ Nacionālais gatavības plāns naftas, bīstamo vai kaitīgo vielu piesārņojuma gadījumiem jūrā (2010). [tiešsaiste]. LR Ministru kabineta rīkojums Nr.283 pieņemts Rīgā 2010. gada 21. maijā, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2018. gada 8.maijā]. Pieejams: likumi.lv/ta/id/210704-par-nacionalo-gatavibas-planu-naftas-bistamo-vai-kaitigo-vielu-piesarnojuma-gadjumiem-jura

¹¹⁵ Jūrlietu pārvaldes un jūras drošības likums (2002). [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 2002. gada 31. oktobrī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2018. gada 2. maijā]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/68491-jurlietu-parvaldes-un-juras-drosibas-likums>

2008. gada 5. februāra noteikumi Nr. 82 „Tipveida prasības, sagatavojot darbības plānu neparedzētiem piesārņojuma gadījumiem ostās, piestātnēs, piestātņu grupās un naftas vai ķīmisko vielu termināļos”.

Katastrofu medicīnas plāns un sistēma. Katastrofu medicīnas (turpmāk–KM) plāns izstrādāts atbilstoši Ministru kabineta 2011. gada 13. decembra noteikumiem Nr. 948 „Katastrofu medicīnas sistēmas organizēšanas noteikumi”, un tajā ir noteikti katastrofu medicīnas sistēmas mērķis, uzdevumi, institūciju atbildības jomas, rīcība un sadarbība dažādu apdraudējumu (ĀS, katastrofas, izņēmuma stāvokļa) gadījumā. Valsts KM plānam ir 22 pielikumi, katrā no tiem ir aprakstīta konkrēta rīcība un shēmas dažādu apdraudējumu gadījumā, kas palīdz efektīvi un ātri pārvarēt katastrofas iespējamās sekas, kā arī mācībās pārbaudīt visu iesaistīto institūciju gatavību ĀS. NMPD tīmekļa vietnē minēts, ka katastrofu medicīnas plāna mērķis ir mazināt iespējamību, ka ĀS gadījumā valsts institūcijas nav gatavas atbilstoši reaģēt. Katastrofu medicīnas plānā noteikti valsts iestāžu galvenie mērķi, metodes un struktūra iedzīvotāju aizsardzībai ārkārtas situācijās.¹¹⁶

Daudzi normatīvie akti apliecina, ka Latvijā ir ļoti sarežģīta drošības sistēma, kuras pārvaldībai jāizmanto dažādi specifiskie, katrai atsevišķai drošības sistēmas daļai noteiktie normatīvie akti un specifiskie instrumenti. No otras puses - tas parāda, ka visas sistēmas daļas ir saistītas un veido vienotu, vispusīgu valsts drošības sistēmu aizsardzībai pret dažādu veidu apdraudējumiem, kas ir pamats efektīvai un saskaņotai drošības sistēmai. Kopumā tas parāda tehnisko sistēmu saistību ar apkārtējo vidi un savstarpējo sistēmu iedarbību, kur ietilpst arī cilvēks kā sistēmas elements. Tātad drošības sistēmas efektīva un bezavārijas darbība ir saistīta ar dažādiem ekonomiskiem, tehniskiem, tiesiskiem un sociāliem faktoriem. Svarīgākais un sarežģītākais aspekts ir tas, ka vienmēr ir jāapzinās drošības sistēmas kopējais darbības algoritms attiecībā uz to, kā saglabāt drošības līmeni, un kā šī sistēma darbojas, lai identificētu sistēmas vājos elementus, novērtētu riskus un noteiktu iespējamo zaudējumu apmēru.

Pirmās daļas kopsavilkums un secinājumi

Daļā „Tehnogēnās vides stāvoklis un nozīmīgums” sniegto informāciju var izdalīt turpmāk tekstā aprakstītos secinājumos.

Svarīgākie pirmās daļas rezultāti:

1. Apskatīta tehnogēnās vides drošības sistēmas nozīme cilvēka dzīves vides saglabāšanā, nodrošinot ekonomisko, sociālo un rūpniecisko attīstību, kas mūsdienās ir drošas dzīves pamats. Īsumā apskatīti vairāki izstrādāti pārvaldības mehānismi, vietējie un ES normatīvie akti, kas reglamentē sistēmas vispārējo darbu, uz kuru pamata izdoti MK noteikumi, kuros noteikti konkrēti drošības pasākumi un prasības.

2. Aprakstīti ražošanas avāriju pirmsākumi un konstatēts, ka tie ir saistīti ar straujo industrializāciju. Iepriekšējo gadsimtu notikumu rezultātā samazinājās rūpniecības preču cenas, kas sekmēja mājsaimniecību ražojumu ēras norietu, jo šāda ražošana ar laiku kļuva neizdevīga. Rūpniecības preces varēja iegādāties par zemāku cenu, atlika vairāk laika citiem darbiem. Tas mudināja palielināt ražošanas apjomus–ražot vairāk un samazināt cenas, taču apdraudējumu nepietiekama izpratne izraisīja pirmās smagās avārijas rūpniecības nozarē un radīja nepieciešamību izstrādāt pirmos regulējošos normatīvos aktus.

3. Izanalizēti tehnogēnās sistēmas attīstības posmi un aprakstīti galvenie sarežģījumi, kā arī katastrofas un ārkārtējās situācijas, kas saistītas ar ražošanas sistēmas ļoti intensīvu

¹¹⁶ *Katastrofu Medicīnas plānošana un koordinācija*. (2017) [tiešsaiste]. Neatliekamās medicīniskās palīdzības dienests [skatīts 2019. gada 10. jūnijā]. Pieejams: http://www.nmpd.gov.lv/nmpd/katastrofu_medicina/km_planosana_un_koordinacija/

attīstību pēdējos 100 gados, un jaunu, nebijušu apdraudējumu iemesli. Pasaulē joprojām pieaug smago tehnogēno katastrofu skaits, un tas ir saistīts ar jaunu ķīmisko vielu izmantošanu rūpniecībā. Neskatoties uz to, ka kopumā tehnoloģiju drošības līmenis ir paaugstinājies, bīstamo avāriju skaits PBO nav samazinājies, un viens no skaidrojumiem ir bīstamo tehnoloģiju biežāka izmantošana mazāk attīstītajos pasaules reģionos, kur kontroles sistēmas ir mazāk attīstītas.

4. Izvērtēti statistikas dati par avārijām, katastrofām, ārkārtas gadījumiem, kas ļāva identificēt notiekošo procesu likumsakarības un paredzēt iespējamās notikumu attīstības tendences, pamatojoties uz līdzšinējo negatīvo vai pozitīvo pārmaiņu pieredzi, kas ļauj atbildīgajiem dienestiem laicīgi plānot nepieciešamos pasākumus, lai samazinātu konkrētās tautsaimniecības jomas iespējamās apdraudējumus.

5. Identificētas problēmas esošajā riska novērtēšanas pieejā, raksturots tehnogēnas vides izveides process, sniegti piemēri.

Galvenie pirmās daļas secinājumi:

1. Konstatēts, ka tehnogēnās katastrofas ir atkarīgas no ar dabu saistītiem faktoriem, piemēram, ekosistēmas procesiem, ko ietekmē dabas radīto negadījumu skaita pieaugums, kas rada papildu ārējo apdraudējumu tehnogēnās vides objektiem. Šādos objektos, notiekot dabas katastrofas izraisītai avārijai, situācija var pasliktināties, un var palielināties zaudējumu apmērs. Vairākums tehnogēno avāriju ir cilvēku izraisītas vai notikušas iekārtu nepareizas ekspluatācijas, organizācijas nepilnību vai iekārtu tehnisko bojājumu rezultātā.

2. Lai īstenotu tehnogēnās vides pārvaldību, sabiedrībai ir jāsaprot iespējamo zaudējumu apmērs un sekas, jāapzinās savas pašreizējās zināšanas par tehnogēno sistēmu un jāveic pamatoti aizsardzības pasākumi, lai uzlabotu vidi un samazinātu sekas. Tādējādi plānošanas dokumenti, kuri balstīti uz iespējamo aprioro zaudējumu novērtēšanu, ir aktuāls temats.

3. 21.gs. tehnogēnā vide ir cieši saistīta ar cilvēka dzīvi un tieši ietekmē cilvēka dzīves kvalitāti. Sabiedrība un cilvēks praktiski nevar pastāvēt bez ražošanas ietekmes. Ir izstrādātas vairākas pieejas, kā novērtēt zaudējumus no avārijas PBO. Bīstamības novērtēšanas procedūras pielietojums ir spējīgs sniegt atbildi par iespējamajiem ārējiem un iekšējiem apdraudējumiem, sniegt informāciju par iespējamajām sekām. Mainoties PBO, tiek pielāgoti bīstamības novērtēšanas sistēmas algoritmi, tāpēc arī riska pārvaldīšanas process regulāri jāpielāgo PBO izmaiņām. Tas iezīmē nepieciešamību pēc jaunas pieejas riska novērtēšanā, kas saistīta ar reālo naudas zaudējumu izteiksmes apzināšanu.

4. Attīstoties tehnogēnajai videi, ĀS gadījumu skaits nav samazinājies, un, neskatoties uz drošības sistēmu pilnveidojumiem un kopējo pasaules attīstību, negatīvo seku apjomi tikai pieaug.

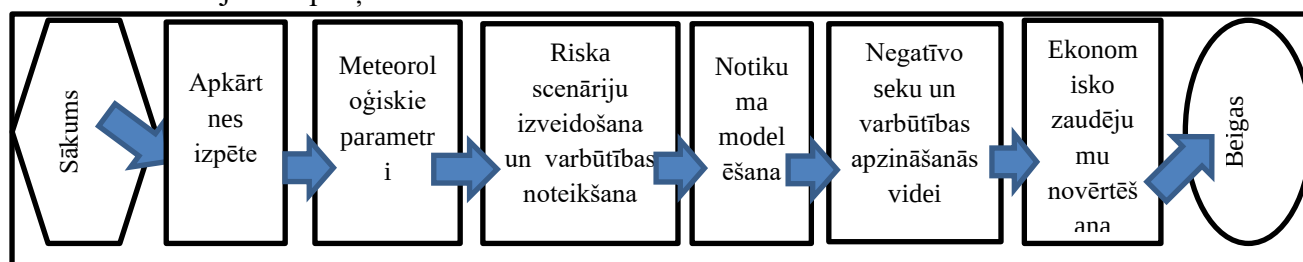
5. Izpētīta PBO darbību Latvijā reglamentējošā nacionālās drošības sistēmas struktūra.. Minētā sistēma sniedz iespēju kontrolēt PBO darbību, samazināt iespējamās apdraudējumus iedzīvotājiem, infrastruktūru, vidi no ietekmes, bet tomēr tehnogēnas vides ietvaros 100% drošību sasniegt nav iespējams. Tāpēc sistēmai nepieciešams būt gatavai efektīvi reaģēt uz pastāvošajiem apdraudējumiem un plānot resursus apdraudējuma pārvarēšanai un seku likvidēšanai.

2. MŪSDIENU TEHNOGĒNĀS VIDES AVĀRIJU ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS ANALĪZE

Otrajā daļā „Mūsdienu tehnogēnās vides avāriju zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas analīze” ir analizētas un aprakstītas pasaulē pastāvošās vides zaudējumu un gaisa piesārņojuma zaudējumu novērtēšanas metodes, ugunsbīstamības un sprādzienbīstamības saistīto zaudējumu novērtēšanas metodes, riska novērtēšanas metodes, kas palīdz veidot izpratni par avārijas seku novērtējuma procesu, tehnogēnās vides riskiem, riska novērtēšanas modeļiem.

2.1. Vides zaudējumu un gaisa piesārņojuma zaudējumu novērtēšanas metodes

Tehnogēnā riska analīzes metodoloģija ir specifisks instruments, kas var palīdzēt pieņemt pamatotus vadības lēmumus, nodrošinot ražošanas procesa drošību, ugunsdrošību un ekoloģisko drošību PBO. Vispārējās metodoloģijas vienkāršota blokshēma parādīta 2.1. attēlā, bet 15.pielikumā sniegta detalizēta izstrādātās metodoloģijas struktūra. Šajā promocijas darbā pamatota katra bloka nepieciešamība, kā arī aprēķinu formulas. Darba 3. daļā ir paskaidrots katra bloka saturs, bet 14.pielikumā apskatīts reāla objekta piemērs un veikts zaudējumu aprēķins.



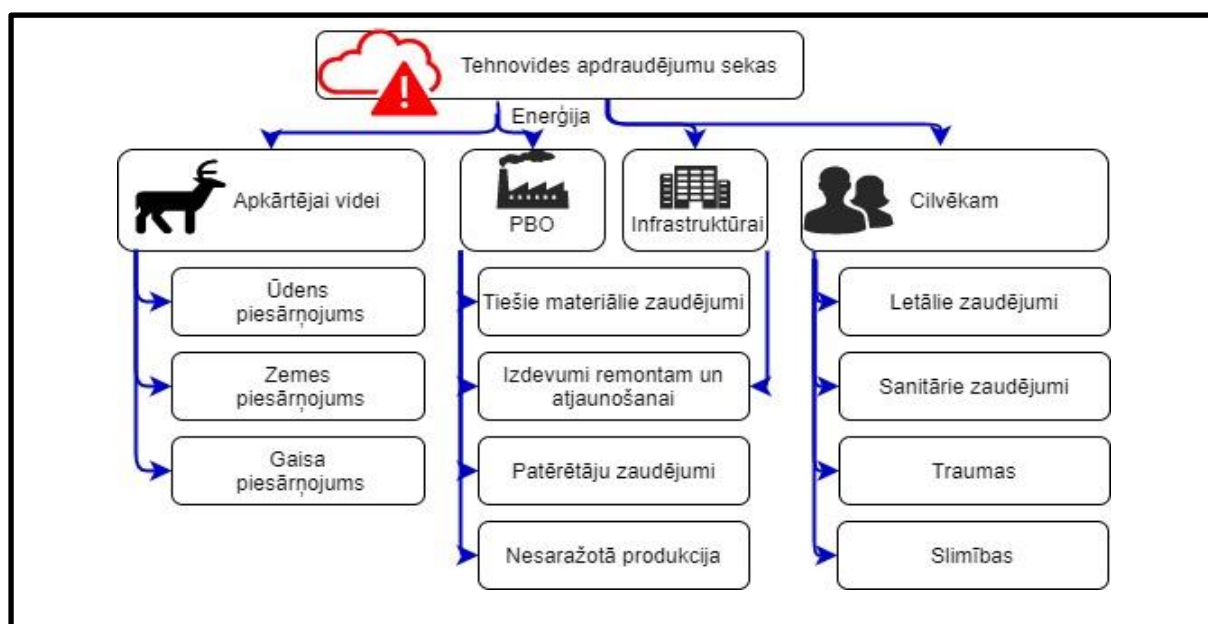
2.1. att. Piedāvātās metodoloģijas vienkāršota blokshēma. (Avots: autora veidots).

Tā kā PBO pašreiz netiek veikts visaptverošs iespējamo zaudējumu novērtējums, nepieciešams izstrādāt arī toksiskās un cita veida iedarbības uz cilvēkiem un vidi saistīto zaudējumu aprēķina metodes. Tehnogēno avāriju riska novērtējumam ir izvēlēta vienota metodoloģiskā metode, izmantojot Gausa funkciju ar augšējo integrēšanas robežu *probit* jeb varbūtību. Tā palīdz noteikt varbūtību, prognozēt riska līmeņus un pieņemt pamatotākus lēmumus. Tehnovides apdraudējumu iespējamās sekas tabulas veidā apkopotas 2.2. attēlā.

Pašlaik aktuālākais izaicinājums ir antropogēns atmosfēras, ūdens un augšnes piesārņojums, kā arī iespējamo ekonomisko seku apzināšanās infrastruktūrai un cilvēkam. Dzīvo organismu eksistences, dažādu dabas procesu un cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā izdalās dažāda veida gāzes, kuru sastāvā ir šķīdrias vai cietas vielas, kas nokļūst atmosfērā. Gaisa piesārņojums lielajās pilsētās ir nopietna problēma, un tā mazināšanai ir izstrādātas tādas zinātniskās metodes kā kompleksā novērtēšana, ekonomiskā rentabilitāte, izmaksu un ieguvumu novērtēšana, kā arī mērķu un kritēriju analīze, ko izmanto visā pasaulē.¹¹⁷ Saskaņā ar Eiropas Vides aģentūras publicētajiem datiem Eiropā pēdējās desmitgadēs dažādu gaisu piesārņojošo vielu emisijas ir ievērojami samazinājušās, un gaisa kvalitāte šajā reģionā ir uzlabojusies. Tomēr gaisu piesārņojošo vielu koncentrācija joprojām

¹¹⁷ Pisoni, E., Carnevale, C., Volta, M., (2009). *Multi-criteria analysis for PM10 planning*. Atmospheric Environment. Vol.43, pp. 4833-4842.

ir pārāk augsta, un ar gaisa kvalitāti saistīts apdraudējums joprojām pastāv.¹¹⁸ ES ilgtermiņa mērķis ir sasniegt tādu gaisa kvalitātes līmeni, kas nerada nepieņemamu ietekmi un risku cilvēku veselībai un videi.



2.2. att. Tehnoides apdraudējumu iespējamās sekas. (Avots: autora veidots).

Lai samazinātu gaisa piesārņojuma nelabvēlīgo ietekmi, ES veic dažādu līmeņu pasākumus, pieņemot tiesību aktus, sadarbojoties ar to nozaru pārstāvjiem, kas rada vislielāko gaisa piesārņojumu, kā arī ar starptautiskām, valsts un reģionālā līmeņa iestādēm, nevalstiskām organizācijām un pētniecības institūcijām. ES politikas mērķis ir mazināt gaisa piesārņojuma ietekmi, samazinot emisijas un nosakot ierobežojumus un robežvērtības gaisa kvalitātes jomā. Eiropas Komisija 2013. gadā pieņēma tīra gaisa kvalitātes paketi (angliski–*Clean Air Quality Package*) un jaunus pasākumus gaisa piesārņojuma samazināšanai.¹¹⁹ Latvijai kā ES dalībvalstij ir jāņem vērā uzdevumi, kas noteikti ES programmā „Tīrs gaiss Eiropai” un ES 7. vides rīcības programmā līdz 2020. gadam „Labklājīga dzīve ar pieejamajiem planētas resursiem” (2012–2020. gads). Šajā programmā ir noteiktas trīs prioritārās jomas, kurās ir jāīsteno pasākumi, lai aizsargātu dabu un stiprinātu ekoloģisko izturētspēju, lai veicinātu resursu izmantošanas ziņā efektīvu izaugsmi ar zemu oglekļa dioksīda emisiju līmeni, samazinātu draudus iedzīvotāju veselībai un labklājībai saistībā ar piesārņojumu, ķīmiskām vielām un klimata pārmaiņu ietekmi.¹²⁰

Daudzi pētījumu rezultāti liecina, ka ar gaisa piesārņojumu saistītās globālās ekonomiskās izmaksas pakāpeniski palielināsies, un ka 2060. gadā tās varētu sasniegt 1 % no pasaules IKP, kur vislielākos IKP zaudējumus piedzīvos Ķīna, Kaspijas jūras reģiona valstis un Austrumeiropas valstis.¹²¹ Šīs ekonomiskās sekas ir tieši saistītas ar gaisā esošo bīstamo vielu augsto koncentrāciju, kā arī ar sabiedrības novecošanos un augstiem izdevumiem

¹¹⁸ Eiropas vides aģentūra [tiešsaiste]. Eiropas vides aģentūra mājaslapa [skatīts 2018. gada 7.martā]. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/lv/themes/air/intro>

¹¹⁹ Eiropas vides aģentūra [tiešsaiste]. Eiropas vides aģentūra mājaslapa [skatīts 2018. gada 7.martā]. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/lv/themes/air/intro>

¹²⁰ Septītā VRP–vispārējā Savienības vides rīcības programma līdz 2020. gadam [tiešsaiste]. An official website of the European Union [skatīts 2018. gada 15.martā]. Pieejams: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/lv.pdf>

¹²¹ Lanzi, E., Dellink, R., Chateau, J. (2018). The sectoral and regional economic consequences of outdoor air pollution to 2060, *Energy Economics*. Vol. 71, pp. 89–113.

veselības jomā. Tiešās izmaksas palielinās vienmērīgi un proporcionāli ekonomiskajai aktivitātei, taču būtiski palielinās netiešās izmaksas. Tā kā Latvija ietilpst Austrumeiropas reģionā, šīs problēmas izpētes aktualitāte ir pašsaprotama.

Pirmie starptautiskie dokumenti atmosfēras piesārņojuma un tā negatīvās ietekmes mazināšanas jomā, kuros pieminēta atmosfēras aizsardzība pret tehnogēnās vides iedarbību, bija 1985. gada 22. martā parakstīšanai nodotā starptautiskā Vīnes konvencija par ozona slāņa aizsardzību, ko Latvija ratificēja 1995. gada 28. aprīlī, kā arī Monreālas 1987. gada protokols par ozona slāni noārdošām vielām.

Gaisa piesārņojumam jau vairākus gadu desmitus tiek pievērsta pastiprināta uzmanība vietējā, reģionālā un globālā mērogā.¹²² Tiek uzskatīts, ka gaisa piesārņojums izraisa fizioloģiskus traucējumus, piemēram, nervu sistēmas, smadzeņu darbības un kognitīvo funkciju traucējumus, kā arī ietekmē mirstības gadījumu skaita pieaugumu, cilvēku saslimšanu ar elpceļu, sirds un asinsvadu slimībām. Gaisa piesārņojums var radīt arī psiholoģisku ietekmi uz indivīdiem vai grupām, piemēram, samazinot subjektīvo labsajūtu, izraisot trauksmi un depresiju, un palielinot pašnāvību risku.¹²³

Viens no tipiskiem atmosfēras piesārņotājiem ir dūmi, kas izdalās vielu un materiālu degšanas procesā. Dūmi ir pastāvīga dispersijas sistēma, kas sastāv no sīkām cietajām daļiņām, kuras atrodas gāzēs suspendētā stāvoklī. Dūmi, kas satur no 10^{-7} līdz 10^{-5} lielas cietās daļiņas, ir viens no bīstamiem ugunsgrēka faktoriem.¹²⁴ Dūmi, kas atrodas atmosfēras zemajos slāņos, piesārņo piezemes apkārtējo vidi, bet nelabvēlīgos laikapstākļos var veidoties smogs un migla.

Gaisa piesārņojums eksistē visu lielo pilsētu centrā, jo īpaši - lielpilsētās, kur viens no galvenajiem gaisa piesārņotājiem ir transportlīdzekļu un rūpnīcu radītās emisijas. Gaisa piesārņojuma sastāvs, koncentrācija un iedarbības ilgums var dažādi ietekmēt cilvēku veselību,¹²⁵ gaisa piesārņotāji var izraisīt dažādas veselības problēmas, piemēram, hematotoksisku, genotoksisku un kancerogēnu iedarbību, kā arī hroniskas elpceļu saslimšanas, sirds un asinsvadu slimības, nervu sistēmas darbības traucējumus, ādas un acu kairinājumu, alerģiskas reakcijas. Veselības problēmas var rasties ļoti drīz pēc saskares ar piesārņotāju vai arī vairākus mēnešus, vai gadus pēc pirmās piesārņojuma iedarbības. Piemēram, Ķīnā, kas ir viena no lielākajām ekonomiskajām sistēmām pasaulē, gaisa piesārņojums 2010. gadā pārsniedza pieļaujamo PM 2,5 (cietas daļiņas, kuru diametrs ir 2,5 mikrometri vai mazāks) un ietekmēja līdz pat 1,2 miljoniem cilvēku; 600 000 nāves gadījumu saistīti ar gaisa piesārņojuma izraisītām cerebrovaskulārajām slimībām, bet vairāk nekā 200 000 nāves gadījumu – ar hronisku plaušu obstrukciju. Tāpēc 2015. gadā PM 2,5 iedarbības rezultātā labklājības līmenis Ķīnā kritās par 248 miljardiem USD.¹²⁶ Pētījumā par slimību slogu pasaulē (*Global Burden of Disease*) konstatēts, ka 2013. gadā gaisa piesārņojums bija iemesls 5,5 miljoniem priekšlaicīgu nāves gadījumu visā pasaulē.¹²⁷

¹²² Geng, L., Wu, Z., Zhang, S., Zhou, K. (2019). The end effect in air pollution: The role of perceived difference. *Journal of Environmental Management* Vol. 232, pp. 413–420.

¹²³ Bakian, A.V., Huber, R.S., Coon, H., Gray, D., Wilson, P., McMahon, W.M., Renshaw, P.F., (2015). Acute air pollution exposure and risk of suicide completion. *Am. J. Epidemiol.* Vol.181 (5), pp.295–303. <https://doi.org/10.1093/aje/kwu341>

¹²⁴ Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). *Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģenerētajiem piesārņojumiem*. Rīga:RTU izdevniecība. 30. lpp.

¹²⁵ Siquieroli, D., Boas, V., Matsuda, M., Toffoletto, O., Garcia, M. L. B., Saldiva, P.H.N., Marquezini, M.V. (2018). Workers of São Paulo city, Brazil, exposed to air pollution: Assessment of genotoxicity. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* Vol. 834, pp.18–24.

¹²⁶ Zeng, B., Wub, T., Guo, X. (2019). Interprovincial trade, economic development and the impact on air quality in China. *Resources, Conservation & Recycling* Vol. 142, pp.204–214.

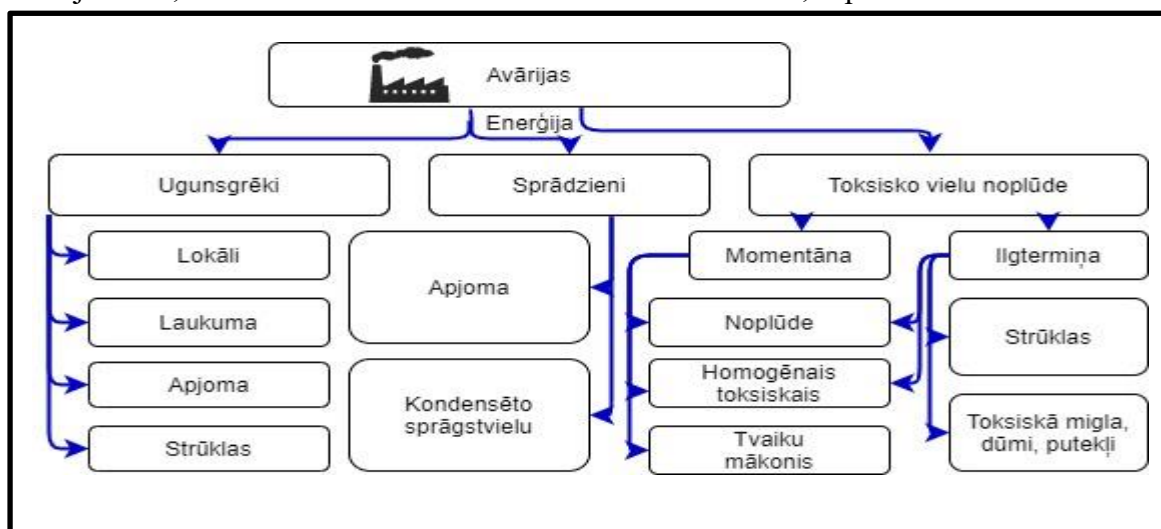
¹²⁷ Forouzanfar M.H., et al., (2015). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–

Papildus veselības apdraudējumam gāzu daļiņu ieelpošanas rezultātā, gaisa piesārņojums pilsētās izraisa arī citas problēmas, piemēram, pastiprinātu koroziju, materiālu fiziskā stāvokļa pasliktināšanos, vēstures pieminekļu un ēku bojājumus, kā arī kaitējumu dabai pilsētā.¹²⁸

Atmosfērai radītos zaudējumus var izteikt kvantitatīvi, ar skaitliskiem radītājiem. Pasaulē ar toksisko vielu izdalīšanos saistīto zaudējumu aprēķināšanai izmanto dažādas metodes, kuru galvenie principi ir ļoti līdzīgi. Ieguldījumiem apkārtējās vides aizsardzībā nevajadzētu pārsniegt novērsto zaudējumu apmēru. Riska pārvaldības kontekstā vispirms nosaka pieņemamo riska līmeni un cenšas ieviest pēc iespējas labākas riska samazināšanas stratēģijas, vienmēr ņemot vērā stratēģijas iespējamo ietekmi uz sociālo un ekonomisko darbību. Tāpēc gaisa piesārņojuma ietekmes novērtējums ir būtisks, lai pareizi noteiktu iespējamo saistību starp gaisa piesārņojumu un veselības apdraudējumu.¹²⁹ Ar piesārņojumu saistītās izmaksas ir neizbēgamas, bet bieži vien tās tiek ignorētas, un netiek aprēķināta vides piesārņojuma ietekme. Jebkura vides degradācija, neatkarīgi no tā, vai tas ir gaisa, vai ūdens piesārņojums, poligonu piesārņojums ar toksiskiem atkritumiem, vai bērnu pakļaušana bīstamu ķīmisko vielu ietekmei, rada izmaksas. Izmaksu veidu piemēri:

- a. tiešie medicīniskie izdevumi personām, kas saslima toksisku vielu ietekmes rezultātā;
- b. ar veselību saistītas netiešās izmaksas, piemēram, zaudētais laiks, kas netika veltīts mācībām vai darbam, rehabilitācijas izmaksas un speciālās izglītības izmaksas;
- c. samazināta ekonomiskā produktivitāte personām, kuru smadzenes, plaušas vai citi orgāni ir pastāvīgi bojāti toksisku vielu ietekmes rezultātā;
- d. dabas bagātību zudums;
- e. vides attīrīšanas izmaksas.¹³⁰

Avāriju veidi, kas saistīti ar bīstamo vielu izmešiem atmosfērā, ir parādīti 2.3. attēlā.



2.3. att. Shēma, kas ilustrē iespējamās avārijas attīstību, bīstamām vielām nokļūstot atmosfērā.¹³¹

2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* Vol. 386 (10010), pp. 2287–2323.

¹²⁸ Vlachokostas, Ch., Achilles, Ch., Moussiopoulos, N., Banias, G. (2011). Multicriteria methodological approach to manage urban air pollution. *Atmospheric Environment* Vol. 45, pp. 4160-4169.

¹²⁹ Cocheo, C., Sacco, P., Zaratini, L. (2011). Assessment of Human Exposure to Air Pollution Assessment of Human Exposure to Air Pollution. *Encyclopedia of Environmental Health*, pp. 230-237.

¹³⁰ Landrigan, P. J. (2012). The hidden costs of environmental contamination. *European Respiratory Journal*. Vol. 40, pp. 286-288.

ASV 1980. gadu sākumā ekspertu komiteja Medicīnas institūta Stenfordas Universitātes Nobela prēmijas laureāta ekonomikā prof. K. Eroua (K. Arrow)¹³² vadībā izstrādāja vides piesārņojuma izraisīto saslimšanu izmaksu novērtēšanas metodiku, kuras pamatā ir aprēķins par daļēju ieguldījumu noteiktā iedzīvotāju grupā. Vides piesārņojuma veida daļa definēta kā konkrētas slimības, kas tiktu novērsta, ja vides riska faktori tiktu samazināti līdz iespējami zemākajam līmenim, kategorijas procentuālā daļa. Šīs slimības izmaksas aprēķina konkrētā iedzīvotāju grupā, izmantojot šādu (2.1.)¹³³ vienādojumu:

$$\text{Izmaksas} = \text{slimības biežums} * \text{vides piesārņojuma veida daļa} * \text{iedzīvotāju skaits} * \text{katra atsevišķa gadījuma izmaksas} \quad (2.1.)$$

Izmaksas parasti iedala tiešās un netiešās ar veselību saistītās izmaksās, un abi šie veidi ir iekļauti aprēķinos. Šo metodi izmanto, lai novērtētu ar vidi un arodslimībām saistītas izmaksas, un tās rezultāti ir ietekmējuši sabiedrības veselību un labklājību visā pasaulē. Tā ir spēcīga jaunā metode vides piesārņojuma ietekmes novērtēšanas jomā – pilnīga izmaksu uzskaitē jeb zaļā grāmatvedība. Pilnīga izmaksu uzskaitē ir grāmatvedības termins, kas attiecas uz uzņēmējdarbības, valsts vai pašvaldības darbības izmaksu apguvi un kvantitatīvu novērtēšanu. Pilnīga izmaksu uzskaitē atšķiras no tradicionālās uzskaites, kas rūpīgi fiksē materiālu, darbaspēka un enerģijas izmaksas, bet neņem vērā ārējos faktorus, kas neietilpst standarta tirgus mehānismos, piemēram, vides degradāciju un slimības. Pilnīgas izmaksu uzskaites mērķis ir noteikt ārējos faktorus, no kuriem daudzi var būtiski ietekmēt sabiedrības veselību un labklājību, un monetāras vērtības.

Turpmāk tekstā apskatītas galvenās modelēšanas metodes atmosfēras piesārņojuma paredzēšanai. Tās palīdz noteikt, kāda koncentrācija uzskatāma par bīstamu un var ietekmēt iedzīvotājus un viņu veselības stāvokli. Meteoroloģiskie parametri var ātri izmainīties laikā un telpā, tāpēc nepastāv vienots modelis visu iespējamo piesārņojumu gadījumu raksturošanai.

Bīstamo vielu izplatības modelēšana atmosfērā no avota līdz konkrētai vietai ir ļoti svarīga un sarežģīta, pasaulē eksistē daudzas modelēšanas metodes bīstamo vielu koncentrācijas noteikšanai gaisā. R. Epiratukula (R. Apiratukul) aprakstītais matemātiskais modelis ir ļoti nozīmīgs instruments ietekmes uz vidi novērtēšanai, jo īpaši gaisa piesārņojuma jomā, un to var izmantot vēl pirms projekta uzsākšanas, lai paredzētu iespējamo ietekmi.¹³⁴ Tādējādi pasaulē pašreiz nav vienota modeļa, lai noteiktu visus faktorus, kas ietekmē bīstamo vielu izplatību atmosfērā. Veicot novērtējumu parasti ņem vērā tādas faktorus kā vēja ātrums, virziens, atmosfēras spiediens un citi meteoroloģiskie parametri, kas palīdz noteikt piesārņojuma vielu negatīvo ietekmi noteiktā punktā x_i ar koordinātēm (x, y, z) .

PBO, kur glabājas sašķidrinātas un sprādzienbīstamas gāzes, var nopietni apdraudēt cilvēku veselību un dzīvību, kā arī apkārtējo vidi, jo intensīvas iztvaikošanas rezultātā veidojas lieli toksiskie un sprādzienbīstami mākoņi.¹³⁵ Dūmu sastāvu, kas veidojas bīstamo vielu degšanas rezultātā, ietekmē dažādi faktori, piemēram, degšanas laukums, ugunsgrēka veids, meteoroloģiskie apstākļi, apkārtne, degošā viela vai materiāls un citi faktori. Biežākais

¹³¹ Романов, В.И. (2006). *Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу*. Москва: Физматкнига. 11.стр.

¹³² Arrow, J. (1981). *Costs of Environment-Related Health Effects: A Plan for Continuing Study*. Washington, National Academy Press, Institute of Medicine. 18.p.

¹³³ Landrigan, P.J. (2012). The hidden costs of environmental contamination. *European Respiratory Journal* Vol. 40 pp. 286-288.

¹³⁴ Apiratikula, R. (2015). Approximation Formula For The Prediction Of Downwind Distance That Found The Maximum Ground Level Concentration Of Air Pollution Based On The Gaussian Model. *Social and Behavioral Sciences* Vol. 197, pp.1257 – 1262.

¹³⁵ Старовойтова, Е. В., Галеев, А. Д., Поникаров, С. И. (2013). Оценка последствий аварийного выброса сжиженного аммиака с использованием вероятностного критерия поражения. *Вестник Казанского технологического университета*. стр. 259-261.

cilvēku bojāejas iemesls ir toksisko gāzu ietekme.¹³⁶ Šīs promocijas darba sadaļas aktualitāte ir acīmredzama, jo gaisa piesārņojuma modelēšana palīdz noteikt un izmantot ugunsgrēka dzēšanas metodiku, aizsargāt iedzīvotājus un VUGD darbiniekus no koncentrētu bīstamo vielu ietekmes, kā arī samazināt nelabvēlīgo ietekmi uz dabu un noteikt iespējamo seku apmēru.

Lai iegūtu ticamus datus par atmosfēras piesārņojumu ar bīstamām vielām, kas noplūdes gadījumā izdalās, degot vai iztvaikojot toksiskiem šķidrumiem, būtu jāveic ļoti daudz eksperimentu, izmantojot gāzes aerosolu paraugus, kas ir dārgi. Laicīgi plānojot nepieciešamos riska samazināšanas pasākumus, lai noteiktu vielu bīstamo koncentrāciju, izplatības rādītājus un lai samazinātu iespējamo kaitējumu iedzīvotājiem un dabai, ekoloģiskā apdraudējuma bīstamību var aprēķināt arī matemātiski. Piesārņojošo vielu koncentrācijas apmēru konkrētā attālumā no notikuma vietas vēja virzienā var noteikt, izmantojot dažādas metodes. Izmantojot matemātiskās modelēšanas metodes, tiek ņemti vērā šādi galvenie faktori:

- piesārņojuma avots un tā raksturojums;
- pārnese process – ķīmisko reakciju mijiedarbība un pārveide atmosfēras procesa ietekmes rezultātā; reljefa ietekme un meteoroloģiskie apstākļi;
- ietekme uz apkārtējo vidi un cilvēkiem (toksiskās kategorijas robežvērtība).

Gausa gaisa piesārņojuma modelis ir viens no populārākajiem matemātiskajiem modeļiem, ar kura palīdzību var prognozēt piesārņojošo vielu koncentrāciju un pārnese ar vēju, kas var ietekmēt gaisa kvalitāti. Atbilstoši Gausa dispersijas modelim piesārņojuma izplatība tiek raksturota ne tikai horizontāli, bet arī vertikāli, pamatojoties uz eksperimentāliem datiem. Tieši šajā modelī tika ieviests Paskvila–Giforda horizontālā un vertikālā sadalījuma jēdziens, kas parametrizēts kā atmosfēras stabilitātes funkcija.¹³⁷ Gausa modelis paredz, ka stabilas temperatūras apstākļos pastāvīgā vēja virzienā un ātrumā neitrāli peldoši piemaisījumi horizontālā un vertikālā virzienā izkliedējas neatkarīgi viens no otra, kur attiecībā uz fiziskajiem faktoriem, kas ietekmē pārnese, tiek izmantoti labojuma koeficienti.

Galvenais dispersijas modeļu uzdevums ir paredzēt emitēto gaisu piesārņojošo vielu koncentrāciju (arī toksisko piesārņojumu), kas rodas turbulentās difūzijas rezultātā. Paskvila–Giforda modeli var izmantot ļoti precīzai piesārņojuma koncentrācijas noteikšanai 10 km attālumā no piesārņojuma vietas. Šo modeli izmanto arī Starptautiskā Atomenerģētikas organizācija, un to iesaka izmantot arī Pasaules Meteoroloģijas organizācija. Dažādas šī modeļa modifikācijas ir aprakstītas normatīvajos aktos, piemēram, Starptautiskās Atomenerģijas aģentūras (SAEA) (angliski – *International Atomic Energy Agency – IAEA*) drošības vadības dokumentā Nr. 50-SG-S3, kā arī programmatūrā „GENII”,¹³⁸ „SILAM”,¹³⁹ „COSIMA”,¹⁴⁰ „AIDA”,¹⁴¹ „BSAVVL version 2.3h”.

Paskvila–Giforda modeļa vienādojums (2.2.).¹⁴² Lai iegūtu rezultātu, vienādojumā jānorāda teritorijā esošo izmešu avotu novietojums, augstums, diametrs, izmešu ātrums un

¹³⁶ Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). *Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģenerētajiem piesārņojumiem*. Rīga: RTU izdevniecība, 32 lpp.

¹³⁷ Šteinberga, I. (2007). *Kvazistatisku atmosfēras piesārņojuma līmeņu kompleksā analīze un modelēšana*. Promocijas darbs. Rīga: Latvijas Universitāte. Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte. 23.lpp.

¹³⁸ Napier, B.A., Peloquin, R.A., Streng, D.L., Ramsdell, J.V. (1988). *GENII-The Hanford Environmental Radiation Dosimetry Software System*. Volume 1: Conceptual Representation. Pacific Northwest Laboratory. Washington, 3.pp.

¹³⁹ Sofiev, M., Siljamo, P., Valkama, I., Ilvonen, M., Kukkonen, J. (2006). A dispersion modelling system SILAM and its evaluation against ETEX data. *Atmospheric Environment* Vol. 40, pp. 674–685.

¹⁴⁰ Naumann K-H. (2003). COSIMA—a computer program simulating the dynamics of fractal aerosols. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 34, Issue 10, pp.1371-1397.

¹⁴¹ Serbo V.V. (2003). Status of AIDA and JAS 3. *Nucl.Instrum.Meth*. Vol. A502 pp.663-665.

¹⁴² Stern, E. (2017). *Risk Assessment of Severe Accidents Involving Atmospheric Dispersion of Anhydrous and Hydrated Ammonia mixtures*. [tiešsaiste]. Presented at Ammonia World New and Old – 2017 conference Technion, Haifa, Israel 15.11.17 Pieejams: https://www.youtube.com/watch?v=p_ldUMMZVPo

apmērs, jānosaka, vai izmešu avots atrodas pilsētā vai ārpus tās, kā arī jānorāda atmosfēras stabilitātes kategorija, lai izmantotu atbilstošas dispersijas parametru noteikšanas formulas.

$$C(x, y, z, t) = \frac{f(a) \cdot Q}{2\pi \partial_y \partial_z U} * \exp\left(-\frac{y^2}{2\partial_y^2}\right) * \left(\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\partial_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\partial_z^2}\right)\right), \quad (2.2.)$$

kur $C(x, y, z)$ – bīstamas vielas koncentrācija piesārņojuma vietā;

Q – avota izmešanas jauda, kg/s;

U – vēja ātrums, m/s;

∂_y, ∂_z – dispersijas parametri, kas atkarīgi no atmosfēras stabilitātes klases, no vēja virziena un plūsmas x , m;

H – augstums, m;

x, y, z – ass, platums, augstums, punkta Dekarta koordinātes;

$f(a) = 1$, ja $(H < 100 - 200 \text{ m})$

Tiek izmantoti Gausa modeļi ar dažādām ∂_y, ∂_z dispersijas izplatības funkcijām, piemēram, Paskvila–Brigsa modelis, Paskvila–Giforda modelis un citi modeļi. Paskvila–Brigsa modelī dispersijas parametru izplatības funkcijas ir atkarīgas no atmosfēras stabilitātes klases, kur katrai stabilitātes klasei atbilst noteikts vēja ātrums, insolācijas pakāpe dienā un mākoņu daudzums naktī. Vienādojumā (2.2.) parametri ∂_y, ∂_z palielinās atkarībā no attāluma uz x ass. Šo parametru palielinājums atkarīgs no turbulences intensitātes un no atmosfēras stabilitātes.

Brigsa ieteiktās formulas¹⁴³ ∂_y, ∂_z dispersijas parametru attāluma no 100 m līdz 10 km noteikšanai sniegtas 2.1. tabulā. Šie parametri noteikti, veicot teorētisko izpēti un reālus eksperimentus atkarībā no zemes reljefa. 2.1. tabulā apkopotas dažādas dispersijas parametru ∂_y, ∂_z aprēķina formulas.

2.1. tabula

∂_y, ∂_z dispersijas parametru izplatības funkciju aprēķina formulas¹⁴⁴

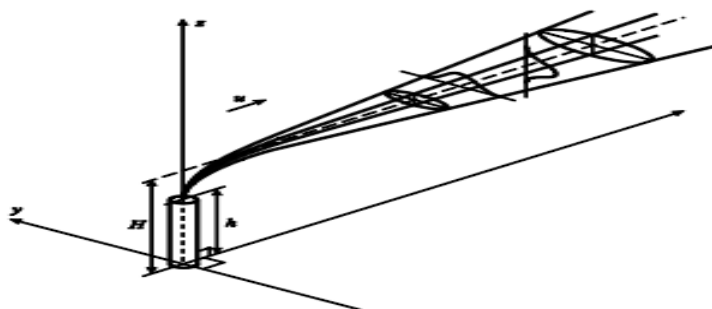
Paskvila–Giforda stabilitātes klase	Atmosfēras stabilitāte	∂_y (m)	∂_z (m)
1	2	3	4
Atklāts laukums (lauku teritorija)			
A	Ļoti nestabila	$0,22x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,2x$
B	Nestabila	$0,16x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,12x$
C	Nedaudz nestabila	$0,11x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,08x(1+0,0002x)^{-1/2}$
D	Neitrāla	$0,08x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,06x(1+0,0015x)^{-1/2}$
E	Nedaudz stabila	$0,06x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,03x(1+0,0003x)^{-1}$
F	Ļoti stabila	$0,04x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,016x(1+0,0003x)^{-1}$
Pilsētas teritorija			
A–B	Nestabila	$0,32x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,24x(1+0,001x)$
C	Nedaudz nestabila	$0,22x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,2x$
D	Neitrāla	$0,16x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,14x(1+0,0003x)^{-1/2}$
E–F	Ļoti stabila	$0,11x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,08x(1+0,0015x)^{-1/2}$

Nestacionāro Gausa modeli var izmantot tad, ja norādītais mērogs ir pietiekams gaisa piesārņojuma novērtēšanai apdzīvotā teritorijā. Gausa modelis ir iekļauts lielākajā daļā valstu

¹⁴³ Briggs, G.A., (1974). Diffusion Estimation for Small Emissions, Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories.

¹⁴⁴ Guidelines for Chemical process Quantative Risk Analysis. (2000). American institute of chemical engineers. New-York: A John Wiley & sons, inc., publication 122 pp.

standartu, kas palīdz noteikt koncentrāciju un attālumu no avota. Gausa strūkļas shēma ir parādīta 2.4. attēlā.



2.4. att. Gausa strūkļas shēma.¹⁴⁵

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} * \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right], \quad (2.3.)$$

kur $C(x, y, z)$ —bīstamās vielas koncentrācija piesārņojuma vietā;

Q —avota izmešanas jauda, kg/sek.;

U —vēja ātrums, m/s;

σ_y, σ_z —dispersijas parametri, kas atkarīgi no atmosfēras stabilitātes klases, no vēja virziena un plūsmas x , m;

x, y, z —ass, platums, augstums, punkta Dekarta koordinātes.

Vidējas koncentrācijas avotam virs zemes līmeņa (piemēram, kūdras ugunsgrēka gadījumā) var izmantot (2.3.)¹⁴⁶ vienādojumu, kur augstums zemes līmenī $Z_m = 0$.

Parasti ir jānoskaidro tikai koncentrācija zemes līmenī, zemāk par šleifa līmeni tikai uz x ass—tad var izmantot (2.4.)¹⁴⁷ vienādojumu:

$$C(x, 0, 0) = \frac{f(a) * Q}{2 * \pi * U * \sigma_y(x) \sigma_z(x)}, \quad (2.4.)$$

kur $C(x, y, z)$ —bīstamas vielas koncentrācija piesārņojuma vietā;

Q —avota izmešanas jauda, kg/sek.;

U —vēja ātrums, m/s;

σ_y, σ_z —dispersijas parametri, kas atkarīgi no atmosfēras stabilitātes klases, no vēja virziena un plūsmas x , m;

H —augstums, m;

x, y, z —ass, platums, augstums, punkta Dekarta koordinātes;

$f(a) = 1$, ja ($H < 100-200$ m).

Koncentrāciju gaisa plūsmā var ietekmēt lietus vai sniegs, jo šādos apstākļos tvaiki vai gāzveida vielas iekļūst ūdens pilienos, vai sniegpārslās un nonāk uz zemes nokrišņu veidā.

Gaisa piesārņojuma radīto zaudējumu noteikšanai Štutgartes Universitātes zinātnieki izveidoja modeli *EcoSense* piesārņojuma ietekmes uz cilvēka organismu novērtēšanai. Ar šī modeļa palīdzību ir iespējams modelēt PM , NO_2 , SO_2 , NH_3 izplatību atmosfērā. Lai novērtētu

¹⁴⁵ Зарипов, Ш. Х., Марданов, Р. Ф., Шарафутдинов, В. Ф., Гильфанов, А. К., Никоненкова, Т. В. (2018). *Математические модели переноса загрязнений в окружающей среде*, Казань : Казанский университет. 34. стр.

¹⁴⁶ Замай, С.С., Якубайлик, О.Э. (1998). Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города. Красноярск: Красноярский Межвузовский центр информационных технологий в экологическом образовании. 25.стр.

¹⁴⁷ Швыряев, А. А., Меньшиков, В. В. (2004). *Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе*. Москва: МГУ. 21.стр.

ietekmi uz indivīdu veselību, izmanto Eiropas līmeņa datubāzi. Modelēšanā izmantoti standarta meteoroloģiskie modeļi.

Salīdzinot datus par pētāmajā teritorijā esošajiem receptoriem un piesārņojuma sadalījumu, *EcoSense* var aprēķināt ekspozīcijas līmeni un sekas piesārņojuma skartajām personām. *EcoSense* nosaka kopējos zaudējumus naudas izteiksmē, piešķirot katrai iespējamai ietekmei atbilstošo vērtību naudas izteiksmē.¹⁴⁸ *EcoSense* ir ļoti viegli izmantot, un pirmajiem 100 modelējumiem to var izmantot bez maksas. Datus var ātri ievadīt un rezultātus ir ļoti viegli interpretēt. Zaudējumu aprēķināšanai iedalīti divi rādītāji—zaudējumi 2010. un 2020. gadā, kas atspoguļo piesārņojuma izraisīto zaudējumu apmēru naudas izteiksmē šodien un nākotnē.

Promocijas darba ietvaros gaisa piesārņojuma un sprādzienbīstamās zonas novērtēšanai izmantota *ALOHA* (angliski—*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) simulācijas programma, kuras pamatā ir iepriekš tekstā apskatītais Gausa dispersijas modelis. Simulācijas modeli kopīgi izstrādāja vairākas organizācijas, ieskaitot ASV Vides aizsardzības aģentūru, Ķīmisko avāriju sagatavotības un novēršanas biroju un ASV Nacionālās Okeānu un atmosfēras administrācijas reaģēšanas un atjaunošanas biroju.¹⁴⁹ *ALOHA* ir bezmaksas programma, kas pieejama ikvienam interesentam. Ar šī modeļa palīdzību var imitēt vairāk nekā 900 ķīmisko vielu dispersiju, un to parasti izmanto bīstamu vielu nejaušas noplūdes simulācijai¹⁵⁰ vai ķīmisko tvaiku izkliedes gadījumā. Ievadot sākotnējos noplūdes datus, piemēram, laikapstākļus, vielas daudzumu, atrašanās vietu un citus parametrus, ar *ALOHA* simulācijas modeļa palīdzību iespējams identificēt toksiskās zonas platību, koncentrāciju, siltumstarojuma intensitāti un pārspiediena iespējamās sekas, ko var izmantot zaudējumu aprēķināšanai. Prognozējot zaudējumus cilvēkiem un infrastruktūrai, varbūtību un seku apmēru nav iespējams novērtēt, ja nav zināms bīstamo vielu koncentrācijas laukums un siltumstarojuma un pārspiediena iedarbības attālums, tāpēc šī darba ietvaros *ALOHA* programmu izmanto negadījumu apmēra modelēšanai un iedarbības nelabvēlīgo seku novērtējumam.

PBO darbība ir saistīta ar tehnogēniem apdraudējumiem, kuru negatīvo seku iestāšanos ir grūti paredzēt, jo to ietekmē varbūtības princips, un nav zināms ietekmes apmērs uz iedzīvotājiem un dabu. ĀS vienmēr notiek īsākā laikā, bet bīstamo vielu koncentrācija ir lielāka, piemēram, avārijas rezultātā bojāto iekārtu toksisko šķidrumu vai gāzes iztvaikošanas, vai degšanas gadījumā. Tāpēc ietekmes uz dabu un cilvēkiem novērtēšanai avārijas gadījumā PBO ir jāizmanto citas metodes, jo novērtējumu ietekmē varbūtības princips. Līdz ar to ir sarežģīti noteikt visus ietekmes faktorus, jo katra avārija un potenciālā piesārņojuma skartā persona ir atšķirīga. Veibula sadalījums ir piemērotāka metode retu ĀS gadījumu pētīšanai dabiskā un tehnogēnā vidē, jo tas labi apraksta varbūtības apmēru. Veibula sadalījumu izmanto detaļu un elementu drošības līmeņa novērtēšanai un tam, lai noteiktu posmu, kad iespējama vislielākā šo elementu atteice.

Bīstamas situācijas varbūtības novērtēšanai, izmantojot noteikto integrālu, parasti izmanto plaši pazīstamo Gausa funkciju (klūdu funkcija), ko var izteikt kā ietekmes (zaudējumu) risku (2.5.):¹⁵¹

¹⁴⁸ Brizio, E., Genon, G. (2005). The influence of different mixing heights on the “ECOSENSE” model results at a local scale. *Environmental Modelling & Software* Vol.20, pp. 917-933.

¹⁴⁹ Tseng, J.M., Su, T.S., Kuo, C.Y. (2012). International Symposium on Safety Science and Technology Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. *Procedia Engineering* Vol. 45, pp. 384 – 389.

¹⁵⁰ I, Y.P., Shu, C.M., Chong, C.H. (2009). Applications of 3D QRA technique to the fire/explosion simulation and hazard mitigation within a naphtha-cracking plant. *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 22, pp.506–515.

¹⁵¹ Фалеев, М.И., Измалков, В.И. (2013). Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. 2 (9) том 5, стр. 4-12.

$$R_{iet} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (2.5.)$$

kur R_{iet} —ietekmes (zaudējumu) risks.

Augšējā integrēšanas robeža ir sakarība starp skaitlisko kaitīgas ietekmes mērvienību, piemēram, bīstamās vielas saņemto devu, siltumenerģijas daudzumu, kas ietekmē cilvēku un objekta ietekmes varbūtību.¹⁵² Izmantojot šo funkciju, tiek veidotas speciālas *probit* modeļa tabulas, ar kurām, izmantojot interpolācijas metodi, var noteikt nepieciešamo lielumu. Skatīt 2.3. tabulu. Šī sasaiste atspoguļota, izmantojot *probit* modeli.

Viens no modernākajiem veidiem vērienīgu seku uz cilvēkiem, materiāliem un dabas resursiem novērtēšanai ir *probit* vai *Erfik* modeļa izmantošana.¹⁵³ Ar *probit* modeli, apkopojot datus par reģionu un potenciāli bīstamo objektu tehnoloģiskajām īpašībām, var noteikt iespējamo ietekmi uz cilvēkiem, precīzi nosakot iespējamās sanitāros zaudējumus un letālos zaudējumus atkarībā no apdraudējuma sekām, kas ir atkarīgas no bāriskās kāpes (tvaiku un gāzes sprādzieni), termiskās radiācijas (piemēram, noplūdes ugunsgrēki, ugunslode, strūklas ugunsgrēks), mehāniskās iedarbības sabrūkot konstrukcijām sprādziena vai citu faktoru ietekmē, un toksiskās iedarbības, ja bīstamās vielas nonāk cilvēka organismā. *Probit* modeļa nevienādojuma formulā (2.6.) a un b ir katras vielas konstantes, kas raksturo bīstamības pakāpi un ietekmi. Būtībā Pr ir Gausa kļūdu funkcijas augšējā robežvērtība, tā dēvētā *Erfik* funkcija Q , ko izmanto konkrētu zaudējumu varbūtības noteikšanai. Funkcijas $Q = erf(Pr)$ aprēķināšanai un *probit* robežvērtības, kas apgrūtina koeficientu piemērošanu, noteikšanai izmanto divas metodes: $Q = erf(Pr=0)$ un $Q = erf(Pr=5)$. Dažādām bīstamām vielām Pr funkcijas ir dažādas konstantes. *Probit* modeļa kopējā izteiksme analītiskajā formā ir sniegta (2.6.)¹⁵⁴ vienādojumā:

$$Pr = a + b \ln(D), \quad (2.6.)$$

kur a un b ir konstantes;

D —skaitliskais lielums, ar ko apzīmē negatīvo ietekmi uz piesārņojuma skarto personu vai nelabvēlīgās ietekmes devu.

Zinātnieks N. Eisenbergs (*N. Eisenberg*) pirmais izstrādāja koeficientus un izveidoja vienādojumu kaitējuma varbūtības novērtēšanai, izmantojot *probit* modeli, ar ko novērtē attiecību starp devas ietekmi un cilvēka reakciju uz siltumstarojumu, toksisku vielu un pārspiedienu.¹⁵⁵ Dati tika iegūti, analizējot siltuma ietekmi kodolsprādziena gadījumā. Šīs metodes pamatā ir pieņēmums, ka vienāda līmeņa iedarbība dažādos gadījumos (absorbēto vielu daudzums, radiācijas deva, spiediena impulss utt.) var izraisīt dažāda smaguma sekas dažādiem cilvēkiem—iedarbības efekts ir cieši saistīts ar varbūtības principu. *Probit* modeli agrāk bieži izmantoja, jo tas bija vienkāršs un pielāgojams.¹⁵⁶ Medicīniskajā statistikā *probit* modeli plaši izmanto, lai prognozētu toksisko vielu iedarbību, sprādziena viļņa sekas un termisko iedarbību.

¹⁵² Фалеев, М.И., Измалков, В.И. (2013). Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. 2 (9) том 5, стр.4-12.

¹⁵³ Белов, П.Г. (2003). *Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательский центр «Академия». 282.стр.

¹⁵⁴ Cozzani, V., Salzano, E. (2004). The quantitative assessment of domino effects caused by overpressure Part I. *Probit models*, *Journal of Hazardous Materials* Vol. A107, pp. 67–80.

¹⁵⁵ Eisenberg, N.A. Lynch, C.J., Breeding, R.J. (1975). Vulnerability model: a simulation system for assessing damage resulting from marine spills, Report CG-D-136-75, Enviro Control Inc., Rockville, MD.

¹⁵⁶ Hosseinnia, B., Khakzad, N., Reniers, G. (2018) Multi-plant emergency response for tackling major accidents in chemical industrial areas. *Safety Science* Vol.102, pp. 275–289.

Probit modeļa rādītājus toksiskās vielas iedarbības uz cilvēku novērtēšanai nosaka, izmantojot (2.7.)¹⁵⁷ vienādojumu:

$$Pr = a + bln(C_{ppm}^n \tau), \quad (2.7.)$$

kur a , b un n ir konstantas katrai ķīmiskai vielai;

T —iedarbības ilgums, min;

C_{ppm}^n —vielas koncentrācija katrā piesārņojuma vietā, ppm.

n —pakāpes rādītājs, kuru tāpat kā a un b rādītāju, nosaka, veicot medicīniski bioloģiskus izmeklējumus.

2.2. tabulā sniegti *probit* modeļa parametri dažādām ķīmiskām vielām, pieņemot, ka toksiskais efekts izteikts kā recipienta nāves iestāšanās. Citām toksiskām vielām *probit* konstantes sniegtas zinātniskajā un izziņas literatūrā. Lai pareizi noteiktu *probit* konstanti attiecībā uz iedzīvotājiem, jāņem vērā arī recipientu vecums, veselības stāvoklis un citi faktori.

2.2. tabula

Probit konstantes letālam toksisko vielu izraisītam iznākamam (pieaugušajiem)¹⁵⁸

Viela	a	b	n
Akroleīns	-4,931	2,049	1
Amonjaks	-30,90	1,85	2
Benzols	-104,78	5,3	2
Hlors	-3,29	0,92	2
Formaldehīds	-7,24	1,3	2
Fosgēns	-14,27	3,686	1
Toluols	-1,794	0,408	2,5

Sakarību starp letāla iznākuma varbūtību, P %, *probit* un *Erfik* funkciju var noteikt, izmantojot Laplasa funkciju un 2.3. tabulā sniegtos datus. *Probit* modeli var izmantot, lai skaitliski izteiktu ietekmi uz recipienta veselību, ņemot vērā iedarbības devu, ilgumu, recipienta atrašanās vietu un toksiskās vielas koncentrāciju.

2.3. tabula

Sakarība starp *probit* robežvērtību un varbūtību, ko izsaka procentos¹⁵⁹

P %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,90	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,92	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,56	6,64	6,75	6,88	7,05	7,19
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

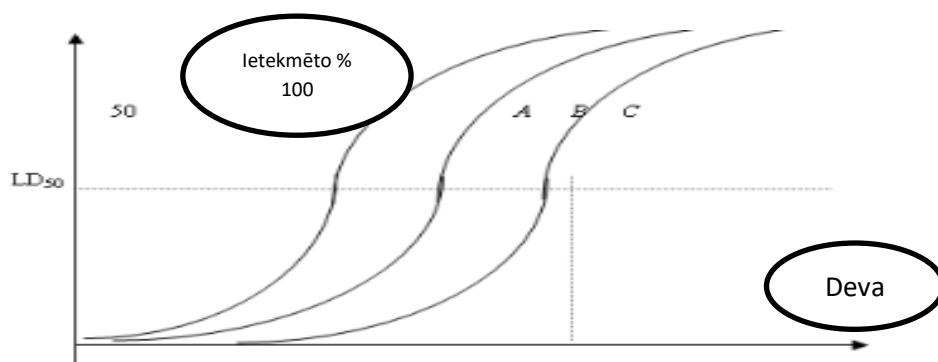
¹⁵⁷ Sato, T., Watanabe, Y., Toyota, K., Ishizaka, J. (2005). Extended probit mortality model for zooplankton against transient change of PCO₂. *Marine Pollution Bulletin* Vol.50, pp. 975–979.

¹⁵⁸ Akimov, V.A., Bykov, A.A., Vostokov, V.Yu., Dolgin, N.N. (2007). Emergency Risk Assessment Methods and Risk Standards for emergency situations. *Issues of Risk analysis*. Vol 4, pp. 369–397.

¹⁵⁹ Kuzmina, M.S. (2014). Methods of predicting a probability of damnification of human and material resources *Инженерный журнал: наука и инновации*, вып. 9, стр.1–12.

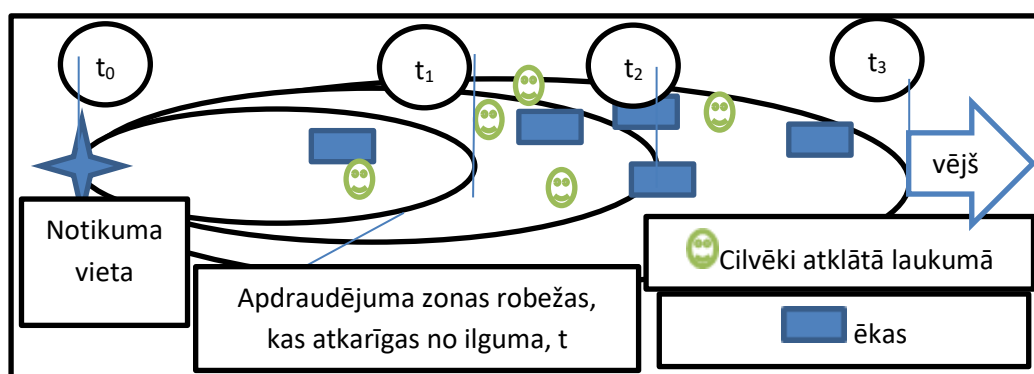
Ja ir zināms toksiskas devas apmērs un ekspozīcijas ilgums, var noteikt varbūtību P % attiecībā uz iedarbības seku pakāpi toksiskā piesārņojuma recipientu kopskaitam.

2.5. attēlā parādīta sakarība starp toksisko devu un ietekmi uz cilvēka organismu—jo lielāka deva, jo stiprāka ietekme. Līknē parādītie ietekmes veidi: A—kairinājums, B—sistemātiskais efekts, C—nāve, LD_{100} —organisma nāve.



2.5. att. Sakarība starp devu un iznākumu.¹⁶⁰

Ja deva nav letāla, tad cilvēka organisms toksiskās vielas no organisma izvadās dabiskā veidā, un tas var ilgt no dažām stundām līdz daudziem desmitiem gadu. Devas lielums ir atkarīgs arī no tā, cik tuvu cilvēks atrodas notikuma vietai. Noteiktas koncentrācijas ietekmes zonu var attēlot kā ovālus vēja virzienā, kur būtiska nozīme ir vēja ātrumam konkrētā laika periodā un atmosfēras stratifikācijai. Noplūdes shēmu skatīt 2.6. attēlā.



2.6. att. Bīstamās vielas pārvietošanās zonu laukumi atmosfērā. (Avots: autora veidots).

Zaudējumu zona ir ar līniju norobežota vieta, kur katrā punktā pastāv apdraudējuma varbūtība, kas vienāda ar vienu, un kur pastāv apdraudējuma un seku (letāls iznākums, infrastruktūras bojājumi) iespējamība, notiekot konkrēta veida ĀS vai avārijai, ja varbūtība ir vienāda ar vienu.

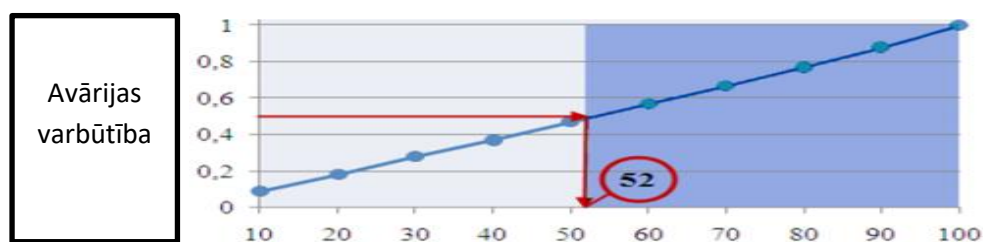
Ķīmiskās rūpniecības apmēru un degvielas patēriņa pieaugums visā pasaulē rada nepieciešamību būvēt jaunus bīstamo vielu (šķidrumu) uzglabāšanas rezervuārus. Lielai daļai Latvijā izmantoto rezervuāru ir pašu izstrādāts projekts. PBO viegli uzliesmojošs šķidrums (turpmāk—VUŠ) un sašķidrināta oglekļa dioksīda gāze (turpmāk—SOG) tiek uzglabāta rezervuāru parkā esošajos rezervuāros. Šie rezervuāri ir visbīstamākās tehnoloģiskās iekārtas, kuru ekspluatācija ir saistīta ar visiem objektā notiekošajiem procesiem. Lai gan PBO dažādu faktoru ietekmē var samazināties pārkrauto naftas produktu apjomi, rezervuāru skaits objektā

¹⁶⁰ Касьяненко, А. А. (2008) *Современные методы оценки рисков в экологии*. Москва: Российский университет дружбы народов. 119.стр.

var būtiski nesamazināties. Tā kā rezervuāru būvniecība saistīta ar lieliem finansiāliem ieguldījumiem, vienmēr jānovērtē rezervuāru parkā esošo rezervuāru nolietojums, lai noteiktu to vispārējo drošības līmeni.

Ekspluatācijas dokumentos katrai tehnoloģiskajai iekārtai noteikts drošas ekspluatācijas ilgums. Vertikālā dzelzs rezervuāra VUŠ glabāšanai ekspluatācijas termiņš ir 40 gadu, bet SOG rezervuāriem 35 gadi, un pēc šī termiņa beigām, pārbaudot iekārtu, termiņu var pagarināt, tātad Latvijā izmantoto iekārtu ekspluatācijas termiņš nav ierobežots. Iekārtas un objekti ir tik izturīgi, ka bieži vien tos lieto vēl ilgi pēc noteiktā ekspluatācijas termiņa beigām, tātad—pēc kritiskā ekspluatācijas termiņa sasniegšanas.¹⁶¹

Analizējot PBO iekārtu tehnisko stāvokli, jāizmanto zinātnisko pētījumu dati, piemēram, POB iekārtu kritiskā ekspluatācijas termiņa robežvērtība, lai novērtētu objekta rezervuāru nolietojumu un no tā izrietošo rezervuāra parka stāvokli.



2.7. att. Reseruāra ar naftas produktiem ekspluatācijas ilgums gados.¹⁶²

PBO ĀS aktivizējošie faktori var būt: zibens, stiprs vējš, ekspluatācijas noteikumu neievērošana, gaisa temperatūra, nokrišņi, ražošanas brāķis un savstarpēji nesaistīti faktori. Modelēšanas ietvaros 2.7. attēlā ir novērtēts sagrūvuma termiņš no tehnogēniem un dabas izraisītiem faktoriem gados. Diagrammā redzams, ka kritiskais rezervuāru ekspluatācijas termiņš ir no 50 līdz 52 gadiem.

2.2. Ar ugunsbīstamību un sprādzienbīstamību saistīto zaudējumu novērtēšanas metodes

20. gadsimta 40. gados pēc kodolieroču izmēģinājumiem un pielietošanas Hirosimā un Nagasaki tika konstatēts, cik sarežģīti ir veikt siltumstarojuma ietekmes kvantitatīvo analīzi. Latvijā siltumstarojuma ietekmes novērtēšanas metodoloģija ir nepieciešama, jo tiek ekspluatēti daudzi PBO, kuros glabājas ogļūdeņraži, un kur negadījuma rezultātā viens no iespējamākajiem apdraudējumiem ir dažādu veidu ugunsgrēki, bet galvenais negatīvas iedarbības faktors ir siltumstarojums, kas tiek pārnesta uz objektu ar starojumu un konvekciju. Ugunsgrēks ir būtisks apdraudējums cilvēkiem un materiālajām vērtībām, tāpēc tas ir aktuāls sociāli ekonomisks problēmjaucājums.

Siltumstarojums vai infrasarkanais starojums ir optiskā diapazona elektromagnētiskais starojums, kas no garo viļņu puses piekļaujas redzamai gaismai un kas cilvēkam nav redzams.¹⁶³ Vielu un materiālu ugunsbīstamību un sprādzienbīstamību izsaka kā degšanas nosacījumu robežvērtību un maksimālo bīstamību degšanas gadījumā.¹⁶⁴ Tātad

¹⁶¹ Marston, A., Winfrey, R., Hemperstea, J. (1953). *Engeneering Valuation and Deprecation*. Iowa State University Press. 15. pp.

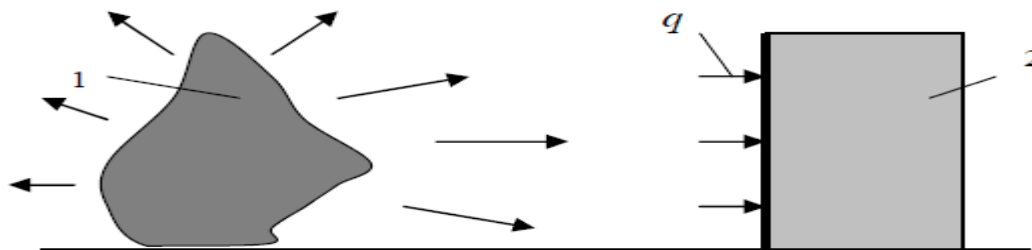
¹⁶² Ахтямов, Р. Г., Сеньюшкин, Н. С., Доценко, В. А., Ялчибаева, Л. Н. (2012). Оценка критического срока эксплуатации оборудования опасных объектов. [tiešsaiste]. Молодой ученый. №4С. стр. 38-41. [skatīts 2019. gada 20. jūnijā]. Pieejams: <https://moluch.ru/archive/39/4588/>

¹⁶³ Kaļķis, V., Roja, Ž., Kaļķis, H. (2015). *Arodveselība un riski darba*. Rīga: Medicīnas apgāds. 384.lpp.

¹⁶⁴ Поникаров, С.И., Галеев А.Д. (2017). *Анализ риска аварий на опасных производственных объектах*. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет. 50. стр.

siltumstarojums PBO var veidoties tehnoloģisku procesu vai nekontrolējamas degšanas rezultātā. Sprādzienbīstamība galvenokārt ir saistīta ar pārspiedienu, kas rodas vielā vai materiālā strauji atbrīvojoties lielam daudzumam enerģijas. Būtībā siltumstarojums un sprādziens ir cieši saistīti, jo sprādziena rezultātā var izdalīties siltumstarojums, un siltumstarojums var izraisīt sprādzienu. Siltumenerģijas pārnese veidi: starojums, konvekcija, siltumvadītspēja un šo veidu kombinācija.¹⁶⁵

Novērtējot ar ugunsgrēkiem saistītus avārijas riskus, parasti tiek izdalīti četri ugunsgrēka veidi: noplūdes ugunsgrēks, ugunsgrēks ar strūkļas izveidošanos, uzliesmojums, ugunsgrēks ar ugunslobes izveidošanos.¹⁶⁶ Ugunsgrēka gadījumā siltumstarojuma pārnese uz apkārtējiem objektiem parādīta 2.8. attēlā, kur 1–liesma, kas izdala siltumstarojumu, 2–objekts, kas saņem siltumstarojumu.



2.8. att. Siltumstarojuma pārnese ugunsgrēka gadījumā.¹⁶⁷

No siltumstarojuma intensitātes ir atkarīgs cilvēka ādas bojājumu apmērs. Ādas bojājumi var apdraudēt cilvēka dzīvību, jo āda ir lielākais cilvēka orgāns, un tas aizņem 14–16 % no pieauguša cilvēka ķermeņa un 1,5–2,0 m² ķermeņa virsmas¹⁶⁸ atkarībā no auguma. Cilvēka neaizsargātās ķermeņa daļas drīkst uzsilt līdz +40 °C.¹⁶⁹ Nosakot siltuma ietekmi uz cilvēka organismu, galvenais kritērijs ir *deva*, kas ir atkarīga no cilvēka auguma un no PBO nelabvēlīgās ietekmes, un šo devu aprēķina, izmantojot šādu formulu: (2.8.)¹⁷⁰

$$Q = q \cdot t, \quad (2.8.)$$

kur Q –apstarojuma apmērs, Dž/m²;

q –pastāvīga siltuma plūsmas blīvums, W/m²;

t –iedarbības ilgums, sek.

Siltumstarojuma laikā cilvēka organisms tiek apstarots ar siltuma enerģiju, ko aprēķina, reizinot pastāvīgās siltuma plūsmas blīvumu (q), ko cilvēka āda absorbējusi attiecīgajā laika periodā (t). Siltumstarojuma kritiskā robežvērtība noteikta eksperimentos ar bioobjektiem, izsakot to ar šādu formulu: $Q_{kr} = f(t_{kr})$,¹⁷¹ ko pierādīja zinātnieks V. P. Bēnke (W. P. Behnke).

¹⁶⁵ Еналеев, Р. Ш., Теляков, Э. Ш., Чистов Ю. С., Гасилов, В. С. (2014). Вероятностные модели термических поражений. *Вестник Казанского технологического университета*. стр. 357-359.

¹⁶⁶ Измалков, В.И., Измалков, А.В. (1998). *Техногенная и экологическая безопасность и управление риском..* Издательство: СПб.:НИЦЭБ РАН. 298.стр.

¹⁶⁷ Карауш, С.А., Герасимова, О.О. (2010). *Оценка поражения человека при пожарах проливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.* Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 11.стр.

¹⁶⁸ Закиров, А.М. (2011) Количественная оценка опасности поражения человека тепловым излучением при пожарах на химических и нефтехимических предприятиях. *Диссертация*. Казань: КГТУ. 48.стр.

¹⁶⁹ Владимиров, В.А., Измалков, В.И., Измалков, А.В. (2002). *Оценка риска и управление техногенной безопасностью.* Монография. Москва: Деловой экспресс, 12. стр.

¹⁷⁰ Еналеев, Р.Ш., Теляков, Э.Ш., Чистов, Ю.С., Гасилов, В.С. (2014). Вероятностные модели термических поражений. *Вестник Казанского технологического университета*. 357-359. стр.

¹⁷¹ Behnke, W.P. (1984). *Predicting Flash Fire Protection of Clothing from Laboratory Tests Using Second Degree Burn to Rate Performance.* Fire and materials, Vol.8, pp. 53–63.

ASV zinātnieku (N. A. Eisenbergs (N. A. Eisenberg) et. al.) 1975. gadā ierosinātā ietekmes indeksa galvenā priekšrocība ir tā, ka tas ļauj prognozēt siltuma ietekmi uz cilvēka organismu, izmantojot *probit* modeli visu iespējamo varbūtību diapazonā. Skatīt (2.9.)¹⁷² formulu:

$$I = q^{4/3} * t, \quad (2.9.)$$

kur q – siltuma plūsmas blīvums, kWt/m²;

t – ekspozīcijas ilgums, sek.

Vairākos pētījumos ar bioobjektiem tika konstatēts, ka noteiktas pakāpes apdegumu varbūtība ir cieši saistīta ar normālo sadalījuma funkciju, par *devas* kritēriju pieņemot ar *probit* modeli saistīto apstarojuma ietekmes rādītāja logaritmu.

Zinot siltumstarojuma intensitāti un recipienta atrašanās vietu PBO, kur tajā vai tā tuvumā notika avārija, ir iespējams novērtēt zaudējumus cilvēka veselībai. Intensīva siltumstarojuma ietekmē cilvēkam uz atsegtām un ar apģērbu aizsegtām ķermeņa daļām var veidoties I–IV pakāpes apdegumi, un medicīnas enciklopēdijā to sniegtie skaidrojumi¹⁷³ ir apkopoti 1. pielikumā. Atbilstoši apdeguma pakāpei norādīta siltumstarojuma deva, intensitāte un ilgums (sek.), kādā cilvēkam izveidotos attiecīgās pakāpes apdegumi.

I pakāpes apdegumu gadījumā cilvēks atveseļojas pēc 2–4 dienām, II pakāpes apdegumu gadījumā – pēc 1–2 nedēļām.

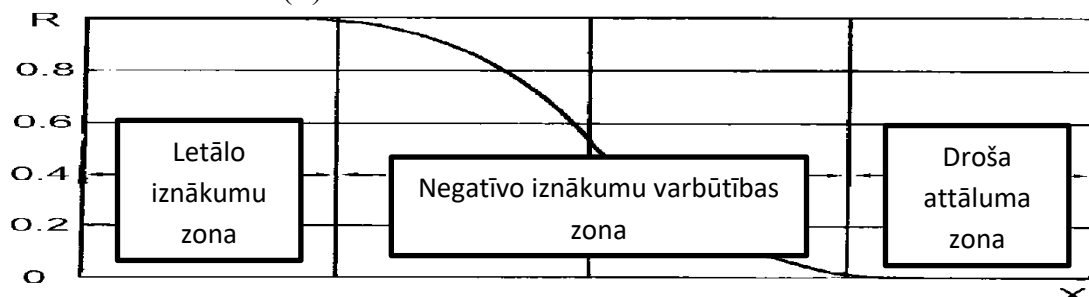
Atsaucoties uz grāmatu „Ražošanas drošības pamati” („*Основы промышленной безопасности*”), vidējā pieļaujamā siltumstarojuma intensitāte ir 2,5 kWt/m². Lai nebūtu nelabvēlīgas ietekmes ilgtermiņā, robežvērtība ir 1,4 kWt/m², bet breženta apģērbā tērptam cilvēkam robežvērtība ir 4,2 kWt/m². Šajā literatūras avotā arī teikts, ka pieļaujamā cilvēka ādas uzsilšanas temperatūra ir +45 °C; pārsniedzot šo robežvērtību, cilvēks izjūt sāpes. Cilvēka ādas uzsilšanas laiku aprēķina, izmantojot šo formulu (2.10.):¹⁷⁴

$$t = (35/q)^{1,33}, \quad (2.10.)$$

kur, t – ilgums, sek;

q – siltumstarojuma intensitāte, kWt/m².

Jo tuvāk notikuma vietai cilvēks atrodas, jo lielāka ir dzīvības zaudējuma iespējamība. Kā redzams 2.9. attēlā, attālinoties no negadījuma vietas samazinās negatīvā ietekme, bīstamība un traumu gūšanas varbūtība. Jo tālāk no notikuma vietas (X ass), jo mazāka ietekme un mazāks risks (R). Šī sakarība ilustrēta ar līkni *Risks–attālums*.



2.9. att. Līkne Risks–attālums.¹⁷⁵

¹⁷² Tsao, C.K. Perry, W.W. (1979). Report № CG-D-38-79. pp. 64.

¹⁷³ Apdegums (2012). [tiešsaite]. Medicine.lv [skatīts 2019. gada 7.jūlijā]. Pieejams: https://medicine.lv/raksti/apdegums_pme

¹⁷⁴ Васильев, С.И., Горбунова, Л.Н. (2012). *Основы промышленной безопасности*. Часть 2. Красноярск: СФУ 446.стр.

¹⁷⁵ Белов, П.Г. (1999), *Моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ. 48.стр.

Katrai termiskā apdeguma pakāpei ir noteikti specifiski *probit* modeļa koeficienti, ko izmanto, lai noteiktu apdegumu pakāpi un ietekmēto cilvēku skaita varbūtības rādītāju. *Probit* modeļa vērtības dažādām apdegumu pakāpēm ir sniegtas 2.4. tabulā. Šie ir empīriskie *probit* modeļa rādītāji, turklāt dažādi autori izmanto atšķirīgus *probit* modeļa rādītājus, tāpēc tos ir grūti praktiski pielietot, jo atšķiras arī aprēķina rezultāti.

2.4. tabula

Probit modeļa vērtības. (Avots: autora veidots).

Nr.	Medicīnas kritērijs	Varbūtības kritērijs, Pr	Datu avots
1.	Sāpju sliekšnis	$-8,74+2,99 \ln(t \cdot q^{4/3})$ (2.11.)	Еналеев, Р.Ш. Теляков, Э.Ш., Качалкин, В.А Чистов, Ю.С. Закиров, А.М. (2011). Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях Безопасность жизнедеятельности. — №1. – Стр. 36 – 41.
2.		$-8,93+2,99 \ln I$ (2.12.)	
3.	I pakāpes apdegumi	$-9,34+2,99 \ln I$ (2.13.)	Stoll A. M., Greene L. C. (1959). Relationship Between Pain and Tissue Damage Due to Thermal Radiation. Journal of Applied Physiology Vol. 14, No. 3. pp. 373–382.
4.	II pakāpes apdegumi	$-11,58+2,99 \ln I$ (2.14.)	
5.	III pakāpes apdegumi	$-16+2,99 \ln I$ (2.15.)	Roberts A. F. (1981). Thermal Radiation Hazards from Releases of LPG from Pressurized Storage Fire Safety Journal. Vol. 4, No. 3. pp 197–212.
6.	Letāls iznākums	$-14,9+2,56 \ln I$ (2.16.)	Eisenberg N. A. (1975). Vulnerability Model A Simulation for Assessing Resulting from Marine Spills. NTIS ADAm pp.105–245.
7.		$-12,8+2,56 \ln I$ (2.17.)	Tsao C. K., Perry W. W. (1979). Modifications to the Vulnerability Model: A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills Report No. CG-D-38–79. pp. 64.

Izmantojot *probit* modeļa formulu, pastāv reāla iespēja ar datoru ģenerēt automātisku algoritmu, lai prognozētu sanitāros un letālos zaudējumus tehnogēnās vides PBO ietekmes zonā ĀS gadījumā un iespējamās sekas.

Lai noskaidrotu siltumstarojumu iespējamās sekas, ir jāzina kompleksā procesa, piemēram, ugunsgrēka, parametri. Ir jānoskaidro degošo vielu un materiālu masa uz 1 m², platība (S), kas atbilst nosacītai siltuma slodzei $p_{гн}$, kg/m², un ko aprēķina, izmantojot šo formulu (2.18.):¹⁷⁶

$$P_{гн} = \sum m_i / S, \quad (2.18.)$$

kur m_i – masa,

i – degošas vielas, kg;

S – izvietošanas laukums, m².

Par ietekmes platību uzskatāms laukums, kur atrodas vielas vai materiāli, kas norobežoti ar aizsargbarjerām pret ugunsgrēku. Uzskatāms, ka visas vielas un visi materiāli, kas atrodas PBO, ir potenciāli enerģijas avoti, kuri degot izdala siltumstarojumu. Tāpēc jāaprēķina kopējais sadegšanas siltums, kas rodas, sadegot visam materiālam vai visām vielām, un to aprēķina, izmantojot šādu formulu (2.19.):¹⁷⁷

¹⁷⁶ Каргаполова, Е.О., Храпский, С.Ф. (2015). *Физико-химические основы развития и тушения пожара*. Омск: издательство ОмГТУ, 4.стр.

¹⁷⁷ Каргаполова, Е.О., Храпский, С.Ф. (2015). *Физико-химические основы развития и тушения пожара*. Омск: издательство ОмГТУ, 4.стр.

$$g_{\text{TH}} = \frac{\sum m_i * Q_{Hi}}{S}, \quad (2.19.)$$

kur m_i – materiāla masa, kg;

g_{TH} – siltuma daudzums, MDŽ/m²;

Q_{Hi} – zemākais sadegšanas siltums, sadegot gumijai, kDŽ/kg.

Ugunsgrēka siltumstarojumu, kas izdalās degšanas vietā ($q\text{-kWt}$) noteiktā laika periodā ($t = 1 \text{ min}$), var aprēķināt, izmantojot šo formulu (2.20.):¹⁷⁸

$$Q = t_m * Q_H * \beta, \quad (2.20.)$$

kur β – sadegšanas koeficients, ko attiecina uz materiāla vai vielas pilnīgas sadegšanas apmēru;

Q_H – sadegšanas siltums, sadegot materiālam vai vielai, kDŽ/kg.

Attiecībā uz tehnoloģijām un procesiem, kas saistīti ar VUŠ un degošas gāzes ieguvi, transportēšanu, pārstrādi, uzglabāšanu un lietošanu, vienmēr pastāv bīstamība un iespēja veidoties sprādzienbīstamiem un izgarojošiem maisījumiem. Sprādzienu biežākie iemesli ir drošības noteikumu neievērošana, iekārtu pārkaršana, pārmērīgs spiediens, nepietiekama tehnoloģisko procesu kontrole, cauruļu plīšana un citi iemesli, kuru rezultātā gāzes vai VUŠ parasti noplūst savienojumu vietās gar nehermētisām blīvēm.

Sprādziens ir ātri notiekošs fizisks vai fiziski ķīmisks process, kura laikā izdalās liels daudzums enerģijas, un kas notiek īsā laika posmā. Tā rezultātā rodas pārspiediens, vibrācijas un apkārtējo vidi ietekmējošs siltumstarojums, kura iemesls bija sprādzienu izraisošās vielas strauja izplešanās.¹⁷⁹ Strauju sprādzienu, kas ir spēcīgāks par standarta sprādzienu, dēvē par detonāciju. Detonācija ir otrais sliktākais iespējamais iznākums pēc aizdedzes, it īpaši attiecībā uz viegli uzliesmojošiem tvaikiem. Pārspiediena ietekmē (aptuveni 20 bāru) viegli uzliesmojošu tvaiku liesmas ātrums var sasniegt aptuveni 1800 m/s.¹⁸⁰ Saspiestā gaisa slāņa priekšējo robežu, ko raksturo krass spiediena pieaugums, sauc par *triecienviļņa fronti*.¹⁸¹ B. Dž. Vikema (B. J. Wiekema) norāda, ka visbiežāk detonāciju veic ēku, sienu un konstrukciju demolēšanai,¹⁸² un tur esošie traucēkļi rada liesmas paātrināšanai labvēlīgus apstākļus. Pamatparametri, kas raksturo triecienviļņa postošo iedarbību, un kas nosaka drošu attālumu no sprādziena epicentra līdz celtnei, ir pārmērīgs spiediens uz viļņa frontes (ΔP), saspiešanās fāzes darbības ilgums (τ) vai viļņa garums (λ) un saspiešanās fāzes impulss (I^+).¹⁸³ Cilvēks šajos apstākļos gūst smagas traumas, un liela pārspiediena iedarbībā izdzīvot praktiski nav iespējams.

Lai noteiktu letāla iznākuma varbūtību tiešas pārspiediena iedarbības un spiediena impulsa gadījumā, var izmantot *probit* modeļa vienādojumus,¹⁸⁴ kas apkopoti 2.5. tabulā.

¹⁷⁸ Urbans, M., Vilcāne, I., Malahova, J. (2019). Assessment of Technogenic Risks in Recovering Company for Worn Tyres. No: 18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development": Proceedings, Latvija, Jelgava, 22.-24. maijs, 2019. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, pp. 1616.-1622.

¹⁷⁹ Куликов, В.В., Гаврилин, И.И. (2014). *Огненный шар*. Екатеринбург: УрГУПС 4. стр.

¹⁸⁰ Chamberlain, G., Oran, E., Pekalski, A. (2019). Detonations in industrial vapour cloud explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol. 62, Article:103918

¹⁸¹ Jegorovs, P., Šlahovs, I., Alabins, N. (1973). *Civilā aizsardzība* Rīga. Izdevējs: Liesma. 46.lpp.

¹⁸² Wiekema, B.J.(1984) Vapour cloud explosions—an analysis based on accidents: Part II. *Journal of Hazardous materials*, Vol. 8, Issue 4, pp.313-329.

¹⁸³ Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). *Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģenerētajiem piesārņojumiem*. Rīga: RTU izdevniecība. 56.lpp.

¹⁸⁴ Stolecka, K., Rusin, A. (2020). *Analysis of hazards related to syngas production and transport*. *Renewable Energy* Vol. 146, pp.2535-2555.

2.5. tabulā

Probit modeļa lielumi. (Avots: autora veidots)

Nr.	Bojājumi	Probit modelis
1.	Letāla iznākuma varbūtība ¹⁸⁵	$Pr = -77,1 + 6,91 \cdot \ln(\Delta P)$ (2.21.)
2.	Dzirdes orgānu bojājumi ¹⁸⁶	$Pr = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P$ (2.22.)
3.	Pilnīgs ražošanas ēku sabrukums, ¹⁸⁷ letāla iznākuma varbūtība ¹⁸⁸	$Pr = 5 - 0,22 \left[\left(\frac{40000}{\Delta P} \right)^{7,3} + \left(\frac{460}{I^+} \right)^{11,3} \right]$ (2.23.)
4.	Grūti restaurējami ēku bojājumi ¹⁸⁹ , kā arī vidēji lieli ēku bojājumi ¹⁹⁰	$Pr = 5 - 0,26 \left[\left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} \right]$ (2.24.)
5.	Nelieli ēku bojājumi ¹⁹¹	$Pr = 5 - 0,26 \left[\left(\frac{4600}{\Delta P} \right)^{3,9} + \left(\frac{110}{I^+} \right)^{5,0} \right]$ (2.25.)

ΔP – pārspiediens, Pa , I^+ – impulss, $Pa \cdot s$.

Letāla iznākuma varbūtība cilvēkiem pārspiediena ietekmē parādīta 2.6. tabulā. Iespējamā ietekme uz brīvā laukumā esošiem neaizsargātiem cilvēkiem apkopota 2.8. tabulā.

2.6. tabula

Nosacīta letālo gadījumu varbūtība cilvēkiem sprādziena zonā¹⁹²

Bojājuma zonas	Robežvērtība ar 55 kPa pārspiedien	Robežvērtība ar 14 kPa pārspiedien	Robežvērtība ar 7 kPa pārspiedien
Letāla gadījuma varbūtība	0,5	0,01	0

Cilvēku traumēšanas iespējamība pārspiediena rezultātā, kas atkarīga no ēku un būvju sabrukšanas pakāpes, sniegta 2.7. tabulā.

Saspiešanās impulsu $I^+ Pa \cdot s$ var aprēķināt, izmantojot (2.26.)¹⁹³ formulu:

$$I = 123 m_{np}^{0,66} / r, Pa \cdot s, \quad (2.26.)$$

kur m_{np} – reducēta masa.

¹⁸⁵ Ваштиев, В. К. (2011). Оценка воздействия опасных факторов взрыва и пожара на людей. *Безопасность в техносфере* Ижевск. Выпуск 7, стр.72-78.

¹⁸⁶ Baalisampang, T., Abbassi, R., Garaniya, V., Khan, F., Dadashzadeh, M. (2019) .Modelling an integrated impact of fire, explosion and combustion products during transitional events caused by an accidental release of LNG. *Process Safety and Environmental Protection* Vol.128, pp. 259–272.

¹⁸⁷ Кузьмина М.С. Методы прогноза вероятности причинения ущерба человеческим и материальным ресурсам [tiešsaiste]. Engjournal.ru [skatīts 2019. gada 16.augustā]. Pieejams: <http://engjournal.ru/articles/1328/html/files/assets/basic-html/page1.html>

¹⁸⁸ Leksin, A. (2017). *Solution Approach for a Coherent Probabilistic Assessment of Explosion and Fire Safety for Facilities at the Chemical Process Industries*. Bergische universitat Wuppertal dissertation. 135 pp.

¹⁸⁹ Тимофеева, С.С. (2015). *Методы и технологии оценки аварийных рисков*. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 57.стр.

¹⁹⁰ Матрюков, Б.С. (2003). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях* Москва: Издательский центр "Академия", 27.стр.

¹⁹¹ Матрюков Б.С. (2003). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях* Москва: Издательский центр "Академия", 27.стр.

¹⁹² Козлитин, А.Н. (2006). Развитие теории и методов оценки рисков для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса. Диссертация. Уфа. стр.100.

¹⁹³ Ветошкин, А.Г. (2017). *Нормативное и техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности*. Часть 2. Издательство: Инфра-Инженерия. 527. стр.

2.7. tabula

Cilvēku traumēšanas varbūtība atkarībā no ēku bojājumiem¹⁹⁴

Zaudējumi	Cilvēku traumēšanas varbūtība atkarība no ēku bojājumiem			
	Pilnīga: 65–105 kPa	Liela: 50–65 kPa	Vidēja: 30–50 kPa	Maza: 10–30 kPa
Kopējie	1	0,6	0,2	0,05
Letālie	0,95	0,4	0,05	0
Sanitārie	0,05	0,2	0,15	0,05

2.8. tabula

Neaizsargātu cilvēku traumu raksturojums atklātā vietā¹⁹⁵

ΔP , kPa	Traumu pakāpe	Traumu raksturojums
20–40	Viegla	Viegla organisma kontūzija, īslaicīgi dzirdes orgānu bojājumi, roku un kāju izmežģījumi.
40–60	Vidēja	Nopietna kontūzija, nopietni dzirdes orgānu bojājumi, asins izplūdumi no ausīm un deguna, stipri izmežģījumi un kaulu lūzumi.
60–100	Smaga	Nopietna kontūzija, iekšējo orgānu un smadzeņu bojājumi, smagi kaulu lūzumi, iespējams letāls iznākums.
>100	Ļoti smaga	Traumu rezultātā ļoti bieži iestājas nāve.

Novērtējot zaudējumus konkrētiem objektiem, kas atrodas iespējamā pārspiediena ietekmes zonā, ir jānovērtē to parametri un izturības pakāpe. Spiediena robežvērtības, kuras sasniedzot ēka var sabrukt, apkopotas 2.9. tabulā. Ja šīs robežvērtības ir pārsniegtas, ēkas atjaunot nav lietderīgi, jo to konstrukcijas ir neatgriezeniski bojātas, un ir iespējama cilvēku masveida bojāeja. Pārspiediena izraisīto bojājumu apmēra sakarības sniegtas 6. pielikumā.

2.9. tabula

Ēku un celtnu spiediena pamata robežvērtības¹⁹⁶

Nr.	Ēkas un konstrukcijas veids	$\Delta P_{0\text{ср}}$, pārspiediens, kPa
1.	Īpaši izturīgas antiseismiskās	80
2.	Ar smagu karkasu un ceļamkrānu aprīkojumu	30
3.	Ar smagu karkasu un bez ceļamkrānu aprīkojuma	25
4.	Dzelzsbetona karkasa	27
5.	Ar vieglu metālisko karkasu vai bez tā	20
6.	Ķieģeļu bez karkasa	13
7.	Ar metālisko karkasu un ar viļņoto tēraudu	10
8.	Koka celtnes	7

¹⁹⁴ Козлитин, А.М. (2005). Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска*. 16-43 стр.

¹⁹⁵ Козлитин, А.М. (2005). Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска* 18. стр.

¹⁹⁶ Белов, П.Г. (1999). *Моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ. 157.стр.

Lai aprēķinātu pārspiediena ietekmes iespējamo bojājumu varbūtību iekārtām un lai novērtētu ietekmes zaudējumus iekārtām, ir izstrādāts atsevišķs *probit* modelis (skatīt 2.10. tabulu).

2.10. tabula

Probit modeļa vērtības¹⁹⁷

Nr.	Iekārtas veids	<i>Probit</i> modelis
1.	Iekārtas, kas izmanto atmosfēras spiedienu	$Pr = -9,36 + 1,43 \cdot \ln(\Delta P)$ (2.27.)
2.	Iekārtas, kam izmanto iekšējo pārspiedienu	$Pr = -14,44 + 1,82 \cdot \ln(\Delta P)$ (2.28.)
3.	Kolonnas veida naftas un gāzes tvertnes	$Pr = -12,22 + 1,65 \cdot \ln(\Delta P)$ (2.29.)
4.	Mazgabarīta ķīmiski tehnoloģiskas iekārtas	$Pr = -12,42 + 1,64 \cdot \ln(\Delta P)$ (2.30.)

Lai prognozētu no ēku un celtnu bojājuma pakāpes atkarīgu zaudējumu apmēru, izdala 5 galvenās pakāpes, kas apkopotas literatūras avotā „*Определение экономического ущерба от аварий и стихийных бедствий на промышленных предприятиях лесного комплекса*”¹⁹⁸ un „*Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли*”.¹⁹⁹ Skatīt 8. pielikumu.

Novērtējot materiālus zaudējumus bojātām ēkām, konstrukcijām un infrastruktūrai, tiek summēti objekti, kas iekļuva ietekmes zonā, ņemot vērā to kadastrālo vērtību vai atlikušo vērtību un bojājumu apmēru, ko var aprēķināt, izmantojot šādu vienādojumu (2.31):

$$Y_{lk} = N_{lk} a_l A_{oblk}, \quad (2.31.)$$

kur N_{lk} —objektu skaits, kas tika ietekmēts ar I pakāpes bojājumu A veidā;

a_l —koeficients, ko nosaka atkarībā no objektu bojājumu pakāpes (skatīt 8. pielikumu);

A_{oblk} —objektu kadastrālā vērtība ietekmes zonā ar I pakāpes bojājumu K veidā.

Objektu, kam stipru bojājumu rezultātā ir bojātas nesošās konstrukcijas, atjaunot nav lietderīgi, un tādas būves ir jānojauc, nepieciešamības gadījumā paredzot jauna objekta celtniecību. Bojājumu varbūtību nosaka, izmantojot *probit* modeli. Jaunas celtniecības izmaksas aprēķina atbilstoši tāmei vai izmantojot šo formulu (2.32.):

$$C_{nc} = C_m + C_z + C_a + C_{np}, \quad (2.32.)^{200}$$

kur C_m – darbam nepieciešamās materiālās izmaksas, EUR;

C_z – darbinieku alga pirms nodokļu nomaksas, EUR;

C_a – amortizācijas izmaksas par izmantotiem tehniskajiem līdzekļiem, EUR;

C_{np} – pārējās izmaksas par veikto darbu, EUR.

Gāzes tvertņu sprādzieni vai SOG degšana atmosfērā atkarīga no degošās vielas daudzuma, kas nokļuvis atmosfērā, kā rezultātā var notikt sprādziens, strūklas ugunsgrēks vai izveidoties ugunslode. Ugunslode ir gāzes mākonis, kas pārpildīts ar degošu vielu, kas sajaukta ar gaisu atkarībā no tās rašanās veida, taču tā nevar detonēt un sākt degt apkārt savai

¹⁹⁷ Белов, П.Г. (2013). Автоматизированное прогнозирование риска каскадных техногенных происшествий. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования* Том 3, 11(4) стр.13-23.

¹⁹⁸ Щербаков, А.С. Савельев, А.В., (2013). Определение экономического ущерба от аварий и стихийных бедствий на промышленных предприятиях лесного комплекса. *Лесной вестник* 2/2013. стр.126-129.

¹⁹⁹ Козлитин, А.М. (2005). Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска*. стр. 16-43.

²⁰⁰ Щербаков, А.С. Савельев, А.В. (2013). Определение экономического ущерба от аварий и стихийных бедствий на промышленных предприятиях лесного комплекса. *Лесной вестник* 2/2013, стр. 126-129.

ārējai robežai—tā veidojas ugunslode. Ugunslode nav uzskatāma par standarta ugunsgrēku, un tā spēj ietekmēt apkārtējo vidi ļoti lielā attālumā.

Strūklas ugunsgrēks parasti izveidojas tvertnes bojājuma gadījumā un tad, ja spiediena ietekmē izplūst SOG, veidojot degošo strūklu (kvazistacionārs stāvoklis), ja ir aizdegšanās avots.

Degšana ar ugunslodes izveidošanos bieži var attīstīties un kļūt par sprādzienu, ja notikums ir saistīts ar lielu daudzumu degoša šķidruma, ja šķidrums ir pārsildīts, kā arī momentāna rezervuāra vai tvertnes sabrukuma gadījumā. Ugunslode izveidojas gadījumos, kad ir momentāns aizdegšanās avots un SOG vai VUŠ nepaspēja sajaukties ar gaisu. Ja ir novēlota aizdegšanās, kad vielas paspēja sajaukties ar gaisu, tad tas izraisīs šo vielu sprādzienu. Tas var notikt, ja tvertnē uzkarst SOG vai VUŠ. Šādu siltuma ierosinātu degšanu ar ugunslodes izveidošanos zinātniskajā literatūrā parasti sauc par *BLEVE*, kas ir akronīms apzīmējumam angļu valodā—*boiling liquid expanding vapour explosion* jeb *verdošais šķidrums ar paplašinošo tvaika sprādzienu*. *BLEVE* ir viskardinālākais iznākums, un tas parasti notiek, kad pēc rezervuāra sabrukšanas strauji krītas spiediens, šķidrums uzvārās un kļūst par tvaiku, kas pārējo šķidrumu paņem līdz aerosola veidā.²⁰¹ Zinātnieks T. Ebasī (T. Abbasi) savā pētījumā par *BLEVE* gadījumiem izanalizēja vairākus terminus, un par vienu no atbilstošākajām *BLEVE* definīcijām uzskata ASV Ķīmisko procesu drošības centra definīciju: „pēkšņa, lielam spiedienam pakļauta pārkarsēta šķidruma izdalīšanās atmosfērā”.²⁰² T. Ebasī uzskata, ka bīstami VUŠ vai gāzes pēkšņi var izdalīties rezervuāra ārsienas bojājuma rezultātā, ko var izraisīt ugunsgrēks, raķetes trieciens, korozija, ražošanas defekti, iekšēja pārkaršana un citi faktori. Esošo ugunslodes modeļu trūkums ir saistīts ar dažādiem rezultātiem, ko iegūst ar dažādām aprēķina metodēm, izmantojot vienotus izejas datus.

Ugunslodei saskaroties ar cilvēka organismu, cilvēks var gūt dažādu pakāpju apdegumus, kas saistīti ar ugunslodes siltumstarojumu un ugunslodes iedarbības ilgumu. Cilvēka organismu apdraudošos fiziskos, bioloģiskos un ķīmiskos faktorus medicīnā sauc par *devu*, bet dažādu bīstamo faktoru iedarbības rezultātu uz cilvēka organismu sauc par *efektu*, kas var būt apdegums, saindēšanās, samaņas zudums vai šoks, un visu šo veidu ietekme var izraisīt dzīvības zaudējumu atkarībā no cilvēka organisma un ietekmes apmēra. Medicīnas statistikā ir noteikta vidējā efektīvā deva D_{50} , kas ietekmē 50 % negadījumā skarto cilvēku. Izsakot efektu kā letālu iznākumu, šo devu sauc par letālo DL_{50} , ir jāņem vērā arī procentuālais samērs starp letāliem zaudējumiem un sanitāriem zaudējumiem izdzīvojušajām personām.

Cilvēka dzīvības zaudējuma varbūtība siltumstarojuma ietekmē atkarībā no cilvēka vecuma ir parādīta 2.11. tabulā. Kā redzams, siltumstarojuma ietekme ir atkarīga no diviem galvenajiem faktoriem: pirmkārt, apdeguma laukuma uz cilvēka ķermeņa, otrkārt, ietekmētā cilvēka vecuma—jo vecāks cilvēks, jo lielāka smagu seku varbūtība, tāpēc, novērtējot iespējamās sekas cilvēkiem (iedzīvotājiem), jāņem vērā arī potenciāli ietekmēto personu vecums. Cipars “0” 2.11. tabulā nozīmē, ka cilvēkam ir visas iespējas izdzīvot un atveseļoties, savukārt cipars “1” apzīmē cilvēka bojāejas 100 % varbūtību. Cipari 0,1–0,9 parāda bīstamības (letālo negadījumu, %) pieaugumu, palielinoties cilvēka ķermeņa apdeguma laukumam.

²⁰¹ Еналеев, Р.Ш. Теляков Э.Ш., и др. (2014). Модели горения углеводородов. *Вестник Казанского технологического университета*, стр.123-128.

²⁰² Abbasi, T., Abbasi, S.A. (2007). The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management., *Journal of Hazardous Materials* Vol.141, pp. 489–519.

2.11. tabula

Cilvēka dzīvības zaudējuma varbūtība atkarībā no vecuma un no apdeguma laukuma, %²⁰³

Cilvēka ķermeņa apdeguma laukums, %	Cilvēka vecums, gadi						
	5–9	15–19	25–29	35–39	45–49	55–59	65–69
Vairāk nekā 93	1	1	1	1	1	1	1
83–87	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1
73–77	0,7	0,8	0,8	0,9	1	1	1
63–67	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1
53–57	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1
43–47	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1
33–37	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8
23–27	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,6
13–17	0	0	0	0	0,1	0,1	0,3
3–7	0	0	0	0	0	0	0,1

Operatīva palīdzības sniegšana visām no siltumstarojuma cietušām personām ir iespējama, pamatojoties uz vienādojumu *deva–efekts*, kas saistīts ar termodinamikas parametriem un ietekmes faktoriem, ko izsaka ar medicīnas kritērijiem termiskā bojājuma gadījumā.²⁰⁴

Siltumstarojumu no izplūdušas šķidras vai cietas vielas var aprēķināt dažādi. Šajā darbā izmantotas šādas formulas (2.33.)²⁰⁵ un (2.34.)²⁰⁶

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \text{ un} \quad (2.33.)$$

$$q = E_p \cdot F_v \cdot \tau, \quad (2.34.)$$

kur E_f , E_p —liesmas siltumstarojuma vidējo virsmas blīvumu (kWt/m^2) nosaka, izmantojot eksperimentālos datus; VUŠ vai SOG noplūdes ugunsgrēkiem: naftas produktiem 40 kWt/m^2 , SOG 100 kWt/m^2 ;²⁰⁷

F_q , F_v —apstarojuma virziena koeficients;

T —atmosfēras caurlaidības koeficients.

Turpmāk tekstā aprakstīta ugunslobes siltumstarojuma aprēķināšanas metode. Ugunslobes ģeometriskie parametri ir jānosaka, lai izpētītu lobes ietekmes faktorus uz apkārtējo vidi, infrastruktūru un cilvēkiem, lai laicīgi sagatavotos iespējamam apdraudējumam un lai veiktu nepieciešamos preventīvos pasākumus. Avārijas rezultātā izmestās verdošās SOG daudzums var būt no 1 līdz 5000 tonnām; ugunslobes maksimālais diametrs: 50–800 metru, degšanas ilgums: 6–100 sek.²⁰⁸ V. E. Martinsens (*W. E. Martinsens*)

²⁰³ Белов, П.Г. (2003). *Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательский центр «Академия». 288 стр.

²⁰⁴ Еналеев, Р.Ш., Теляков, Э.Ш., Красина И.В., Гасилов, В.С., Тучкова, О.А. (2013). Системный подход в прогнозировании последствий воздействия опасных факторов пожара. Вестник технологического университета, т.15, в.8, стр. 322-333.

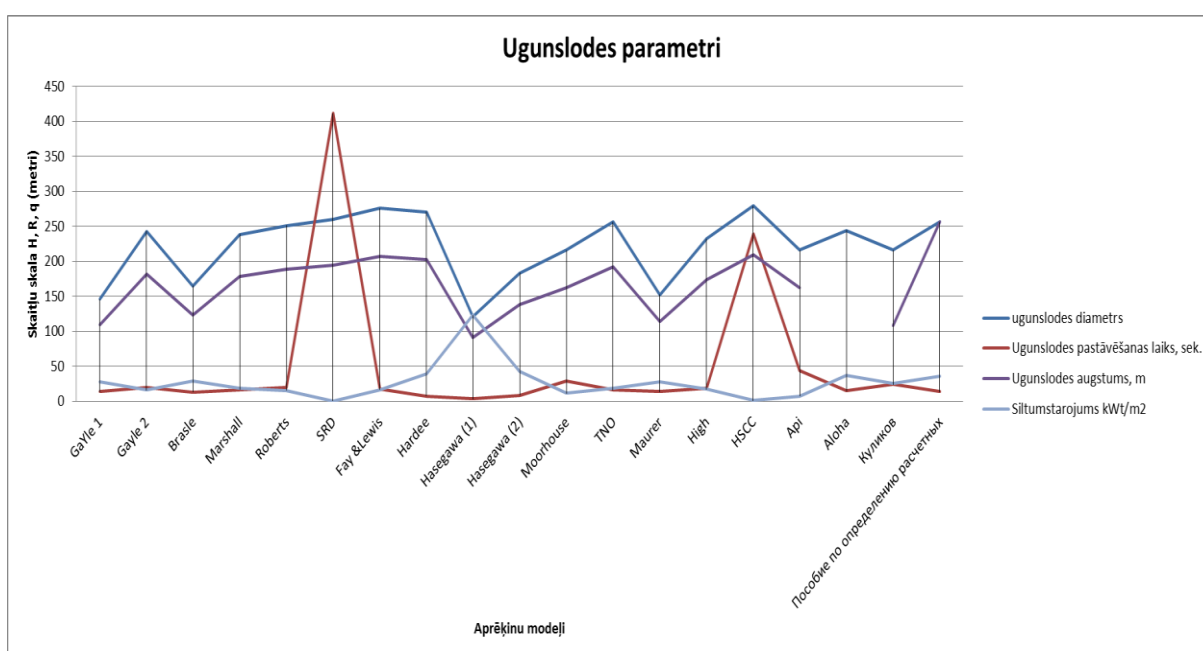
²⁰⁵ Куликов, В.В. Гаврилин, И.И. (2014). *Огненный шар*. Екатеринбург УрГУПС. 12.стр.

²⁰⁶ Sellami, I., Manescau, B., Chetehouna, K., Izarra, C., Nait-Saida R., Zidani, F., (2018). BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 54, pp. 69–84.

²⁰⁷ Федоров, А.В., Кузьмин, А.А., Романов, Н.Н., Минкин, Д.А. (2018). Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара. Научно-аналитический журнал «вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России». 34-43 стр.

²⁰⁸ Enaleev, R.Sh., Teljakov, Je.Sh., Hajrullin, I.R., Kachalkin, V.A. (2008). Burning of gases in a fireball: Abstracts and reports of the VI Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer. pp. 327–329.

uzskata, ka nav iespējams precīzi noteikt ugunsloodes degvielas masu,²⁰⁹ tāpēc dažādi zinātnieki piedāvā aprēķiniem izmantot dažādu ugunsloodi veidojošo masu. Dž. Kesals (*J. Casal*), Dž. Arnolds (*J. Arnaldos*), H. Montjēls (*H. Montiel*), E. Planas-Kučī (*E. Planas-Cuchi*), Dž. A. Vilčezs (*J. A. Vilchez*) apkopoja datus par sākotnējās masas ietekmi uz ugunsloodes diametru,²¹⁰ un konstatēja, ka esošās aprēķina metodes apraksta statistiski vidējo ugunsloodes modeli, tāpēc piedāvāja savu dinamisko ugunsloodes modeli. Viņu izveidotais modelis sniedz apjomīgākus datus nekā citas metodes.²¹¹ Dažādu metožu salīdzinājums sniegts 2.10. attēlā, kā arī 13. pielikumā tabulas veidā. Aprēķins veikts, izmantojot šādus parametrus: sfēriskās tilpnes apjoms: 175 m³, šķidruma blīvums: 499 kg/m³ (propāns), iepildes koeficients: 85 %, attālums no apstarojuma objekta: 175 metri zem ugunsloodes centra. Atšķirīgais rezultāts parāda, ka esošās ugunsloodes aprēķina metodes ir nepilnīgas—tās sniedz dažādus rezultātus, tātad atšķiras arī sekas recipientiem, videi un infrastruktūrai. Atšķiras arī galvenais ugunsloodes rādītājs—siltumstarojums un ekspozīcijas ilgums,— tāpēc nav iespējams noteikt, kura metode ir precīzāka.



2.10. att. Ugunsloodes aprēķināšanas metožu salīdzinājums. (Avots: autora veidots).

Kā ugunsloodes siltumstarojuma ietekmes novērtēšanas piemērs 2.12. tabulā sniegtas formulas un 13. pielikumā veikts aprēķins, izmantojot V. Kuļikova (*В. Куликов*) un I. Gavriļina (*И. Гаврилин*) grāmatā „Ugunsbumba” (krieviski—„Огненный шар”) un I. Selamija (*I. Sellamy*), B. Meneskā (*B. Menesca*), K. Četehouna (*K. Chetehouna*), C. Izarras (*C. Izarra*), R. Zidānī (*R. Zidani*) piedāvātās formulas.

²⁰⁹ Martinsen, W. E., Marx, J D. (1999). *An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs*. International Conference and Workshop on Modeling Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials San Francisco, California September 28 – October 1, 1999. 4.p.

²¹⁰ Casal, J., Arnaldos, J., Montiel, H., Planas-Cuchi, E., Vilchez, J.A. (2002). *Modeling and understanding BLEVES*. [tiešsaite] Centre d'Estudis del Risc Tecnològic (CERTEC), Universitat Politècnica de Catalunya – Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, Catalonia, Spain. [skatīts 2018.gada 17. septembrī]. Pieejams: <https://docplayer.net/20806029-Chapter-22-modeling-and-understanding-bleves.html>

²¹¹ Altamirova, E., Perminov, V.A., Akchina, S.S.(2018). Analysis and estimation of fireball parameters using existing methods. *Technosphere safety*. Vol. 3, No. 1 XXI Century, pp.84-91.

2.12. tabula

Ugunsloides siltumstarojuma aprēķina formulas. (Avots: autora veidots).

Apzīmējumi	V. Kuļikovs, I. Gavriļins ²¹²	I. Selamijs, B. Meneska, K. Četehouns, C. Izarra, R. Zidani ²¹³
1	2	3
D_s, D_{FB} – efektīvais ugunsloides diametrs, m	$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327} (2.35.)$	$D_{FB} = a_1 M^{b_1} (2.36.)$
t_s, t_{FB} – ugunsloides pastāvēšanas laiks, sek.	$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} (2.37.)$	$t_{FB} = a_2 M^{b_2} (2.38.)$
F_q, F_v – apstarojuma virziena koeficients, H; H_{FB} – ugunsloides centra augstums, L; r – attālums no ugunsloides līdz zemei, m.	$F = \frac{F_q}{\frac{H}{D_s} + 0,5} \cdot \frac{1}{4 \cdot \left[\left(\frac{H}{D_s} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{r}{D_s} \right)^2 \right]^{1,5}} (2.39)$	$F_v = \frac{D_{FB}^2}{4(H_{FB}^2 + L^2)} (2.40.)$ $H_{FB} = 0,75 D_{FB} (2.41.)$
E_f, F_v – siltumstarojuma stiprums, kWt/m ² ; X_r – spiediens tilpnē (0,2–0,4), mPa; M – VUS, SOG tvaika masa, kg.	$E_f = 350 (2.42.)$	$E_p = \frac{x_r M \Delta H_C}{\pi D_{FB}^2 t_{FB}} (2.43.)$ $x_r = 0,27 P_0^{0,32} (2.44.)$
τ – atmosfēras caurlaidības koeficients; P_w – parciālais ūdens spiediens; R_h – relatīvais mitrums, %; T_∞ – gaisa temperatūra, K.	$T = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s)] (2.45.)$	$\tau = 2,02 [P_w (H_{FB}^2 + L^2)^{1/2}]^{-0,09} (2.46.)$ $P_w = 1013,25 (R_h) \exp(14,4114 - \frac{5328}{T_\infty}) (2.47.)$

Liesmas siltumstarojuma vidējais virsmas blīvums—atkarībā no izcelšanās vietas diametra—izdegšanas un īpatnējās masas ātrums dažām šķidrām oļļūdeņražu degvielām sniegts 2.13. tabulā. Ja diametrs ir <10 m un 50 m>, izmanto tos pašus radītājus kā 10 m un 50 m.

2.13. tabula

Liesmas siltumstarojuma vidējais virsmas blīvums²¹⁴

Degviela	E_f kWt/m ² , m					m, kg/(m ² s)
	10	20	30	40	50	
SPG (metāns)	220	180	150	130	120	0,08
SOG (propāns un butāns)	80	63	50	43	40	0,1
Benzīns	60	47	35	28	25	0,06
Dīzeļdegviela	40	32	25	21	18	0,04

Pārspiediena iedarbība uz cilvēka organismu ir atkarīga no cilvēka atrašanās vietas un no tā, vai pārspiediens notiek brīvā laukumā, vai apbūvēta teritorijā, piemēram, uz ielas starp

²¹² Куликов, В.В., Гаврилин. И.И. (2014). *Огненный шар*. Екатеринбург УрГУПС 4. Стр.

²¹³ Sellami, I., Manescau, B., Chetehouna, K., Izarra, C., Nait-Saida, R., Zidani, F. (2018). BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol. 54, pp. 69–84.

²¹⁴ Гордиенко, Д.М., Шебеко, Ю.Н. и др. (2012). *Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов*. Москва: ВНИИПО. 206.стр.

ēkām. Sekas cilvēkiem un ēkām, pārspiediena iedarbībā veidojoties gaisa vilnim, ir apkopotas 2.14. tabulā. Tabulā arī redzams, ka, atkarībā no pārspiediena apmēra, iespējamās sekas gan cilvēkiem, gan celtnēm, kas atradās notikuma vietā, atšķiras. Tātad jo lielāka pārspiediena ietekme uz cilvēkiem un ēkām, jo lielāki iespējamie ekonomiskie zaudējumi.

2.14. tabula

Pārspiediena gaisa viļņa iedarbības sekas²¹⁵

Pārspiediens, kPa	Ēku sagrūvuma raksturojums	Cilvēki, kas guva traumas, %			Zaudējumi ēkai, % no kopējām izmaksām
		Īpaši smagas	Smagas	Vidēji smagas	
1–3	Zems	–	0,1–0,3	3–7	5–10
3–6	Vidējs	0,1–0,3	0,5–1,5	5–15	10–20
6–9	Spēcīgs	0,5–1,5	3–7	15–25	40–60
30–60	Pilnīgs	5–10	15–20	40–60	100–150

Kā aprakstīts iepriekš tekstā, viens no veidiem, kā noteikt ietekmi uz cilvēkiem, materiālajiem resursiem un dabu, ir *probit* modeļa izmantošana, jo tā var vienlaikus noteikt un prognozēt ne tikai tehnogēnās vides zaudējumus, bet arī varbūtības. Izmantojot šo modeli, ir iespējams novērtēt bīstamību ne tikai visdažādākajiem ietekmes veidiem, bet arī jebkurai ietekmes pakāpei. Gadījumā, ja visas apskatītās ietekmes var uzskatīt par neatkarīgām un zaudējumu uzkrāšanā tās netiek ņemtas vērā, tad kopējo negatīvo faktoru ietekmes risku, piemēram, attiecībā uz pārspiedienu, siltumstarojumu, toksisku vielu iedarbību un citu ietekmi, var noteikt, izmantojot šo (2.48.)²¹⁶ formulu:

$$R_{iet} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_{iet}^i), \quad (2.48.)$$

kur R_{iet}^i – ietekmes varbūtība no i-faktora iedarbības; vērā ņemamo n-faktoru skaits.

2.3. Tehnogēnā riska novērtēšanas metodes

Pēdējo simts gadu laikā ir panākts ievērojams progress drošības zinātnes jomā, kā arī saistībā ar sociotehnisko sistēmu teorijas attīstību, cilvēka kļūdas identificēšanas faktoriem, un ir izstrādātas metodes, kas palīdz paredzēt iespējamās bīstamos faktorus. Papildus minētajai teorijai un metodei ir izveidotas arī citas apdraudējumu novērtēšanas metodes. Zinātnieki M. Džardina (*M. Giardina*) un M. Morale (*M. Morale*) uzskata, ka bīstamības apzināšanai rūpniecības nozarē ir izveidotas daudzas metodes, tomēr nav iespējams identificēt pilnīgi visus iespējamās drošības sistēmas apdraudējumus.²¹⁷ Pastāvīgi attīstoties tehnoloģijām, darba pienākumiem un sabiedrības vērtībām, ir jāmainās arī drošības teorijām un metodikai, ņemot vērā esošās zināšanas un atbildīgi novērtējot mainīgos procesus. Ja neeksistē strukturēta apdraudējumu identifikācijas sistēma, bīstamību var neņemt vērā, jo tādā gadījumā riska un iespējamo zaudējumu novērtējums būs nepilnīgs. SEVESO III direktīvas 3. pielikumā uzsvērts, cik svarīgi ir pieņemt un ieviest procedūras, lai sistemātiski identificētu galvenos iespējamās apdraudējumus standarta un ārkārtējas darbības rezultātā un lai novērtētu

²¹⁵ Белов, П. Г. (2003). *Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере*: Москва: Издательский центр «Академия», 288 стр.

²¹⁶ Фалеев, М.И., Измалков, В.И. (2013). Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. 2 (9) том 5, стр. 4-12.

²¹⁷ Giardina, M., Morale, M. (2015). Safety study of an LNG regasification plant using an FMECA and HAZOP integrated methodology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.35, pp. 35-45.

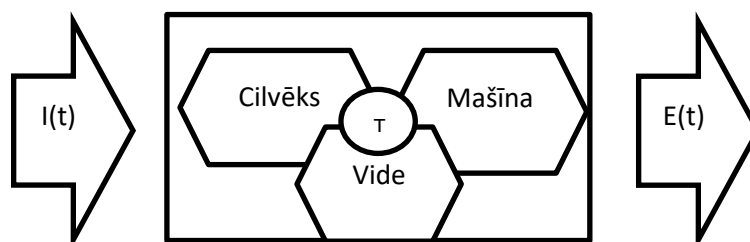
to iespējamību un smaguma pakāpi.²¹⁸ Ir svarīgi identificēt un apskatīt pasaulē visbiežāk izmantotās bīstamības novērtējuma metodes, to atšķirības un priekšrocības, jo bīstama situācija var iestāties dažādu notikumu rezultātā, kuru identificēšanai izmanto vairākas efektīvas metodes.

Vienādojums, kas atspoguļo tehnogēnās sistēmas drošību R_s no secīgi savienotajiem elementiem R_i , ir šo elementu drošības summa (2.49.)²¹⁹:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i, \quad (2.49.)$$

Jebkuras sistēmas bīstamības novērtēšanai jāizskata vairāki iespējamie notikumu scenāriji, kas var būt saistīti ar daudziem elementiem un sastāvdaļām, iespējamajiem darbības atteices iemesliem, lai sekmētu iesaistīto personu izpratni par sistēmas apdraudējumiem, pastāvošiem riskiem un iespējamajām sekām. Rezultātā ir iespējams laicīgi identificēt sistēmas vājās vietas, pieņemt atbilstošus lēmumus, noteikt veicamos pasākumus un novērst trūkumus. Šeit par pamatu var kalpot spēļu teorija un operāciju pētīšana. Lai apdraudējuma identificēšanas laikā varētu pieņemt adekvātu lēmumu, ir jāņem vērā zinātniskie, sociālie, ekonomiskie un kultūras aspekti, pamatojoties uz riska varbūtību. Apdraudējumu novērtēšanas metodes pastāvīgi mainās—tiek pieņemtas jaunas riska novērtēšanas metodes un tiek precizētas un papildinātas esošās.

Vispiemērotākais modelis tehnogēno risku novērtēšanai sniegts 2.11. attēlā. Tas attiecas uz tehnoloģisko aprīkojumu *mašīna*, to ekspluatējošo personālu *cilvēks* un *vide*. Visi komponenti savstarpēji saistīti vienas tehnoloģijas ietvaros—*t*. Šajā modelī ietilpst arī vektora apzīmējumi *I*—ieejas dati (resursi, darba apstākļi), kas ietekmē sistēmu *S*—sistēmas stāvokli (drošs, avārijas u.c.), un *E*—izejas dati (pozitīva vai negatīva ietekme uz vidi).



2.11. att. Tehnogēnā riska novērtēšanas modelis.²²⁰

Riska novērtēšanas mērķis ir rekomendāciju izstrādes, lai paaugstināt drošību (risku vadība), kas balstīta uz riska novērtējuma rezultātiem.²²¹ Gandrīz visu Eiropas valstu normatīvajos aktos ir noteikts PBO veikt riska analīzi, taču tajos nav prasīts stingri izmantot kādu konkrētu metodiku, tāpēc uzņēmēji var izmantot savas valsts normatīvajos aktos noteiktās prasības.²²² Zinātnieki T. Eivens (*T. Aven*) un E. Zjo (*E. Zio*) uzskata, ka riska novērtēšanas un vadības jomā trūkst precīzi definētu un vispārēji saprotamu terminu.

²¹⁸ Directive 2003/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2003 Amending Council Directive (2003). 96/82/EC on the Control of Major-accident Hazards involving Hazardous Materials. *Official Journal of the European Union*, L 345/97. Brussels, 31.12.2003. pp.1

²¹⁹ Вигдорович, В.И. (2004). Техногенный риск. Проблемы и решения. *Вестник ТГУ*, т.9, вып.4, стр. 405-419.

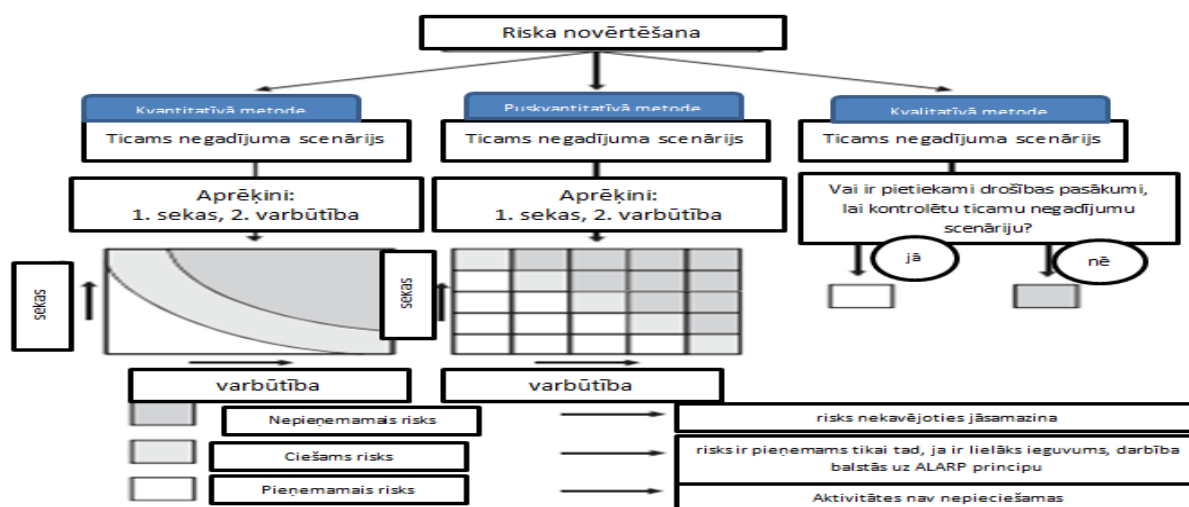
²²⁰ Куземин, А.Я., Климов, И.Н. (2010). Модели и методы прогнозирования и оценки техногенных рисков функционирования производств. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики* Изд-во ХНУРЭ, Вып. 152, стр 54-58.

²²¹ Л.П.Кабанов, Р.Т.Исламов, А.А.Деревянкин, И.В.Жуков, М.А.Берберова, С.С.Дядюра. (2011). Оценка риска для АЭС с ВВЭР. *Материалы 7 международной научно-технической конференции "Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР. ОКБ "Гидропресс"*.

²²² Никитин, Н.А., Ивахнюк, Г.К., Трофимов, И.В.. (2013). Основы обеспечения безопасности на потенциально опасных объектах обращения нефтепродуктов. *Научно-аналитический журнал*. Выпуск №3, стр.27-37.

Piemēram, ja vairākus riska analītiķus lūgtu izskaidrot, kas ir risks, tiktu saņemtas daudz un dažādas atbildes, un dažas no tām būtu uztveres kļūdas, kas var nopietni maldināt lēmumu pieņēmējus.²²³ Pēc zinātnieka L. E. Koksa (L. A. Cox) domām neeksistē apstiprināti, uzticami riska modeļi, kas nodrošina nākotnes notikumu un to seku iestāšanās iespējamību; iepriekšējo datu nozīme nākotnes rezultātu prognozēšanā ir šaubīga, un bieži vien, izvērtējot riskus, eksperti viens otram nepiekrīt vai nespēj vienoties, kas apliecina neskaidrību un informācijas trūkumu. Tā rezultātā politikas veidotāji nespēj pateikt, kādas darbības jāveic, lai samazinātu riskus un palielinātu ieguvumus.²²⁴ Secināms, ka arī Latvijā ir nepieciešama vienota risku noteikšanas metodika, kurā būtu ietverti daudzi savstarpēji ietekmējoši elementi, kam raksturīgs nelineārs uzvedības algoritms un atgriezeniskās saites mezgli. Tāpēc ir svarīgi apskatīt mūsdienu populārākās riska novērtēšanas metodes, nosakot to darbības lauku, priekšrocības un trūkumus.

Riska analīze ir plaši pazīstama riska novērtēšanas metodika, kas saistīta ar jebkādu rūpniecisko darbību.²²⁵ Kā norāda zinātnieki M. Rausands (M. Rausand) un E. Heilands (A. Høyland) *Sistēmu drošības teorijā*, riskus var novērtēt divos veidos: kvalitatīvi vai/un kvantitatīvi. Zinātnieki M. Džubinskis (M. Dziubinski), M. Fračaka (M. Fratzczaka) un A. S. Markovskis (A. S. Markowski) izdala trīs galvenos riska novērtēšanas veidus, kur papildus iepriekš minētajiem diviem veidiem tiek izdalīts arī puskvantitatīvais veids. Šo zinātnieku izstrādāto risku novērtēšanas modeļu veidi ir atspoguļoti 2.12. attēlā. Puskvantitatīvās metodes izmanto, lai identificētu apdraudējumu un lai izvēlētos tā dēvētos ticamos atteices gadījumus vai negadījumus. Kvalitatīvās metodes izmanto, lai ar normatīvajos aktos un standartos noteiktajām metodēm pārbaudītu drošības līmeņa atbilstību. Šīs metodes parasti attiecas uz atsevišķām ierīcēm, un tās ir minimālās prasības, kas jāievēro, lai sasniegtu pieņemamu drošības līmeni.²²⁶



2.12. att. Kopējais riska novērtēšanas modeļu sadalījums.²²⁷

²²³ Aven, T., Zio, E. (2014). Foundational issues in risk assessment and risk management. *Risky analysis*. Vol. 34 (7), pp. 1164-1172.

²²⁴ Cox, L.A. (2012). Confronting deep uncertainties in risk analysis. *Risk Analysis* Vol. 32(10), pp.1607 – 1629.

²²⁵ Bubbico, R. (2018). A statistical analysis of causes and consequences of the release of hazardous materials from pipelines. *The influence of layout. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 56, pp. 458-462.

²²⁶ Dziubinski, M., Fratzczaka, M., Markowski, A.S. (2006). Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.19, pp.399–408.

²²⁷ Dziubinski, M., Fratzczaka, M., Markowski, A.S. (2006). Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.19, pp.399–408.

Austrālijas zinātnieki K. Delata (C. Dallat), P. M. Salmons (P. M. Salmon) un N. Gūda (N. Goode) 2016. gadā apkopoja literatūras avotos sniegto informāciju par populārākajām riska novērtējuma metodēm pasaulē, to trūkumiem un priekšrocībām, un izdalīja septiņas riska novērtēšanas pamatmetodes:

1. Kvalitatīvās un ekspertu vērtēšanas metodes.
2. Bīstamības un darbības (angliski–*Hazard and Operability Studies*–HAZOP) metodes.
3. Atteices režīma un efekta analīzes metodes.
4. Koka analīzes metodes.
5. Cilvēka drošuma analīzes (angliski–*Human Reliability Analysis*–HRA) un cilvēka kļūdas identifikācijas (angliski–*human error identification*–HEI) metodes.
6. Kvantitatīvās riska novērtēšanas metodes.
7. Sistēmu analīzes metodes.²²⁸

Pirmajām sešām metodēm pamatā ir drošības teorija, bet septītās metodes pamatā ir sistēmu un vadības teorija. Šajā nodaļā darba autors analizēs šīs riska novērtēšanas pamatmetodes.

Kvalitatīvās metodes izmanto, lai novērtētu riskus, ja trūkst ticamu un precīzu datu.²²⁹ Kvantitatīvā riska novērtējuma metodes izmanto tad, ja ir pietiekami daudz datu vai datus var iegūt, simulējot procesu.²³⁰ Riska novērtējumā bieži izmanto daļēji kvantitatīvās metodes, kas piemērotas datiem ar kvantitatīvām un kvalitatīvām īpašībām.²³¹

Veicot drošības analīzi, galvenais ir noteikt, kādi organizētas sistēmas elementi vai sastāvdaļas kritiskajā momentā var izraisīt drošības sistēmas bojājumus un kā nepieļaut šīs sistēmas apdraudējumu. T. Eivens uzskata, ka mūsdienās analītiķu un riska pārvaldes speciālistu galvenā neskaidrība ir tas, kā novērst negaidītas potenciālās avārijas un to sekas sarežģītās sistēmās, piemēram, energosistēmās un finanšu sistēmās.²³² Vairumam drošības sistēmu analīzes paņēmieni pamatā ir neformāla argumentācijas metodika, kas ir lielā mērā atkarīga no drošības inženiera prasmēm un zināšanām.²³³ Galvenais risku pārvaldības uzdevums ir apzināt visus iespējamus agrīnos negadījuma iemeslus, ņemt tos vērā un nepārspīlēt to nozīmību. Labu iespējamo risku pārvaldības sistēmu raksturo tādas preventīvas sistēmas sastāvdaļas kā rezultātu un signālu novērošana, prognozējamo risku novērtējums, varbūtība un smaguma pakāpe.

2.3.1. Kvalitatīvās un ekspertu vērtēšanas metodes

Kvalitatīvās riska novērtēšanas metodes ir: intervijas, novērošanas pētījumi, kontROLSaraksti, aptaujas, varbūtības analīze, *Delphi* metode un scenāriju analīze.²³⁴ Kvalitatīvas riska vērtēšanas metodes ietver sistemātisku no sarunām vai novērojumiem

²²⁸Dallat, C., Salmon, P.M., Goode, N. (2017). Risky systems versus risky people: To what extent do risk assessment methods consider the systems approach to accident causation? A review of the literature. *Safety Science*. Vol. 119, pp. 266-279.

²²⁹Fletcher, W. J. (2005). The application of qualitative risk assessment methodology to prioritize issues for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*. Vol. 62 (8), pp.1576–1587.

²³⁰Naderpour, M., Lu, J., Zhang, G. (2014). A situation risk awareness approach for process systems safety, *Safety Science* Vol. 64 (3), pp.173–189.

²³¹Garvey, P. R., Lansdowne, Z. F. (1998). Risk matrix: an approach for identifying, assessing, and ranking program risks. *Air Force journal of logistics* Vol. 22 (1), pp.18–21.

²³²Bjerga, T., Aven, T., Zio, E. (2016). Uncertainty treatment in risk analysis of complex systems: The cases of STAMP and FRAM. *Reliability Engineering and System Safety* Vol. 156, pp.203–209.

²³³Ortmeier, F., Reif W., Schellhorn, G. (2005). Deductive cause-consequence analysis (dcca). *IFAC Proceedings Volumes*. Vol. 38, Issue 1, pp. 62-67.

²³⁴Dallat, C., Salmon, P. M., Goode, N. (2017). Risky systems versus risky people: To what extent do risk assessment methods consider the systems approach to accident causation? A review of the literature . *Safety Science*. Vol 119, pp. 266-279.

iegūta tekstuālā materiāla vākšanu, apkopošanu un interpretēšanu. Zinātniece K. Laumane (K. Laumann) norāda, ka ir grūti aprakstīt visas kvalitatīvās riska pētījumu metodes, jo ir daudz dažādu metožu, un tām ir ļoti dažādi mērķi. Parasti visus pētījumus, kas nav kvantitatīvi, dēvē par kvalitatīviem pētījumiem.²³⁵ Kvalitatīvas izpētes raksturīgākās pazīmes ir šādas:

- 1) teksta datu analīze (piemēram, intervijas, novērojumu piezīmes un dokumenti);²³⁶
- 2) dati parasti tiek vākti ikdienas režīmā nevis eksperimenta veidā;²³⁷
- 3) saistība ar pētniecības procesa dalībnieka izpratni, fiksējot viņa redzējumu;²³⁸
- 4) datu apraksts un datu interpretācija;²³⁹
- 5) svarīgs konteksts, kādā dati tiek iegūti.²⁴⁰

Atbilstoši kontrolesarakstam veiktā analīzē tiek izmantoti iepriekš noteikti kritēriji, lai novērtētu ar organizāciju, sistēmu, darbību, uzturēšanu vai citu drošības vadības jomu saistītus riskus.²⁴¹ Šīs metodes priekšrocība ir tā, ka, aizpildot vairākus sarakstus, var pārbaudīt un atbildēt uz saistītajiem jautājumiem un pārliecināties, ka ir identificēti visi iespējamie ar rūpnieciskiem procesiem saistītie riski. Anketēšanu riska novērtēšanai bieži vien pielieto kopā ar citām kvalitatīvām riska novērtēšanas metodēm, piemēram, intervijām un novērojumu.²⁴² „Kas notiktu, ja...?” analīze, ir viena no senākajām bīstamības identifikācijas metodēm, kuras ietvaros komanda uzdod vēl citus jautājumus, kas sākas ar frāzi „Ko darīt, ja...?” (piemēram, „Ko darīt, ja plīst caurule?”, „Kas notiktu, ja vārsts nenostādātu?”), lai identificētu iespējamās apdraudējums un lai neradītu zaudējumus tehnoloģiskā uzdevuma izpildē iesaistītajiem.

Delphi aptaujas metode ietver strukturētu, anonīmu, daudzkārtēju izjautāšanu rakstveidā, meklējot ekspertu viedokli par konkrēto tēmu.²⁴³ Parasti *Delphi* aptauja turpinās līdz domstarpību atrisināšanai vai līdz visi pētījumā iesaistītie eksperti vienojas par visiem identificētajiem riskiem. Zinātnieki E. Atālahi (E. Ataallahi) un S. R. Šadizadē (S. R. Shadizadeh) izmantoja šo metodi savā pētījumā, lai novērtētu iespējamā kaitējuma seku apmēru un riskus saistībā ar naftas urbšanas iekārtām nekontrolētas dabas gāzes noplūdes gadījumā. Kvalitatīvās ekspertu metodes pielieto bieži, un tās ir piemērojamas vairākās jomās, piemēram, veselības aprūpes, arodveselības, drošības jomā ieguves rūpniecībā.²⁴⁴

²³⁵ Laumann, K. (2020). Criteria for Qualitative Methods in Human Reliability Analysis, *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 194, pp.5.

²³⁶ Anastas, J.W. (2004). Quality in qualitative evaluation: Issues and possible answers. *Research on Social Work Practice*. Vol.14, pp. 57-65.

²³⁷ Jeanfreau, S.G, Leonard, Jr. J. (2010). Appraising qualitative research in health education: Guidelines for public health educators. *Health Promotion Practice*. Vol.11, pp. 612-617.

²³⁸ Elliott, R., Fischer C.T., Rennie, D.L. (1999). Evolving guidelines for publication of qualitative research studies in psychology and related fields. *British Journal of Clinical Psychology*. Vol. 38. pp. 215-229.

²³⁹ Brantlinger, E., Jimenez, R, Klingner, J., Pugach, M., Richardson, V. (2005). *Qualitative studies in special education. Exceptional Children*. Vol.71, pp.195-207.

²⁴⁰ Meyrick, J. (2006). What is good qualitative research? A first step towards a comprehensive approach to judging rigour/quality. *Journal of Health Psychology*. Vol. 11, pp. 799–808.

²⁴¹ Marhavi, P.K., Koulouriotis, D., Gemeni, V., (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: on a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.24 (5), pp. 477–523.

²⁴² Graves, R.J., Way, K.R., Riley, D., Lawton, C., Morris, L., (2004). Development of risk filter and risk assessment worksheets for HSE guidance—‘Upper Limb Disorders in the Workplace’ 2002. *Appl. Ergonomics*. Vol.35 (5), pp. 475–484.

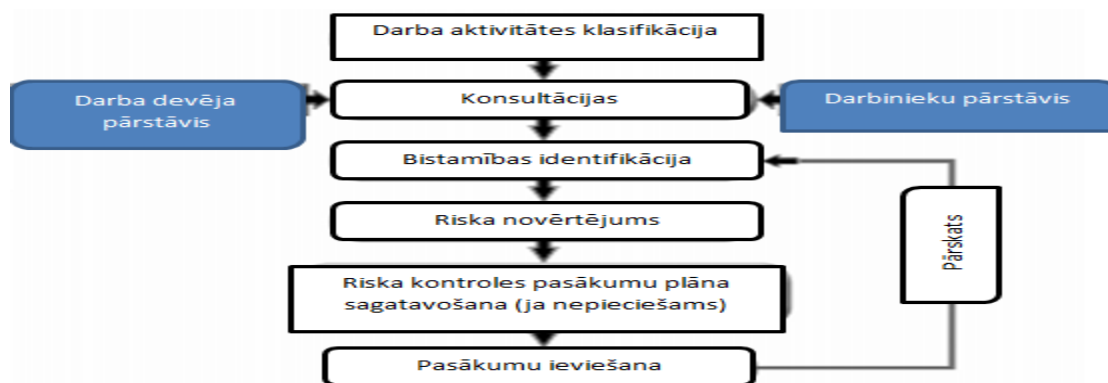
²⁴³ Markmann, C., Darkow, I.L., Gracht, H., (2013). A Delphi-based risk analysis—identifying and assessing future challenges for supply chain security in a multi-stakeholder environment. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 80 (9), pp. 1815–1833.

²⁴⁴ Dallat, C., Salmon, P.M., Goode, N. (2017). Risky systems versus risky people: To what extent do risk assessment methods consider the systems approach to accident causation? A review of the literature. *Safety Science*. Vol. 119, pp. 266-279.

Šīs metodes priekšrocības ir sistemātiskā pieeja, pieejamība un lietošanas vienkāršība. Kvalitatīvās metodes trūkums ir tas, ka respondenti var apzināti neatklāt tos faktorus, kurus vēlas noslēpt–konkrētais konteksts, uzdevums vai darbinieks. Rezultātā šī metode ne vienmēr ļauj apjaust mijiedarbību starp slēptiem faktoriem, kas ir galvenais princips ārpus sistēmas domāšanas saistībā ar negadījumu cēloņsakarību.²⁴⁵ Analizējamās informācijas rezultātus mēdz izteikt kā augstu, vidēju vai zemu risku; šo informāciju ir grūti interpretēt, un tāpēc to ir grūti atspoguļot kā viennozīmīgu. Rezultātā drošības sistēmas stāvokli novērtē atkarībā no respondentu izpratnes par uzdevumu un no pētnieka prasmes interpretēt rezultātus, neizmantojot varbūtības.

Šīs metodes trūkums ir arī tas, ka nevar atrast kompromisu starp risku un pozitīvo tehnoloģijas izmantošanas nosacījumu un veikt analīzi, lai pieņemtu optimālo lēmumu. Klasiskās riska novērtēšanas problēma ir saistīta ar to, ka riska rādītāju novērtējumam ir nepieciešami vairāki eksperti, bet ekspertu viedokļi var stipri atšķirties atkarībā no eksperta subjektīvās attieksmes pret novērtējamo objektu, tādējādi novērtējums kopumā ietver subjektīvo vairāku cilvēku vidējo vienoto viedokli. Zinātnieki B. Jengs (*B. Jeong*), B. S. Lī (*B. S. Lee*), P. Zo (*P. Zhou*) un S. Ha (*S. Ha*) konstatējuši, ka, izmantojot kvalitatīvo riska novērtējumu, var tikt pārvērtēta negatīvo notikumu skaitliskā varbūtība un var tikt nepilnīgi novērtētas notikuma sekas. Savukārt, izmantojot kvantitatīvo novērtējumu, kura pamatā ir kvalitatīvs novērtējums, nepilnīgi nosaka izcelšanās skaitlisko varbūtību un iespējamās sekas.²⁴⁶

Malaizijas zinātnieki A. M. Sedi (*A. M. Saedi*), Dž. Dž. Tambiradža (*J. J. Thambirajah*), A. Pariatambijs (*A. Pariatamby*) 2014. gadā savā kvalitatīvajā pētījumā izmantoja intervijas metodi, lai noteiktu pastāvošos bīstamības avotus, novērtētu riskus un noteiktu kontroles pasākumu lietderību, un, ņemot vērā apkopotos datus, izveidotu komplekso elektroenerģijas ražošanas modeli *HIRARC* Kameronas Hailendas elektrostacijā Malaizijā. Sistēmas funkcionēšanas un novērtējuma posmi ir parādīti 2.13. attēlā.



2.13. att. *HIRARC* sistēmas funkcionēšanas un novērtējuma procesa posmi.²⁴⁷

Kvalitatīvā pētījuma laikā tika konstatēts, ka nopietnas avārijas hidroelektrostacijās notiek ļoti reti. Tas skaidrojams ar savlaicīgi veiktiem preventīvajiem pasākumiem, taču notiekot avārijai, sekas parasti ir katastrofālas un saistītas ar lieliem ekonomiskiem, sociāliem un vides zaudējumiem. Lai uzturētu atbilstošu drošības līmeni hidroelektrostacijā vai citā paaugstinātas bīstamības objektā, obligāti nepieciešama drošības pārvaldības sistēma, kas

²⁴⁵ Rasmussen, J., (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*. Vol. 27 (2–3), pp.183–213.

²⁴⁶ Jeong, B., Lee, B.S., Zhou, P., Ha, S. (2018). Quantitative risk assessment of medium-sized floating regasification units using system hierarchical modelling. *Ocean Engineering*. Vol.151, pp.390–408.

²⁴⁷ *Guidelines for hazard identification, risk assessment and risk control (HIRARC)*. (2008). Ministry of Human Resources Malaysia. Department of Occupational Safety and Health Ministry of Human Resources Malaysia. 7–18. pp.

saistīta ar vadības politiku, kuras pamatā ir riska elementu drošības novērtējums, lai identificētu riskus,²⁴⁸ kas potenciāli var nopietni apdraudēt iekārtu ekspluatāciju un apkopi. Iepriekš tekstā minētie zinātnieki identificēja šādus bīstamības avotus hidroelektrostacijā: neparedzēta bīstama enerģijas jaudas atbrīvošana, viegli uzliesmojoša un sprādzienbīstama darba vide, ar eļļu pildīti transformatori, nepietiekams skābekļa līmenis, gaisa piesārņojums (toksiskas ķīmiskas vielas, materiāli, toksiskas gāzes) un ķīmiskā reakcija, kas izraisa skābekļa trūkumu, kā arī elektrības kabeļi, sadales iekārtas, slēdži, dzesēšanas sistēma un uzliesmojošas hidrauliskās eļļas. Bīstamība ir saistīta arī ar citiem aspektiem, piemēram, siltuma radītas traumas iespējamība (apdegums), slikta redzamība, pārāk augsts trokšņa līmenis, fiziskās barjeras vai pārvietošanās ierobežojumi (ergonomika), elektriska trieciena risks, noplūdes un ar aprīkojumu saistīti mehāniski apdraudējumi. Šī pētījuma ietvaros konstatēts četrdesmit viens būtisks apdraudējums, un tika identificētas darbības, kuras novērtēja, izmantojot kontROLSarakstu analīzes tehniku. Ņemot vērā identificētos parametrus, rezultāti tika iedalīti trīs līmeņos ar trim riska pakāpēm, un tika izmantota riska novērtējuma metodika.

2.3.2. Bīstamības un darbības metode

Bīstamības un darbības (angliski–*Hazard and Operability Studies*–HAZOP) metode radās divdesmitā gadsimta sešdesmitajos gados un kļuva ļoti populāra pēc *Flixborough* ķīmijas rūpnīcas katastrofas 1974. gadā.²⁴⁹ Kopš tā laika PBO vadība, zinātnieki un organizācijas visā pasaulē plaši izmanto šo metodi ķīmijas un kodolenerģētikas nozarē, un ar laiku radās daudzi atvasinātie rīki.²⁵⁰ HAZOP metodi izmanto jau vairāk nekā 40 gadu, un tā ir plaši atzīta pasaulē, ir iekļauta dažādos standartos un aptver arī citas nozares (farmāciju, mašīnbūvi, elektrisko inženieriju). Parasti HAZOP analīzi izmanto, lai identificētu iespējamu negatīvo notikumu cēloņus un sekas jeb novirzes. Izmantojot HAZOP analīzes rezultātus, bīstamības scenārija modeļiem ir iespējams atspoguļot negatīvo notikumu scenārijus.

Šāda veida analīzi parasti veic daudzdisciplināra komanda–eksperti ideju apmaiņas procesā.

Galvenie HAZOP mērķi:

- noteikt un novērtēt apdraudējumus plānotā procesā vai darbībā;
- identificēt nozīmīgas problēmas ar darbību vai kvalitāti;
- identificēt praktiskas, ar ekspluatāciju saistītas problēmas.²⁵¹

HAZOP un tās atvasinājumus, piemēram, *HE-HAZOP*,²⁵² *SCHAZOP*²⁵³ izmanto analītiķi, pielietojot vadlīnijas katram uzdevumam vai procesa posma potenciālo risku novērtēšanai. Izmantojot atlases vārdus, piemēram, *vairāk*, *mazāk* un citus vārdus, tiek identificētas iespējamās kļūdas.

HAZOP metodei ir vairāki analīzes tehnikas veidi. *OptAzop*²⁵⁴ tehnika paplašina sākotnējo HAZOP metodi, un tā tika izveidota, lai mazinātu HAZOP metodes nepilnības

²⁴⁸ Saedi, A.M., Thambirajah, J.J., Pariatamby, A. (2014). A HIRARC model for safety and risk evaluation at a hydroelectric power generation plant. *Safety Science*. Vol.70, pp.308–315.

²⁴⁹ Groso, A., Ouedraogo, A., Meyer, T., (2012). Risk analysis in research environment. *J. Risk Researches*. Vol. 15 (2), pp.187–208.

²⁵⁰ Swann, C.D., Preston, M.L., (1995). Twenty-five years of HAZOPs. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol. 8 (6), pp.349–353.

²⁵¹ Macdonald, D. (2004). *Practical Hazops, Trips and Alarms*. 1st Edition Published Date: 16th July 2004. 98.p.

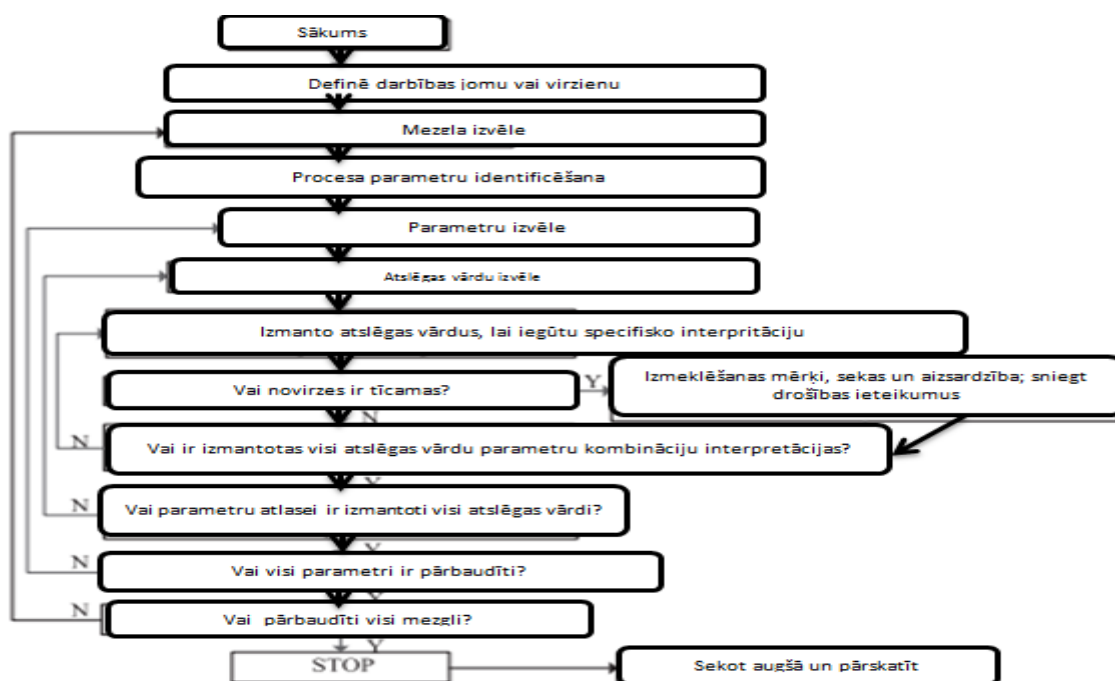
²⁵² Kirwan, B., (1992). Human error identification in human reliability assessment. Part 1: Overview of approaches. *Applied Ergonomics* Vol.23 (5), pp.299–318.

²⁵³ Kirwan, B., (1998). Human error identification techniques for risk assessment of high risk systems—Part 1: Review and evaluation of techniques. *Applied Ergonomics*. Vol.29 (3), pp.157–177.

²⁵⁴ Khan, F.I., Abbasi, S.A. (1998). *Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.11 (4), pp.261–277.

(piemēram, to, ka *HAZOP* metode ir laukietilpīga).²⁵⁵ Vēl viens *HAZOP* tehnikas veids ir drošības kultūras ekspluatācijas izmantojamības (*SCHAZOP*) metode.²⁵⁶ To izmanto, lai identificētu konkrētus apdraudējumus un lai izveidotu sistemātisku risinājumu šiem apdraudējumiem. *HAZOP* metodes izmanto arī kā jaukto metožu daļu,²⁵⁷ un ar to novērtē arī cilvēka kļūdas risku ārkārtas situācijās. Šīs metodes priekšrocības ir sistemātiskums un struktūra.²⁵⁸

HAZOP process sastāv no četriem pamatposmiem: definēšanas, sagatavošanas, pārbaudes un dokumentācijas pēcpārbaudes.²⁵⁹ Ir jāizmanto noteiktie parametri un atslēgvārdi, piemēram, *nē*, *vairāk*, *mazāk* kopā ar tehnoloģiskā procesa parametru novērtējumu, lai atklātu iespējamās ekspluatācijas novirzes no plānotā darba režīma. Izvērtējot novirzes, ekspertu grupa izskata iespējamās cēloņus un to iespējamās sekas. Daudznozaru ekspertiem būtu jāizvērtē, vai uzņēmumā veiktie drošības pasākumi ir pietiekami, un, ja tie nav pietiekami, nepieciešamības gadījumā jāierosina papildu drošības pasākumi. *HAZOP* izpētes metode ir parādīta 2.14. attēlā, un tā sastāv no pieciem galvenajiem turpmākajā tekstā aprakstītajiem posmiem.



2.14. att. HAZOP pētījuma procedūra.²⁶⁰

1. Noteikt pētījuma objektu un izvēlēties analizējamo sistēmas daļu. Sistemātiskas izpētes nolūkā iekārtas un procedūras jāsadala atsevišķās vienībās, bet priekšmeti—to darbības

²⁵⁵ Groso, A., Ouedraogo, A., Meyer, T., (2012). Risk analysis in research environment. *Journal of Risk Research*. Vol. 15 (2), pp.187–208.

²⁵⁶ Kennedy, R., Kirwan, B., (1998). Development of a hazard and operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems. *Safety Science*. Vol.30. (3), pp.249-274.

²⁵⁷ Deacon, T., Amyotte, P.R., Khan, F.I., (2010). Human error risk analysis in offshore emergencies. *Safety Science*. Vol.48 (6), pp. 803–818.

²⁵⁸ Yun, G., Rogers, W. J., Mannan, M. S., (2009). Risk assessment of LNG importation terminals using the Bayesian-LOPA methodology. *Journal Loss Prevention Process Industries*. Vol. 22 (1), pp. 91–96.

²⁵⁹ International Electrotechnical Commission, (2016). IEC 61882:2016 *Hazard and operability studies (HAZOP studies) – application guide*. IEC, Geneva, Switzerland. pp.16.

²⁶⁰ International Electrotechnical Commission, (2016). IEC 61882:2016 *Hazard and operability studies (HAZOP studies) – application guide*. IEC, Geneva, Switzerland. pp.17

posmos atkarībā no uzdevuma. Katram posmam pētījuma veikšanas laikā piešķir unikālu identifikācijas numuru.

2. Noteikt parametrus, definēt atslēgvārdus un vienoties par noteikto parametru izmantošanu. Parametrus var iedalīt kategorijās. Specifiskie parametri var mainīties, tie raksturo fizikālo un ķīmisko procesu sastāvdaļas, kuras var izmērīt vai atklāt. Novirze no plānotā darbības algoritma, kas var izraisīt bīstamu scenāriju, ja nav izpildīti drošības pasākumi, piemēram, plūsmas un temperatūras kontrole. Galvenie parametri ir attiecīgu bīstamības situāciju kopums, kuru kopējais negatīvais stāvoklis var izraisīt bīstamu ražošanas procesa stāvokli un ārkārtas situāciju. Tādā gadījumā steidzīgi jāveic papildu pasākumi iekārtu nomaiņai, izolācijai un citām darbībām.

3. Kombinēt atslēgvārdus, piemēram, *nē*, *vairāk*, *mazāk* ar parametriem, piemēram, temperatūra, plūsma, spiediens, lai atklātu iespējamās procesa novirzes. Atslēgvārdi ir konkrēti vārdi vai teikumi, kurus izmanto, lai aprakstītu novirzes no ierīces plānotās standarta darbības parametriem.

4. Analizēt noviržu cēloņus un iespējamās sekas. Atslēgvārdi un parametri var veidot situāciju likumsakarības, kas atšķiras no sistēmas ieplānotā drošas ekspluatācijas stāvokļa, bet būtiska novirze nozīmē, ka ir iespējama situācija, kas var radīt apdraudējumu drošībai, veselībai vai videi. Par katru atklāto novirzi jārod atbilde uz jautājumu: „Vai šī novirze ir iespējama?”, jāmēģina atrast iespējamās cēloņus un identificēt iespējamās sekas, uzdodot citus jautājumus, piemēram: „Kāpēc sistēmā esošās vielas temperatūra ir augsta?” vai „Kas var notikt, ja vielas temperatūra turpinās paaugstināties?”. Tādā veidā tiek apkopoti visi sistēmas novirzes dati. Ekspertu grupa tos identificē, reģistrē un pēc tam sniedz priekšlikumus novirzes novēršanai.

5. Identificēt esošos un nepieciešamos aizsardzības un samazināšanas pasākumus katram elementam, kur konstatētas novirzes, un sagatavot ieteikumus turpmākai riska samazināšanai, ja tas ir nepieciešams. Pieņemot lēmumus par katra riska pieņemšanu un prioritāro risku noteikšanu. Nosakot bīstamības riska pakāpi, ieteicams izmantot tipisko puskvantitatīvo riska matricu, lai novērtētu un noteiktu prioritātes (parasti–nelabvēlīgas sekas) risku un lai pieņemtu lēmumus par riska nepieļaušanu, pamatojoties uz vēsturiskiem statistikas datiem.

HAZOP analīze līdz šim uzskatīta par efektīvu bīstamības novērtējuma metodi, tomēr tai ir trīs būtiski trūkumi risku vadības jomā. Pirmkārt, tā nevar sniegt kvantitatīvus novērtējuma datus, jo novērtējumam izmantota kvalitatīvā metode. Otrkārt, HAZOP analīzes rezultāti, kurus attēlo tabulas veidā, skaidri neparāda kļūdu izplatīšanās procesu tehnoloģiskajās iekārtās. Treškārt, HAZOP analīze neuzskaita konkrētus iekārtu elementu atteices iemeslus, tāpēc nevar agrīni reaģēt un noteikt nepieciešamo drošības līmeni. Turklāt HAZOP komponentus uzskaita pa vienam, neatspoguļojot atsevišķu sistēmu elementu mijiedarbību, savstarpējo atkarību vai iespējamo notikumu kombinācijas, kam ir izšķiroša nozīme identificēšanas un analīzes procesā.²⁶¹ Ņemot vērā šos argumentus, var secināt, ka standarta HAZOP analīze neatbilst paaugstinātas drošības un vides pārvaldības prasībām kompleksa procesa nozarē.²⁶² Kopumā HAZOP metode ir ļoti līdzīga FMEA metodei, jo, to izmantojot, var identificēt procesu, sistēmas vai darbības atteices iemeslus, veidus un sekas. Galvenā atšķirība ir tajā, kā speciālistu grupa izskata negadījumu rezultātus un novirzes no paredzamajiem rezultātiem, un kā tiek veikta izpēte atpakaļejošā secībā līdz iespējamajiem darbības atteices iemesliem, savukārt FMEA metodi izmanto no atteices iemesla veida identificēšanas pretējā virzienā.

²⁶¹ Rasmussen, J., (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*. Vol. 27 (2–3), pp.183–213.

²⁶² Guo, L., Kang, J. (2015) An extended HAZOP analysis approach with dynamic fault tree. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.38, pp. 224-232.

2.3.3. Atteices režīma un efekta analīzes metodes

Atteices režīma un efekta analīzes metodes (angliski–*Failure mode and effect analysis–FMEA*) ir spēcīgs drošības procesu, sistēmu un pakalpojumu analīzes instruments. Detalizētākā *FMEA* metodē ietilpst kritiskās analīzes posms, ko dēvē arī par atteices režīmu, efektu un kritiskuma analīzi (angliski–*Failure mode, effect, and criticality analysis–FMECA*). *FMEA* ir sistematizēta (no apakšas uz augšu) inženierijas metode, kuras galvenais mērķis ir atrast, novērtēt un novērst zināmus vai potenciālus atteices iemeslus, ņemot vērā sistēmas trūkumus, un novērst iespējamo negadījumu.²⁶³

FMEA metode tika ieviesta 1949. gadā ASV armijā, lai pētītu iespējamās militārās sistēmas darbības trūkumus.²⁶⁴ Pilnveidotu sistēmu 20. gadsimta 60. gados sāka izmantot ASV organizācijas NASA vajadzībām, lai novērtētu drošības sistēmas nepilnības. Pēc tam *FMEA* kļuva arvien populārāka, un pašlaik to izmanto dažādās nozarēs–militārajā, ražošanas, elektronikas un veselības aprūpes nozarē.²⁶⁵

FMEA ir detalizēta un stingra metodika, kas saistīta ar vadīšanu. Viena no šīs metodes priekšrocībām ir iespēja uzdot atvērtos jautājumus, kas ļauj labāk identificēt analizējamās sistēmas bīstamību un riskus. Tradicionālā *FMEA* metode nosaka riska prioritātes numuru (RPN), lai identificētu iespējamās atteices gadījumus. RPN kontekstā jāidentificē riska faktori, piemēram, atteices režīma rašanās (O), negadījuma smagums (S) un negadījuma vai atteices varbūtība (D). Pēc faktoru identificēšanas tiek noteikts RPN, reizinot riska faktoru vērtību. Parasti *FMEA* faktoru vērtēšanu veic, nosakot diskrētās vērtības katram elementam iepriekš noteiktā skalā, piemēram, no 1 līdz 3, no 1 līdz 5 vai no 1 līdz 10. Jo augstāks rādītājs, jo lielāks risks, kuru aprēķina pēc RPN prioritātēm. Šīs RPN vērtības ļauj salīdzināt riskus: atteices režīmi ar augstākajiem RPN rādītājiem ir paši aktuālākie, tos ir jāņem vērā, lai palielinātu drošību un samazinātu riska pakāpi. Novērtēšanas riska faktoru skala parādīta 2.15. tabulā.

2.15. tabula

Novērtēšanas riska faktoru skala²⁶⁶

Atteices režīma rašanās	(O)	negadījuma vai atteices varbūtība	(D)	negadījuma smagums	Atteikuma režīma sekas ar ietekmi	(S)
1	2	3	4	5	6	7
Nenožīmīgs	1	Noteikti	1	Bīstami augsts	Cilvēki var gūt smagus ievainojumus	10
Ļoti zems	2	Ļoti iespējams	2	Ārkārtīgi augsts	Atteikums vairs neatbilst tiesību normām	9
Zems	3	Iespējams	3	Ļoti augsts	Klientam nonāk produkts ar atteikumu/brāķi	8
Ik pa laikam	4	Vairāk nekā vidēji	4	Augsts	Izgatavoto produktu noraidīšana	7

²⁶³ Sharma, RK., Kumar, D., Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling, *International journal of quality & reliability management*. Vol. 22, Issue 9. pp. 986-1004.

²⁶⁴ Spreafico, C., Russo, D., Rizzi, C. (2017). A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents. *Computer Science Review*. Vol. 25. pp.19–28.

²⁶⁵ Certa, A., Hopps, F., Inghilleri R. La Fata C.M. (2017). A Dempster-Shafer Theory-based approach to the Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) under epistemic uncertainty: application to the propulsion system of a fishing vessel. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 159, pp. 69-79.

²⁶⁶ Barends, D. M., Oldenhof, M. T., Vredenburg, M. J., Nauta, M. J. (2012). Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* Vol. 64–6, pp. 82–86.

2.15. tabulas turpinājums

1	2	3	4	5	6	7
Šad tad	5	Vidēji	5	Apmierinošs	Ilga procesa kavēšanās, jo jāveic remonts	6
Regulāri	6	Zems	6	Zems	Mērens kavējuma process	5
Ļoti regulāri	7	Ļoti zems	7	Ļoti zems	Īss procesa kavējums	4
Bieži	8	Maz ticams	8	Ārkārtīgi zems	Nepieciešamas papildu piepūles, lai ražotu, bez kavēšanās	3
Ļoti bieži	9	Ļoti maz ticams	9	Gandrīz neviens	Atteikums netiek pamanīts, maza ietekme	2
Ārkārtīgi bieži	10	Izslēgts	10	Neviens	Nepamanīts, nav atbilstoša efekta	1

Lai gan *FMEA* metode ir ļoti populāra, pamata novērtēšanas metodei ir vairākas būtiskas nepilnības. Pirmkārt, datus izmanto, lai aprakstītu atteices riskus, taču bieži vien ir grūti iegūt precīzus novērtēšanas rezultātus, jo cilvēku viedoklis var atšķirties. Otrkārt, atteices prioritātes šķiro atbilstoši riska prioritātes numuram, kas ir apšaubāms un ļoti jutīgs pret riska faktoru reitingu izmaiņām.²⁶⁷ Turklāt šī metode tiek uzskatīta par neinteresantu un laikietilpīgu.

2.3.4. Koka analīzes metodes

Koka analīzes metodē ietilpst koka veida diagrammas izstrāde. Šajā diagrammā atspoguļo uzdevuma atrisināšanas posmus un pēc tam veic identificētā atteices punkta analīzi. Svarīgs koka analīzes elements ir kvantitatīvā riska analīze, ko izmanto, lai noteiktu katra identificētā riska faktora varbūtību. Tiek izdalītas vairākas koka analīzes metodes: kļūdu koka analīze, notikumu koka analīze, cēloņu un seku analīze.²⁶⁸

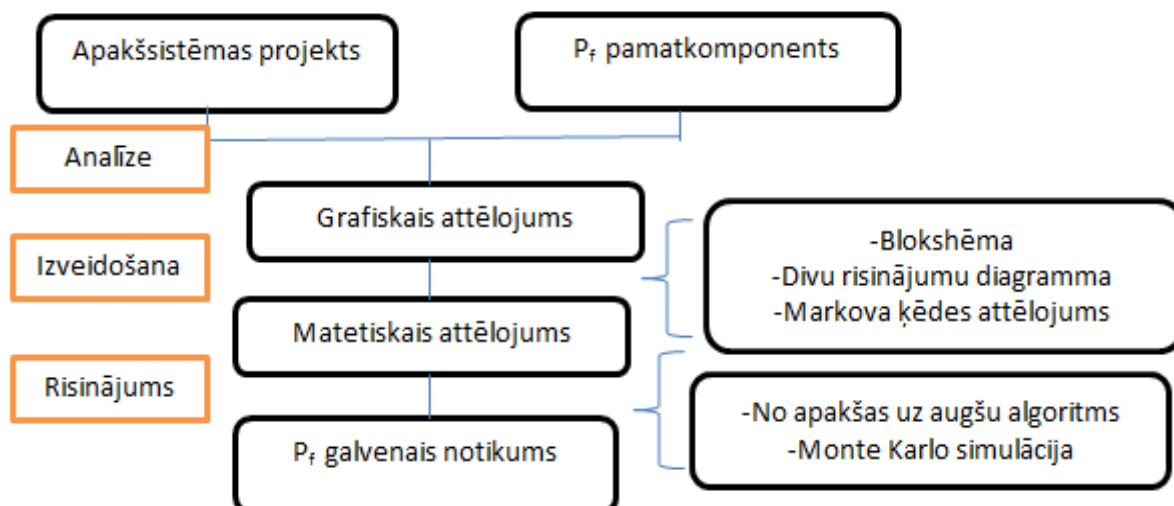
Kļūdu koka analīze (angliski – *fault tree analysis-FTA*) ir viens no spēcīgākajiem analīzes paņēmieniem, lai pārādītu sarežģītas inženiertehniskās sistēmas negatīvā notikuma varbūtību, pamatojoties uz pamatkomponentu atteici, izmantojot visas apakšsistēmas. *FTA* tika radīts 1961. gadā uzņēmuma *Bells Labs* vadības sistēmas ietvaros *Minuteman* projektā.²⁶⁹ Mūsdienās šo metodi plaši izmanto dažādās inženiertehniskajās jomās, lai identificētu un paredzētu nelabvēlīgās sekas.

Kļūdu koka analīzi izmanto atteices varbūtības aprēķinam. Zinātnieki F. Sihombings (*F. Sihombing*) un M. Torbols (*M. Torbol*) izdala trīs galvenos kļūdu koka analīzes posmus (2.15. attēls): 1. posmā izveido kļūdu koka loģisko secību. Ņemot vērā sistēmas elementus, nosaka galveno komponentu atteices varbūtību un analizē katra posma loģisko secību. 2. posms ir kļūdu koka modeļa matemātiskā uzbūve. 3. posmā aprēķina pēdējā negadījuma cēloņsakarību varbūtību. Kļūdu koka analīzi var veikt kvalitatīvi vai kvantitatīvi, vai izmantot abus izpētes veidus atkarībā no pētījuma mērķiem.

²⁶⁷ Huang, J., Li, Z., Liu, H, (2017). New approach for failure mode and effect analysis using linguistic distribution assessments and TODIM method. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol.167, pp. 302–309.

²⁶⁸ Dallat, C., Salmon, P. M., Goode, N.(2019). Risky systems versus risky people: To what extent do risk assessment methods consider the systems approach to accident causation? A review of the literature. *Safety Science*. Vol. 119, pp. 266-279.

²⁶⁹ Sihombing, F, Torbol, M. (2018). Parallel fault tree analysis for accurate reliability of complex systems. *Structural Safety* Vol.72, pp. 41–53.



2.15. att. Kļūdas koka analīzes soļi un algoritmi.²⁷⁰

Zinātnieks B. Veselijs (*B.Vesely*) kļūdu koka analīzi (*FTA*) definē kā dedukcijas analīzes metodi nevēlamu notikumu un cēloņu atrisināšanai.²⁷¹ *FTA* ir analīze, kas vērsta pret konkrēta notikuma cēloņiem un sašķirota posmos loģiskā secībā, tiek izmantota analīzes procesā, bet diagrammā vizuāli attēlo procesu likumsakarības. *FTA* mērķis ir izskatīt iespējamās negadījuma cēloņus, identificēt sistēmas nepilnības, novērtēt izmantojamo konstrukciju drošību, noteikt iespējamās cilvēka kļūdas sekas, izvirzīt efektīvus priekšlikumus sistēmas uzlabojumiem, kā arī kvantitatīvi noteikt iespējamā negadījuma varbūtību un optimizēt sistēmas darbību.

Notikumu koka analīze (angliski—*event tree analysis—ETA*) ir konstruktīvas modelēšanas veids, kā atklāt un analizēt dažādu negadījumu varbūtību.²⁷² Seku novērtējumā notikumu koka analīzi parasti izmanto, lai identificētu iespējamās nejaušos scenārijus, kas tiek apskatīti kā notikuma izraisīšanas alternatīvie gadījumi.²⁷³ Notikumu koka analīze parāda iespējamo hronoloģisko ķēdi vai procesa attīstību (2.16. attēls), kas saistīta ar dažādiem iespējamajiem notikumiem. Metode iekļauj sevī atteikumu deduktīvo analīzi, kuru var vienkāršoti aprakstīt analītiski. Kopumā šo varbūtības analīzes metodi riska novērtēšanas procesā rekomendē izmantot starptautiskā atomenerģētikas aģentūrā.²⁷⁴ Notikumu koku parasti zīmē no kreisās puses uz labo, kur sākumpunkts ir iespējamais negadījums. Ja notikumu koks ir pārāk liels, tad vajadzības gadījumā atsevišķus zarus var zīmēt uz citas lapas, sasaistot lapas, izmantojot speciālus norādes simbolus. Notikumu kokā attēlo dažādas notikuma iespējamības un varbūtības, bet drošību ietekmējošos faktorus sauc par mezgļiem. Vispirms veic notikuma sākotnējo prognozi un pēc tam identificē papildu apdraudējuma faktorus, kas var izraisīt domino efektu, pēc kā nosaka notikuma varbūtību.

Sākotnējais notikums parasti tiek parādīts kreisajā pusē kā horizontāla līnija, kas vertikāli atdala citus saistītus variantus, kas var būt kontrolējami vai nevēlami gadījumi. Notikumu koku veido, izmantojot sākotnējo un saistīto atsevišķo notikumu sakarības, kas

²⁷⁰ Sihombing, F, Torbol, M. (2018). Parallel fault tree analysis for accurate reliability of complex systems. *Structural Safety* Vol.72, pp. 41–53.

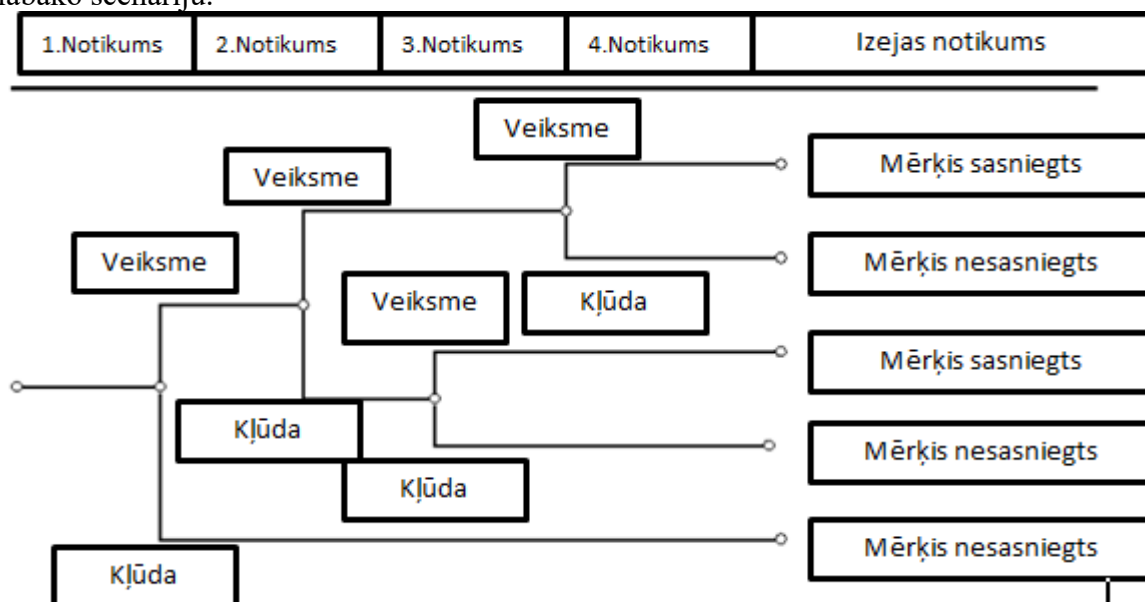
²⁷¹ Vesely, B., Stamatelatos, M., Dugan, J., Fragola, J., Minarick, J., Railsbach, J. (2002). Fault Tree Analysis Concepts and Applications, *NASA Publication*, Version 1.1, pp. 4 – 10.

²⁷² Raiyan, A., Das, S., Islam, M. (2017). Event Tree Analysis of Marine Accidents in Bangladesh. *Procedia Engineering*. Vol.194, pp.276 – 283.

²⁷³ Cozzani, V., Gubinelli G., Antonioni, G., Spadoni, G., Zanelli, S. (2005). The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. A127, pp.14–30.

²⁷⁴ Здановский В.Г. (2014). Вероятностный анализ безопасности аэс. *Проблеми охорони праці в Україні: збірник наукових праць*. – Київ, 2014. № 27, стр. 72–84.

parādītas, izmantojot koka struktūru. Ja galvenais notikums (neveiksme) notiek, bet pārējie saistītie notikumi nenotiek (veiksme), tad var pieņemt, ka nevēlamās situācijas briesmas nepasliktinās citu iekārtu un sistēmu darbību. Veiksmes gadījumā nelaimes gadījumu secība beidzas, bet neveiksmes gadījumā ķēde turpinās, kamēr visi varianti ir izsmelti. Pēc notikumu koka analīzes un konstruēšanas tiek vērtēts katras atsevišķās bīstamības ceļa risks. Sliktāko koka attīstības scenāriju attēlo koka augšpusē, labāku scenāriju—zemāk, bet viszemāk—pašu labāko scenāriju.



2.16. att. Notikumu koks.²⁷⁵

Katra notikumu koka zara notikuma varbūtību aprēķina, izmantojot 2.16. tabulas datus, kur, atkarībā no noplūdušās vielas sastāva, ir aprēķināta katras vielas tūlītējas vai aizkavētas aizdegšanās varbūtība. Tātad, izmantojot 2.16. tabulas datus, avārijai, kas saistīta, piemēram, arbenzīna cauruļvada sabrukumu (atbilstoši metodikai, VUŠ, kura uzliesmošanas temperatūra ir mazāka par +28, ir jāizmanto nosacīta varbūtība divfāžu maisījumiem, jo tie var atrasties gan šķidrā veidā, gan tvaika veidā), nosacīta dažādu scenāriju realizācijas varbūtība būs šāda: tūlītējas aizdegšanās varbūtība $P = 0,2$ jeb 20 %; aizkavētas aizdegšanās varbūtība, ja nav tūlītējas aizdegšanās $P = (1-0,2)*0,24 = 0,192$; sadegšana, veidojot pārspiedienu, ja sākotnējā notikumā izveidojas degošas vielas gāzveida mākonis, un tā novēlota aizdegšanās, ja nav tūlītējas aizdegšanās $P = (1-0,2)*0,24*0,2*0,6 = 0,023$. Apskatot šos iespējamās scenārijus, var noteikt scenāriju ar vislielāko negatīvo varbūtību un secināt, ka tūlītējas aizdegšanās gadījumam ir vislielākā negatīvā notikuma varbūtība, bet notikuma bez negatīvas ietekmes varbūtība ir $P = 0,8$ jeb 80 %. Atbilstoši šīs tabulas izmantošanas rekomendācijām, ja šķidrums uzsilis līdz pašuzliesmošanās temperatūrai vai nonāk apkārtējā vidē, kur eksistē aizdegšanos izraisoši avoti, nosacīta aizdegšanās varbūtība ir $P = 1$.

²⁷⁵ Firza, R., Rosyid, D., Dirta, M.C. (2017). Project Delay Analysis on Jacket Structure Construction *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 862, pp. 315-320.

2.16. tabula

Nosacīta tūlītējas un aizkavētas aizdegšanās varbūtība²⁷⁶

Masas noplūde, kg/s		Nosacīta tūlītējas aizdegšanās varbūtība			Nosacīta aizkavētas aizdegšanās varbūtība, ja nav tūlītējas aizdegšanās			Nosacīta sadegšanas varbūtība ar pārspiediena izveidošanos, kad izveidojas sprādzienbīstams gaisa maisījums, kas aizdegas		
Diapazons	Nominālā vidējā vērtība	Gāze	Divfāžu maisījums	Šķidrums	Gāze	Divfāžu maisījums	Šķidrums	Gāze	Divfāžu maisījums	Šķidrums
Mazs (<1)	0,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
Vidējs (1–50)	10	0,035	0,035	0,015	0,036	0,036	0,015	0,240	0,240	0,050
Liels (>50)	100	0,150	0,150	0,040	0,176	0,176	0,042	0,600	0,600	0,050
Pilnīgs sabrukums	Nav noteikts	0,200	0,200	0,050	0,240	0,240	0,061	0,600	0,600	0,100

Izmantojot 2.16. tabulas datus, veido notikumu koku, ar ko var modelēt visus iespējamās attīstības scenārijus. Piemērs sniegts 2.16. attēlā. Avāriju scenāriju varbūtības aprēķināšanai izveido tabulu un nosaka katra zara kopējo varbūtību, ko reizina ar avārijas pamata varbūtību, veidojot scenārijus un piešķirot numurus. Piemērs scenārijam ar numuriem, izmantojot notikumu koku, sniegts 2.17. tabulā.

2.17. tabula

Notikumu koka realizācijas varbūtība *Cisternas pilnīgs sabrukums*²⁷⁷

Scenārijs Nr.	Cisternas pilnīgs sabrukums	(Cisterna ar pārspiedienu)		
		P – varbūtība	Z – zara varbūtība (kopā), 2.16. attēls	Kopējā realizācijas varbūtība, (P*Z) gads ⁻¹
C1	Bīstamas vielas noplūde nenorobežotā teritorijā	5*10 ⁻⁷ gads ⁻¹	0,608	3,0*10 ⁻⁷

Parasti PBO nesaglabā statistikas datus par tehnoloģisko iekārtu ekspluatācijas laikā notikušiem negadījumiem un avārijām pietiekamā apjomā, lai to varētu izmantot riska novērtējumam, tāpēc tam var izmantot pasaules zinātniskajā literatūrā sniegto informāciju par negadījumu varbūtību standarta tehnoloģiskajās iekārtās (P–varbūtība), skatīt 2.18. tabulu.

²⁷⁶Гордиенко, Д.М., Шебеко, Ю.Н. и др. (2012). *Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов*. Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 171. Стр.

²⁷⁷ Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. Identifying Potential Risks Created by State Joint-Stock Company Latvijas Dzelzceļš Jelgava Station and Evaluating Their Impact on Environment, Inhabitants and Infrastructure. (2019). No: 18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development": Proceedings. Vol.18, Latvija, Jelgava, 22.-24. maijs, 2019.

Tehnoloģiskā aprīkojuma bojājuma biežums (stacionārā stāvoklī)²⁷⁸

Aprīkojuma nosaukums	Notikums, kas inscenē avāriju	Izplūšanas cauruma diametrs, mm	Biežums, gadā-1
Rezervuāri, aprīkojums zem spiediena	Bojājums, kura rezultātā izdalās gāze vai šķidrums, vai divfāzu vide	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-6}$
		25	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		50	$3,8 \cdot 10^{-6}$
		100	$1,7 \cdot 10^{-6}$
		Pilnīgs sabrukums	$3,0 \cdot 10^{-7}$

Pamatvarbūtība var mainīties atkarībā no tehnoloģisko iekārtu skaita un ekspluatācijas laika gadā. Lai noteiktu avārijas izcelšanās biežumu dažādu veidu aprīkojumam, tiek ņemts vērā aprīkojuma skaits, izvietojuma vieta, sākotnējā negadījuma izcelšanās biežums ar iespējamajām sekām. Avārijas situāciju riska biežumu objektā ar viena veida aprīkojuma ekspluatāciju viena gada periodā aprēķina, izmantojot šo formulu (2.50.):

$$Q(A_i) = [nQ_i - 0,5n(n-1)Q_i^2] \frac{\sum t_i}{Sti}, \quad (2.50.)$$

kur n – viena veida aprīkojuma skaits objektā;

Q_i – scenārija realizācijas varbūtība;

Sti – aprīkojuma ekspluatācijas ilgums gadā, stundas.

Veicot cēloņu un seku analīzi (angliski – *Cause Consequence analysis* – CCA), ar diagrammas palīdzību var modelēt visus negatīvos un pozitīvos sistēmas izmaiņu iemeslus, notikumu ķēdi (ceļu) un rezultātus vienā loģiskajā shēmā. Ir pierādīts, ka diagramma ir ļoti piemērota sistēmas atteices procesa attēlošanai un turpmākam kvantitatīvam novērtējumam, ko varētu piemērot pakāpeniskajā procesu analīzē.²⁷⁹ Koka analīzes riska metožu novērtējuma galvenā priekšrocība ir iespēja iegūt gan kvalitatīvos, gan kvalitatīvi kvantitatīvos rezultātus, kas ir būtiski lietotājiem jeb ekspertiem, kas izvērtē abu veidu rezultātus. Turklāt šo metodi var izmantot visos sistēmas procesu posmos, ieskaitot plānošanu, projektēšanu, piegādi un pārskatīšanu.²⁸⁰

Cēloņu un seku diagrammas mērķis ir novērtēt visu potenciālo ar negadījumu saistīto seku iespējamību vai biežumu. Cēloņu un seku diagrammas metodes pamatā ir kritiska negatīva notikuma iespējamība, piemēram, gadījums, kas saistīts ar komponentu vai apakšsistēmu darbības atteici, kas var radīt bīstamas sekas. Kad ir identificēts kritiskais notikums, visi tā būtiskie iemesli un iespējamās sekas tiek izstrādātas, izmantojot kļūdu koka analīzi un notikumu koku analīzi.²⁸¹ Grafiskais apraksts riska un negadījumu scenārijiem ir ļoti noderīgs, it īpaši – paziņojot analīzes rezultātus. Koka analīzes metodes galvenais trūkums ir augsts nepieciešamo zināšanu līmenis.

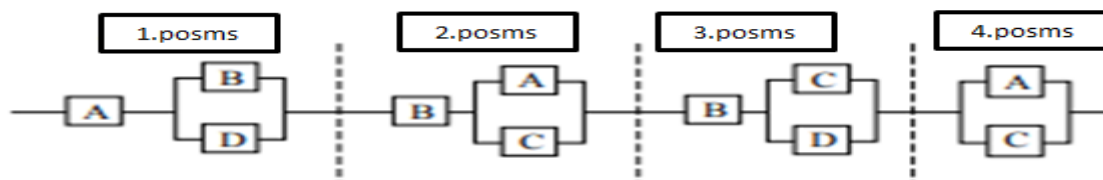
²⁷⁸ Галеев, А. Д., Поникаров, С. И. (2017). *Анализ риска аварий на опасных производственных объектах*, Казань: Издательство КНИТУ. 20. Стр.

²⁷⁹ Vyzaite, G., Dunnett, S., Andrews, J. (2006). Cause-consequence analysis of non-repairable phased missions. *Reliability Engineering and System Safety* Vol. 91, pp.398–406.

²⁸⁰ Altabbakh, H., AlKazimi, M.A., Murray, S., Grantham, K. (2014). STAMP – holistic system safety approach or just another risk model? *J. Loss Prev. Process Ind.* Vol.32, pp.109–119.

²⁸¹ Vyzaite, G., Dunnett, S., Andrews, J. (2006). Cause-consequence analysis of non-repairable phased missions. *Reliability Engineering and System Safety* Vol. 91, pp. 398–406.

Lai ilustrētu pakāpenisku cēloņu un seku analīzes gaitu, apskatīsim 2.18. attēlu, kur parādīta vienkārša seku diagrammas metode, izmantojot neatjaunojamās sistēmas piemēru. Šajā piemērā, lai rastos sekas, sistēmai ir jāstrādā visos četros posmos.. 1. posma A komponentam jāstrādā kopā ar B vai D komponentu. A, B vai C komponenta defekts vai darbības kļūda izraisīs visa posma darbības atteici un neļaus pāriet nākamajā posmā. Ja 1. posms ir veiksmīgi pabeigts, sistēma ieiet 2. posmā. Lai pabeigtu posmu, sistēmas prasībām jābūt izpildītām katrā posmā.



2.18. att. Vienkāršo seku diagramma²⁸²

2.3.5. Cilvēka drošuma analīzes un cilvēka kļūdas identifikācijas metodes

Cilvēku drošuma analīzes (*HRA*) un cilvēka kļūdas identifikācijas (*HEI*) metodes sāka bieži izmantot 20. gadsimta 80. gados kā sistemātisku atbildi pēc notikušām vērienīgām katastrofām. Sākumā cilvēka kļūdas gadījumu izpēte gāja roku rokā ar kognitīvās psiholoģijas attīstību 20. gadsimta 70. gados.²⁸³ Cilvēka drošuma analīzi *HRA* var izmantot, lai kvantitatīvi vai kvalitatīvi novērtētu cilvēka darbības iespējamo negatīvo ietekmi uz funkcionējošās sistēmas drošību. Cilvēku un vides drošība ir atkarīga no dažādiem cilvēku-operatoru raksturojošiem faktoriem, piemēram, kompetences, uzmanības, motivācijas un emocionālās noslodzes darbā. Cilvēka drošums ir saistīts ar darba drošību, ko izsaka ar varbūtību, ka cilvēks pareizi izpilda savus pienākumus, ja tas ar savu darbību vai bezdarbību nevar sabojāt kontrolējamo sistēmu.²⁸⁴ Cilvēka kļūda vai nedrošums ir varbūtība, ka kontrolējamās sistēmas bojājums notiek cilvēka nepareizas darbības rezultātā.

Analizējot cilvēka drošumu, nosaka cilvēciskā faktora ietekmi nākotnē atbildot uz jautājumu: kāda ir varbūtība un kādā situācijā operators kļūdīsies? Cilvēka drošuma analīzes mērķis ir sistemātiski identificēt un analizēt cilvēka kā sistēmas elementa iedarbības cēloņus un saistītās sekas attiecībā uz tehniskām sistēmām, piemēram, uz atomelektrostacijas darbību, kosmosa sistēmas darbību, vadības operāciju efektivitāti un citām darbībām. Cilvēka kļūda ir viens no galvenajiem daudzu sarežģītu sistēmu incidentu un negadījumu cēloņiem.²⁸⁵ Statistikas dati liecina, ka mūsdienās cilvēka kļūdas dēļ kodolrūpniecībā notiek vairāk nekā 90 % negadījumu, ķīmiskajā un naftas rūpniecībā – vairāk nekā 80 % darbības atteices gadījumu, jūrniecībā – vairāk nekā 75 % negadījumu, aviācijā – vairāk nekā 70 % negadījumu, bet dzeramā ūdens sadales un higiēnas jomā – vairāk nekā 75 % darbības traucējumu.²⁸⁶

HRA datus parasti izmanto kā riska varbūtības novērtējuma ievadu, un beigās tiek identificēti trīs galvenie rezultāti: cilvēka kļūdas identifikācija (cilvēka kļūdas identifikācijas

²⁸² Vyzaite, G., Dunnett, S., Andrews, J. (2006). Cause–consequence analysis of non-repairable phased missions.. *Reliability Engineering and System Safety* Vol. 91, pp.398–406.

²⁸³ Huang, F, Liu, B. (2017). Software defect prevention based on human error theories *Chinese Journal of Aeronautics*. Vol.30 Issue 3, pp.1054-1070.

²⁸⁴ Vaoderhaegen, F., Polet, P. (2000), Human risk assessment method to control dynamic situations. *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 33, Issue 11, pp. 753-758.

²⁸⁵ Hsieh, M., Wang, E., Lee, W., etc. (2018). Application of HFACS, fuzzy TOPSIS, and AHP for identifying important human error factors in emergency departments in Taiwan. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 67, pp. 171-179.

²⁸⁶ French, S., Bedford, T., etc. (2011) Human reliability analysis: A critique and review for managers. *Safety Science*. Vol. 49, pp.753–763.

metodes), ar to saistītās iespējamības novērtējums (cilvēka kļūdas skaitīšana), ja nepieciešams, kontroles pasākumu īstenošanas iespējas, lai mazinātu to varbūtību (cilvēka kļūdas samazināšana). Galvenā atšķirība starp *HRA* un *HEI* metodēm ir tā, ka *HRA* metodes parasti izmanto papildus cilvēka kļūdas kvantitatīvajai analīzei. Viena no *HEI* izplatītākajām un populārākajām cilvēka kļūdas identifikācijas metodēm ir sistemātiskas cilvēka kļūdas samazināšanas un prognozēšanas metode (*SHERPA*), kas izstrādāta Embrey (1986. gadā).²⁸⁷ Atbilstoši *SHERPA* metodei tiek izdalītas 5 cilvēka kļūdu kategorijas: darbības kļūdas, kļūdu pārbaude, informācijas ieguves kļūdas, komunikācijas kļūdas un izvēles kļūdas. *SHERPA* novērtē cilvēku drošumu un izmanto šo informāciju, lai novērtētu rezultātus, kas iegūti no dažādu veidu darba režīmiem un atpūtas laika sadalījuma, tādējādi ļaujot noteikt pārtraukumu optimālo režīmu atkarībā no darba ilguma, slodzes un sadalījuma maiņās.

Papildus *SHERPA* metodei pastāv arī tādas analīzes metodes kā kognitīvās kļūdas (*TRACER*), kognitīvā drošuma un kļūdu analīzes (*CREAM*), un cilvēka darbības analīzes metode (*ATHEANA*). Populārās *HRA* metodes ietver cilvēka kļūdas novērtēšanas un samazināšanas tehniku (*HEART*), cilvēka kļūdas prognozēšanas metodi (*THERP*) un veiksmes iespējamības indeksa metodi (*SLIM*). *HRA* un *HEI* metodes piedāvā pieeju, ar kuru modelē cilvēka kļūdas ietekmi uz sistēmas drošību.²⁸⁸

HRA un *HEI* galvenās priekšrocības ir viegla lietojamība un iespēja veikt korekcijas, lai novērstu cilvēka kļūdas. Tomēr abas metodes zināmā mērā ierobežo tas, ka parasti to pamatā ir pētnieku zināšanas un viņu subjektīvs vērtējums. *HRA* metodes galvenais trūkums ir laika starpība no tās izstrādes brīža līdz faktiskajam pielietojumam, un tas, ka vienmēr nepieciešams sākotnējais uzdevuma apraksts (piemēram, uzdevuma analīze). Neraugoties uz *HRA* ekspertu centieniem izstrādāt progresīvu cilvēka kļūdas novērtēšanas metodi un iespējamo seku analīzi, joprojām liels apgrūtinājums ir cilvēka uzvedības simulācija un grūtības šo uzvedību prognozēt.

2.3.6. Kvantitatīvās riska novērtēšanas (QRA) metodes

Veicot riska novērtējumu ar šo metodi, ieskaitot statistisko metodi vai varbūtību, riska sekas (piemēram, bojā gājušo vai ievainoto cilvēku skaitu), kā arī šī rezultāta iespējamību un iespējamās varbūtības izsaka skaitliski. Ir veikti vairāki pētījumi par kvantitatīvā riska novērtēšanu turklāt ķīmiskajā rūpniecībā šo metodi izmanto kopš 20. gadsimta 70. gadu vidus.²⁸⁹

Pašlaik kvantitatīvās riska novērtēšanas metodes ir viena no pasaulē populārākajām objekta bīstamības novērtēšanas metodēm. Interese par kvantitatīvu riska novērtējumu liecina par nepārtrauktu zināšanu līmeņa pieaugumu un tā pielietojamību, lai racionāli vadītu bīstamības avotus, veidojot sistemātisku izpratni.²⁹⁰ Kvantitatīvās riska novērtējuma procedūras pamatā ir bīstamības elementa apdraudējuma līmeņa noteikšana, veicot iespējamo risku modelēšanu, nosakot iespējamās avārijas cēloņus, piemēram, degvielas noplūdi no cauruļvada, kas var izraisīt ugunsgrēku, analizējot to iemeslus un iespējamās nelabvēlīgās sekas. Riska pakāpi skaitliski var noteikt, izmantojot mikrodaļiņu teorijas principus.

²⁸⁷ Mandal S., Singh, K., Behera, R.K., Sahu, S.K., etc. (2015). Human error identification and risk prioritization in overhead crane operations using HTA, SHERPA and fuzzy VIKOR method. *Expert Systems with Applications* Vol. 42. pp. 7195–7206.

²⁸⁸ Dallat, C., Salmon, P.M., Goode, N. (2017). Risky systems versus risky people: To what extent do risk assessment methods consider the systems approach to accident causation? A review of the literature. *Safety Science*. Vol. 119. pp. 266-279.

²⁸⁹ Khan, F.I., Abbasi, S.A., (1998). Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. *J. Loss Prev. Process Ind.* Vol.11 (4), pp. 261-277.

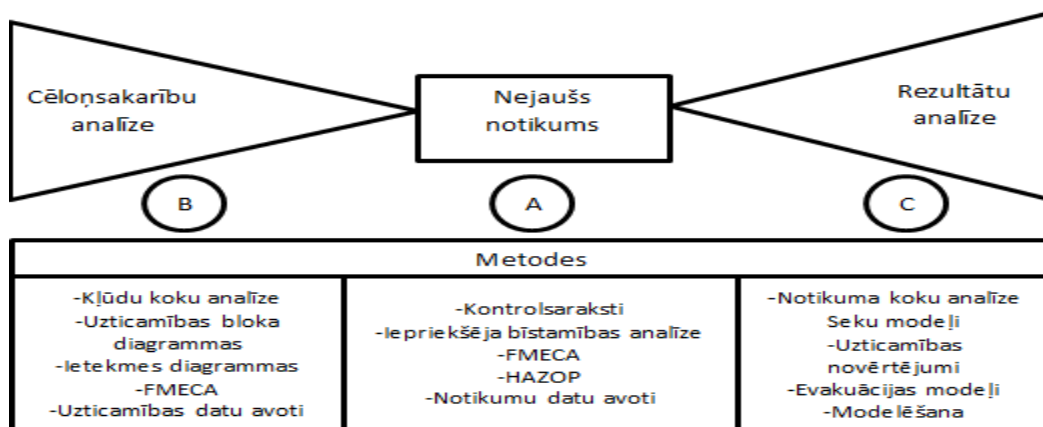
²⁹⁰ Zio, E., Aven, T. (2013). Industrial disasters: Extreme events, extremely rare. Some reflections on the treatment of uncertainties in the assessment of the associated risks. *Process Safety and Environmental Protection* Vol. 91, pp. 31–45.

Informāciju par apdraudējuma risku parasti sniedz kvalitatīvu datu veidā, piemēram, augsts, vidējs vai zems risks. Bieži šādu informāciju ir grūti izmantot objektu specifikas dēļ un tāpēc, ka paaugstinātas bīstamības objekti atšķiras. Ir grūti paredzēt zaudējumu apmēru un iespējamus kompromisus, tāpēc ir nepieciešams cits rīks, ar kuru var skaitliski izteikt bīstamības pakāpi. QRA metode ir vienīgā pilnīgi skaitliskā metode. PBO vadībai informācija par kvantitatīvo risku bieži vien ir nepieciešama, lai novērtētu riska samazināšanā ieguldīto līdzekļu atdevi. Tas ir svarīgs nosacījums izvēloties optimālo metodi un izstrādājot objekta darbības koncepciju, lai pēc iespējas samazinātu darbības cikla izmaksas.

QRA parasti izdala trīs sastāvdaļas:²⁹¹

- 1) bīstamības analīze–nelabvēlīgas ietekmes varbūtības noteikšana; notikums, kas notiek noteiktā laika periodā;
- 2) neaizsargātības analīze–kaitējuma apjoma un nopietnības novērtējums esošai aizsargājamai sistēmai;
- 3) seku analīze–negadījuma iespējamo seku novērtējums.

QRA metodi parasti izmanto kopā ar kvalitatīvām riska novērtēšanas metodēm, kuru pielietojums parādīts 2.19. attēlā.



2.19. att. QRA metode.²⁹²

QRA metodi veiksmīgi izmanto Nīderlandē, un tā ir aprakstīta Violetajā grāmatā.²⁹³ Procedūras posmi:

- 1) sākotnējo notikumu identifikācija;
- 2) sākotnējo notikumu potenciālā biežuma noteikšana;
- 3) negadījumu scenāriju varbūtības noteikšana;
- 4) negadījumu scenāriju ietekmes apgabala noteikšana;
- 5) individuālā riska noteikšana;
- 6) sociālā riska noteikšana;
- 7) rezultātu analīze;
- 8) nepieciešamo riska samazināšanas pasākumu apraksts.

Individuālais risks (ekspozīcija gada laikā) raksturo cilvēka bojāejas vai nopietnas traumas iespējamību, atrodoties apdraudējuma tiešā tuvumā, ja persona tajā vietā atrodas

²⁹¹ Uddi, N., Ang., A.H.S. (2011). *Quantitative Risk Assessment for Natural Hazards*. Council on Disaster Risk Management (CDRM) Monograph No. 5. American Society of Civil Engineers. 7.pp.

²⁹² Rausand, M., Hoyland, A. (2004). *System reliability theory. Models, Statistical methods, and applications*. 2nd edition. A John Wiley & Sons, inc., publication. 9.pp.

²⁹³ Uijt de Haag, P.A.M., Ale, B.J.M. (2005). *Guideline for Quantitative Risk Assessment, "Purple Book" CPR18E*, National Institute of Public Health and Environment (RIVM), den Hague. Part 1: Establishments

365 dienas gadā un 24 stundas diennaktī.²⁹⁴ Individuālo risku aprēķina viena gada ilgai ekspozīcijai. Individuālo risku novērtē, izmantojot šo formulu (2.51.):

$$R_i = Q_p * Q(A_i) * f_k, \quad (2.51.)$$

kur Q_p —nosacīta traumu gūšanas varbūtība, realizējoties avārijas scenārijam;

$Q(A_i)$ —nosacīta scenārija realizācijas varbūtība, īstenojoties loģiskās shēmas zaram (notikumu koks);

f_k —varbūtība atrasties cilvēkam darba vietā (8 h dienā = 0,22; mazāk par 2 h dienā = 0,08).

Individuālā riska novērtējumam Lielbritānijā PBO rūpniecības nozarē izmanto Ešbi kritērijus, kas atspoguļo letāla iznākuma varbūtību gada griezumā. Šo kritēriju vērtības ir parādītas 2.19. tabulā.

2.19. tabula

Riska pakāpes²⁹⁵

Riska pakāpe	Letāla gadījumu varbūtība, gadā	Pieņemamības pakāpe
1	$>1*10^{-3}$	Risks nav pieņemams
2	10^{-4}	Risks pieņemams tikai īpašos gadījumos
3	10^{-5}	Nepieciešams detalizēts pieņēmuma pamatojums
4	10^{-6}	Risks ir pieņemams

Sociālais risks attiecas uz varbūtību, ka avārijas rezultātā dzīvību var zaudēt noteikts cilvēku skaits. Izvērtējot sociālo risku, nosaka, cik cilvēku var tikt pakļauti noteikta līmeņa nelabvēlīgai iedarbībai, un aprēķina potenciāli iespējamo upuru skaitu.²⁹⁶

Sociāli ekonomiskais risks R_{s-e} raksturo kopējo cilvēku bojāejas gadījumu skaitu gada laikā uz 1000 cilvēkiem. Tas ir saistīts ar nepietiekamu ekonomiskās attīstības līmeni un ar dzīves līmeni. Šis risks galvenokārt ir saistīts ar cilvēka dzīves līmeni.²⁹⁷ Skatīt (2.52.)²⁹⁸ vienādojumu.

$$R_{s-e} = \frac{A}{\sqrt[3]{L}}, \quad (2.52.)$$

kur $A = 280$;

L —cilvēka ienākumi gada laikā ASV, dolāros.

Kolektīvais risks—sagaidāmais ievainoto skaits, notiekot avārijai konkrētajā periodā.²⁹⁹

Kvantitatīvā riska analīze ir ļoti laba risku noteikšanas metode, tomēr tai ir šādi trūkumi: izveidojamo modeļu sarežģītība, datu trūkums, rezultātu nenoteiktība un augsts nepieciešamo zināšanu līmenis, lai interpretētu un piemērotu rezultātus, kā arī piepūle un izmaksas, turklāt šī metode ir laikietilpīga. QRA programmatūras izmaksas ir samērā augstas, aprēķini nav viegli pārskatāmi, un tā nav pietiekami elastīga, lai izpētītu dažādus scenārijus,

²⁹⁴ Benintendy, R. (2018). Process Safety Calculations. Elsevier, 607. pp.

²⁹⁵ Касьяненко, А.А. (2008). *Современные методы оценки рисков в экологии*. Москва: Российский университет дружбы народов. 22.стр.

²⁹⁶ Vadlīnijas rūpniecisko avāriju riska objektu izvietojuma minimālo drošības attālumu un teritorijas izmantošanas un apbūves ierobežojumu noteikšanai teritorijas plānošanas dokumentos. (2017). Rīga.3.lpp.

²⁹⁷ Козлитин, А.Н. (2006). Развитие теории и методов оценки рисков для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса. Диссертация. Уфа. стр.13.

²⁹⁸ Козлитин, А.Н. (2006). Развитие теории и методов оценки рисков для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса. Диссертация. Уфа. стр.13.

²⁹⁹ Nikitin, N. A., Ivakhnyuk, G. K. (2013). Security backbone on potentially dangerous objects oil treatment. *Научно-аналитический журнал*. Выпуск №3, стр. 27-37.

turklāt preventīvās un aizsardzības iespējas ir ierobežotas.³⁰⁰ Galvenie kvantitatīvo metožu trūkumi ir sarežģītība, daudzu pieņēmumu izmantošana (bieži atvieglo tehnoloģisko procesu) un sākotnējās informācijas nenoteiktība, kas bieži vien liek apšaubīt sasniegto rezultātu precizitāti,³⁰¹ un it īpaši izmantojot pieņemama riska kritērijus.

Dž. E. Apostolakis (*G. E. Apostolakis*) (2004), kas piedalījās kodolenerģijas rūpnīcu riska novērtējumos, publicēja rakstu „Cik noderīgs ir kvantitatīvais riska novērtējums?” (angliski—*How useful is quantitative risk assessment?*), kurā aprakstītas QRA priekšrocības, kā arī ierobežojumi un trūkumi. Raksta autors izceļ šīs priekšrocības: 1) vairāki tūkstoši scenāriju sniedz priekšstatu par iespējamām iekārtu darbības atteices režīmiem; 2) varbūtība palielina izpratni par iespējamām sarežģītām mijiedarbībām, piemēram, notikums-operators-iekārta; 3) komunikācija starp ieinteresētajām personām; 4) integrēta metode inženierzinātņu, sociālo un humanitāro zinātņu jomā; 5) nenoteiktību izsaka kvantitatīvi, un nezināmais tiek determinēts; 6) tiek veicināta riska pārvaldība. Galvenie ierobežojumi: 1) pastāv cilvēka kļūdas iespējamība; 2) sākotnēji nekonstatējamās programmatūras neveiksmes.³⁰² Raksta autors šo sarakstu veidojis no kodolreaktora drošības viedokļa, tomēr tas ir aktuāls jebkurā PBO, kur lieto bīstamas ķīmiskas vielas vai kur glabā vielas ar lielu enerģijas krājumu.

Zinātnieki T. Eivens un E. Zjo norāda uz jaunākām QRA metodēm, kas izstrādātas pēdējos gados un kas ir piemērotākas sarežģītākajām sistēmām un tehnoloģijām. Šīs jaunās metodes ietver Beijesa pārliecības tīklus, Petri tīklus un Montekarlo simulācijas rīkus.³⁰³

2.3.7. Sistēmu analīzes riska novērtēšanas metodes

Termins *sistēma* ir viens no populārākiem terminiem disciplīnu kontekstā. Pašlaik pasaulē neeksistē vienots sistēmas jēdziena skaidrojums, katra teorija izmanto citu definīciju. Šī darba ietvaros autors izmanto šādu jēdziena *sistēma* definīciju: „Sistēma—savstarpēji saistītu, atkarīgu elementu kopums; veselums, kura daļas ir savstarpēji saistītas (pēc noteiktiem likumiem, principiem) un kuram ir noteiktas funkcijas”.³⁰⁴ No sistēmas jēdziena skaidrojuma izriet, ka galvenā sistēmas īpašība ir vienotība un veselums, ko sasniedz ar noteiktām likumsakarībām, kuras atkarīgas no sistēmas elementu savstarpējās sadarbības, kā rezultātā parādās jauna, tikai sistēmas ietvaros pastāvoša īpašība. Izjaucot elementu savstarpējo sadarbību, var notikt sistēmas sabrukums. Sistēmas robežas ir abstraktas, tās ir cilvēka loģiskās domāšanas auglis. Sistēmai ir optimāla uzbūve, tas nozīmē, ka sistēmas tiek būvētas un tās funkcionē atbilstoši iepriekš noteiktiem optimāliem plāniem. Tātad sistēmas veido, lai sasniegtu konkrētus mērķus un izpildītu noteiktus uzdevumus.

Jebkuru fizisku vai abstraktu elementu kopību var aprakstīt ar sistēmu teorijas terminiem. Lai identificētu pastāvošos sistēmu veidus, autors izmanto P. Belova (*П. Белов*) sistēmu sadales principus, kas aprakstīti grāmatā „Sistēmu analīze un bīstamo procesu modelēšana”. Sistēmas klasificē atbilstoši to principiem, un pašlaik nav konkrētas sistēmu klasifikācijas pēc veida un grupas, taču parasti izmanto šādu klasifikāciju: būtība, sastāvs, sarežģītība, organizācija un mijiedarbība ar apkārtējo vidi. Atbilstoši kritērijam *būtība* visas sistēmas ir sadalītas divās grupās: fiziskās (materiālās) un abstraktās (mākslīgās). Atbilstoši

³⁰⁰ Pisman, H., Rogers, W. (2013). Bayesian networks make LOPA more effective, QRA more transparent and flexible, and thus safety more definable! *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.26, pp.434-442.

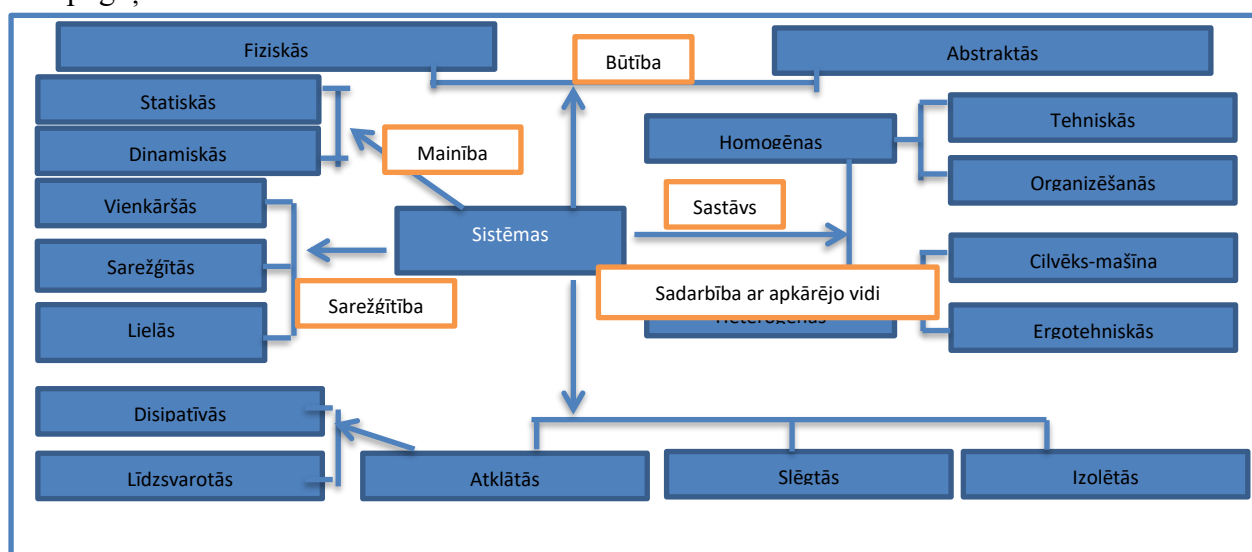
³⁰¹ Гражданкин, А.И., Лисанов, М.В., Печеркин, А.С. (2001). Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов. *Безопасность труда в промышленности*, №5, стр. 33-36.

³⁰² Apostolakis, G. E. (2004). How useful is quantitative risk assessment? *Risk Anal.* Vol. 24 (3), pp. 515–520.

³⁰³ Aven T., Zio E. (2014). Foundational issues in risk assessment and risk management. *Risky analysis*. Vol. 34 (7), pp. 1164-1172.

³⁰⁴ *Sistēma* [tiešsaiste]. Latvian Oxford Living Dictionaries [skatīts 2019. gada 2. jūnijā]. Pieejams: <https://lv.oxforddictionaries.com/skaidrojums/sistema>

kritērijam *sastāvs* pastāv homogēnas sistēmas, kas parasti ir vienvēidīgas ar ļoti vāju struktūru, un heterogēnas sistēmas, kas veidojas, apvienojot atšķirīgus elementus. Atbilstoši kritērijam *mijiedarbība ar apkārtējo vidi* (apmaiņa ar enerģiju, vielām un informāciju) visas sistēmas var iedalīt atvērtās, slēgtās un izolētās. Atvērtās sistēmas apmainās ar visiem matērijas veidiem, slēgtās – tikai ar informāciju, bet izolētās – ne ar vienu jebkāda veida matēriju. Homogēna sistēma var būt tehniska vai organizācijas sistēma, bet heterogēna – ergotehniska sistēma. Atvērtās sistēmas var būt līdzsvarotas vai disipatīvas. Sistēmai var būt trīs sarežģītības līmeņi: vienkārša, sarežģīta un ļoti sarežģīta. Pēdējais sistēmu klasifikācijas veids attiecas uz sistēmas mainību – statiska, dinamiska, pasīva vai aktīva. Dažādās sistēmās tiek izdalīti ne tikai elementi, bet arī komponenti (apakšsistēmas), kas veido viendabīgo kopumu, kur apvienoti elementi ar vienādām funkcijām un resursiem. Tātad kvalificējošus sistēmas radītājus nosaka, izmantojot sistēmu apvienojošo raksturojumu un integrālos komponentu radītājus. Sistēmu klasifikācija atbilstoši P. Belova grāmatā apkopotajiem datiem ir atspoguļota 2.20. attēlā.



2.20. att. Sistēmu klasifikācija.³⁰⁵

Sarežģītas sistēmas darbojas organizēti, bez centrālas vadības.³⁰⁶ Var būt grūti saprast šādas sistēmas loģiku un noteikt tās uzvedības modeli, kura pamatā ir komponentu mijiedarbība. Sarežģītā sistēmā eksistē objekts, kas pilda noteiktas funkcijas un ko var sadalīt elementos (komponentos), kas pilda noteiktas funkcijas un kas mijiedarbojas ar citiem elementiem.³⁰⁷

Ir svarīgi noteikt sistēmas komponentu un elementu sastāvu. Sistēmas sastāva identificēšanai darba autors izmanto V. Čerņišova (*В. Чернышов*) sistēmas sastāvu, kas aprakstīts grāmatā „Sistēmu teorija un sistēmu analīze”. Pirmā izdalītā sistēmas sastāvdaļa ir elements, kas ir sarežģīta veseluma jeb sistēmas sastāvdaļa. Sistēma sastāv no savstarpēji saistītiem elementiem. Elements ir nedalāma sistēmas daļa, kas spēj darboties patstāvīgi. Elementu veselumu var aprakstīt, izmantojot šādu formulu (2.53.):

$$A = \{a_i\}, i = 1, \dots, n, \quad (2.53.)$$

kur a_i – i -sistēmas elements;

³⁰⁵ Белов, П. Г. (2003). *Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательский центр «Академия». 17. стр.

³⁰⁶ Ottino, J. M. (2004). Engineering complex systems. *Nature*. Vol. 427(6973), pp.399-399.

³⁰⁷ Шубин, Р.А. (2012). *Надёжность технических систем и техногенный риск*. Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 23. Стр.

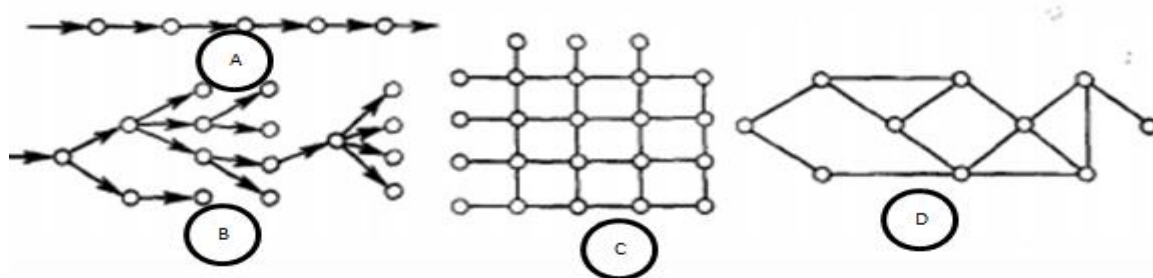
n –elementu skaits sistēmā. Katru elementu izsaka ar T –konkrētām īpašībām, Z_{i1} , Z_{im} (svars, temperatūra utt.), kas definē to konkrētā sistēmā.

Nākamā sistēmas sastāvdaļa ir sakari, kas nosaka viena elementa atkarību no citu šīs sistēmas elementu īpašībām. Lai noteiktu sakarību starp elementiem, ir jāatrod savstarpējā atkarība, ņemot vērā to īpašības.

Vēl viena sistēmas sastāvdaļa ir mijiedarbība–tas nozīmē, ka starp elementiem pastāv likumsakarības un ka tie viens uz otru iedarbojas. P. Štainbuhs (*P. Steinbuch*), analizējot sistēmu, iedala elementus, sakarus un sistēmas robežas un uzsver atšķirību starp sistēmu, apakšsistēmu un sistēmas līmeņiem.³⁰⁸ Sistēmas struktūra ir elementu sakaru kopums.³⁰⁹

Jebkurai sistēmai ir hierarhiska uzbūve, kas definē sistēmas attiecības ar apkārtējo vidi, virssistēmu un apakšsistēmām. Vienā līmenī sistēma ir elements, bet zemākajā līmenī tā var būt sistēma. Tātad sistēma var sastāvēt no apakšsistēmām, bet sistēma, kurā apvienotas vairākas sistēmas, ir virssistēma attiecībā uz zemākajām sistēmām.

PBO kā sistēmu ļoti labi var attēlot ar grafiku palīdzību. Struktūras grafiki attēloti 2.21. attēlā, kur a) lineārā struktūra; b) koka veida struktūra; c) matricas veida struktūra; d) tīkla veida struktūra. Atkarībā no ražošanā izmantotajām tehnoloģijām izvēlas tehnoloģisko iekārtu savstarpējas iedarbības struktūru. Struktūra raksturo PBO tehnoloģiskās sistēmas iespējamo organizāciju un elementu mijiedarbību. Izmantojot grafikus, ļoti labi var attēlot PBO elementa savstarpējo atkarību un vadīšanas procesu. Skatīt 2.21. attēlu.



2.21. att. Grafiku struktūras.³¹⁰

Viens no sistēmas analīzes instrumentiem, ko 21. gadsimta sākumā izveidoja N. Levesone (*N. Leveson*), ir sistēmu teorētisko procesu analīze (*STPA*). Mūsdienās sociāli tehniskās sistēmas pamatā ir attīstības procesā esošas kompleksas tehnoloģiskās, cilvēciskās un organizācijas sistēmu komponentu metodes. *STPA* veic divos posmos, un tās mērķis ir identificēt bīstamības scenārijus, kas var radīt apdraudējumu, un to izmanto, lai noteiktu drošības sistēmas ierobežojumus.³¹¹ *STPA* pamatā ir sistēmas teorētisko negadījumu modelis un procesiem (*STAMP*) izstrādātā analīzes metode. Galvenā atšķirība no *HAZOP* un *FMEA* ir tā, ka tās pamatā ir sistēmu un vadības teorijas un ka tā galvenokārt vērsta uz vertikālu vadības struktūru un atgriezenisko saiti, bet *HAZOP* un *FMEA* pamatā ir drošības teorija. Pamatojoties uz sistēmu teoriju, *STAMP* paplašina avārijas iespējamo iemeslu izpēti, tāpēc tajā var iekļaut sarežģītākus analizējamus faktorus nekā citās novērtēšanas metodēs (atteices analīze un iespējamo ķēžu analīze). Izmantojot *STPA*, var apzināt daudzus sarežģītus

³⁰⁸ Steinbuch, P. (2001). *Logistik*. Berlin:Herne Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, 18.p.

³⁰⁹ Чернышов, В. Н., Чернышов. А.В. (2008). *Теория систем и системный анализ* Тамбов: Издательство ТГТУ. 7. Стр.

³¹⁰ Перегудов, Ф. И., Тарасенко, Ф. П. (1989). *Введение в системный анализ*. Москва: Высшая школа. 84.стр.

³¹¹ Dakwat, A. L., Villan, E. (2018). System safety assessment based on STPA and model checking. *Safety Science*. Vol. 109, pp.130–143.

negadījumu iemeslus, ieskaitot noteikumu trūkumu organizācijās, projektēšanas kļūdas, cilvēka uzvedību, kā arī vairāku komponentu mijiedarbību un komponentu darbības atteici.³¹²

STPA analīzi veic vairākos posmos, kas veido vienotu sistēmu. Vispirms izvērtē abstrakcijas augstāko līmeni, kur analīzes rezultātā tiek iegūti detalizētāki dati un tiek izskatīti atsevišķi elementi. Modeļu procesos jāiekļauj informācija par esošo un nepieciešamo kontrolējamas sistēmas procesu stāvokli un nepieciešamajiem koriģēšanas mehānismiem. Šo metodi var izmantot kopā ar kvantitatīvā riska novērtēšanas metodi.³¹³

Saskaņā ar N. Levesones teoriju STAMP negadījumu analīze sastāv no deviņiem posmiem:

1. Ar zaudējumu saistītu sistēmas bīstamības risku identificēšana.
2. Drošības sistēmas prasību un ierobežojumu izveide saistībā ar apdraudējumu noteikšanu.
3. Vadības struktūras dokumentēšana, lai kontrolētu bīstamību un lai īstenotu noteiktos drošības sistēmas ierobežojumus.
4. Galveno zaudējumu izraisīto notikumu identificēšana.
5. Zaudējumu analīze fiziskās sistēmas līmenī.
6. Augstākā līmeņa kontroles struktūras analīze.
7. Vispārējo koordinācijas un komunikācijas zaudējumu izpēte.
8. Sistēmas dinamikas un sistēmas izmaiņu kontrole laika gaitā.
9. Priekšlikumu sagatavošana.³¹⁴

Par STPA metodes trūkumiem var uzskatīt to, ka tā nav pietiekami formāla un ka rezultātus ietekmē cilvēka (pētnieka) pieredze.³¹⁵ Analizējot zinātniskos literatūras avotus, var konstatēt, ka šai metodei ir daudz priekšrocību, tomēr valda uzskats, ka izmantojamās metodes un instrumenti nav piemēroti reālam pielietojumam.³¹⁶ Lai šo metodi atbilstoši novērtētu, tā jāpielieto reālā situācijā, veicot notikušu negadījumu izmeklēšanu un analizējot sniegtās informācijas precizitāti. Citi šīs metodes trūkumi: tā neņem vērā iekārtu drošības pakāpi un iespējamo darbības atteices varbūtību.³¹⁷ Vairākos pētījumos, piemēram, zinātnieka F. Belmontes (F. Belmonte) pētījumā par darbības atteices koku,³¹⁸ ir salīdzinātas sistēmas analīzes metodes ar tā dēvētās nesistēmas analīzes metodēm, un tika secināts, ka, izmantojot *nesistēmas* metodi, var ļoti labi aprakstīt iepriekš notikušus negadījumus, bet sistēmas analīzes metode nodrošina padziļinātu sistēmas dinamisko un sarežģīto uzvedību.

Funkcionālās analīzes rezonanses metode (FRAM), kuras pamatā ir sistēmas analīzes metode, arī izmanto jauno priekšstatu par sistēmas rezultātiem un funkcionālās rezonanses analīzi, kas pamatā ir fizisko viļņu teorija.³¹⁹

³¹² Thomas, J., Suo, D. (2015). STPA-based method to identify and control feature interactions in large complex systems. *Procedia Engineering*. Vol.128, pp.12 – 14.

³¹³ Meng, X., Chen, G., Shi, J., Zhu, G., Zhu, Y. (2018). STAMP-based analysis of deepwater well control safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 55, pp. 41–52.

³¹⁴ Levesons, N. (2012). *Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*. Cambridge, Mass: The MIT Press., 349. p.

³¹⁵ Dakwat, A.L., Villan, E. (2018). System safety assessment based on STPA and model checking. *Safety Science*. Vol.109, pp.130–143.

³¹⁶ Underwood, P., Waterson, P., Braithwaite, G. (2016). Accident investigation in the wild – A small-scale, field-based evaluation of the STAMP method for accident analysis. *Safety Science* Vol. 82, pp.129–143.

³¹⁷ Meng, X., Chen, G., Shi, J., Zhu, G., Zhu, Y. (2018). STAMP-based analysis of deepwater well control safety.. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 55, pp. 41–52.

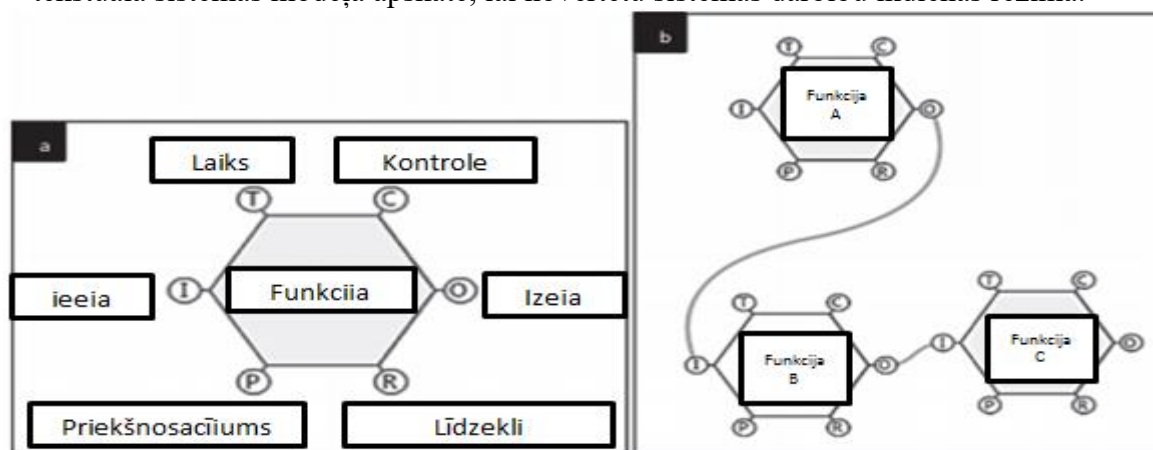
³¹⁸ Belmonte, F., Schoen, W., Heurley, L., Capel, R. (2011). Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technological systems based on the functional resonance accident model: an application to railway traffic supervision. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 96 (2), pp. 237–249.

³¹⁹ Anvarifara, F., Voorendt, M. Z., Zevenbergen, C., Thissen, W. (2017). An application of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to risk analysis of multifunctional flood defences in the Netherlands. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 158, pp. 130–141.

FRAM metode ir vērtīgs instruments ražošanas drošības sistēmas darbības novērtēšanai un darbības detalizētai izpētei.³²⁰

FRAM metode sastāv no četriem posmiem:

1. Galveno sistēmu funkciju identificēšana un novērtējums. Izvērtējamo sistēmu sadalīt funkcionālajās sastāvdaļās, ieskaitot tehnisko, operatīvo un organizatorisko daļu, kas nodrošina sistēmas ikdienas darbību. Funkcijas raksturo seši faktori: I–ieeja, O–zeja, P–sākotnējais stāvoklis, R–resursi, T–laiks un C–vadīšana. Visi šie faktori ir savstarpēji saistīti. Kopējā FRAM sistēmas analīzes uzbūve parādīta 2.22. attēlā. Funkcionālā sistēmas sadarbība starp moduļiem ir parādīta attēla b daļā. Būtībā tā ir kvalitatīvā tekstuālā sistēmas modeļa apskate, lai novērtētu sistēmas darbību ikdienas režīmā.



2.22. att. FRAM posmu grafiskais attēlojums, funkcionālu savstarpējo saistību attiecība.³²¹

2. Katras funkcijas izmaiņu iespējamības novērtējums. Šajā posmā galvenie elementi ir funkcionalitātes izmaiņu iespējamība, iemesli un rezultāti. Tiek noteikti iespējamie izmaiņu iemesli un tiek definēti izmaiņu veidi atsevišķām sastāvdaļām. Sastāvdaļu izmaiņas var būt saistītas ar pavērsieniem kādā no 6 posmiem.
3. Vairāku funkciju izmaiņu iespējamības novērtējums un izpēte. Tās ietvaros, izmantojot reālistiskus scenārijus, tiek identificētas likumsakarības, kas sekmē izmaiņas, kuras var izraisīt nelabvēlīgas sekas, atkarībā no katra procesa scenārija. Katra izskatītās sistēmas daļas organizācijas funkcionāla rezonanse uzskatāma par apdraudējuma brīdinājuma signālu.
4. Preventīvo pasākumu definēšana. Funkcionālais modelis, ko izmanto nepieciešamās stratēģijas identificēšanai, lai samazinātu un novērstu apdraudējumu un lai likvidētu iespējamās nekontrolējamas izmaiņas.

Šī metode ir samērā jauna, un tā ir jāpilnveido, it īpaši attiecībā uz vadības principiem, lai izstrādātu scenārijus un iekļautu nepieciešamās sastāvdaļas.³²² Šīs metodes galvenais trūkums ir tas, ka nevar noteikt negadījuma rašanās kvantitatīvo varbūtību. N. Levesone norāda, ka nav strikti pieņemtu zinātnisko metožu, kā noteikt precīzu vai subjektīvu informāciju, izmantojot vēsturiskos datus vai gadījumus, kad speciāli tiek pieļautas sistēmas darbības kļūdas. Zinātnieki novērtējumam parasti izmanto inženiertehniskos risinājumus, kur

³²⁰ Smith, D., Veitch, B., Khan, F., Taylor, R. (2017). Understanding industrial safety: Comparing Fault tree, Bayesian network, and FRAM approaches. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.45, pp. 88–101.

³²¹ Anvarifara, F., Voorendt, M. Z., Zevenbergen, C., Thissen, W. (2017). An application of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to risk analysis of multifunctional flood defences in the Netherlands. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 158, pp. 130–141.

³²² Anvarifara F., Voorendt M. Z., Zevenbergen C., Thissen W. (2017). An application of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to risk analysis of multifunctional flood defences in the Netherlands. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 158, pp. 130–141.

datus iegūst nenosakāmā veidā, bieži vien politisko vai netehnisko faktoru ietekmes rezultātā.³²³ Varbūtību iedala veidos: frekvenču varbūtība (modulējot variācijas) un subjektīvā varbūtība (balstīta uz zināšanām).³²⁴

Otrās daļas kopsavilkums un secinājumi

Otrajā daļā analizētas pastāvošās riska novērtēšanas pieejas (metodes) pasaulē, komponentu uzbūve un riska novērtēšanas procesa realizācija ar mērķi identificēt vājās un stiprās puses. Apskatīta novērtēšanas metodoloģija PBO, kas saistīta ar siltumstarojuma, pārspiediena, toksiskas iedarbības novērtēšanas algoritmiem, izanalizēti riska novērtēšanas metožu trūkumi un priekšrocības. Konstatēts, ka vairākas riska novērtēšanas metodes var piemērot ekonomiskajos un vides novērtēšanas ietvaros Latvijā. Kopumā vairāku metožu savienojums noteiktā secībā sniedz iespēju efektīvai metodoloģijas realizācijai un izmantošanai.

Svarīgākie otrās daļas rezultāti:

1. Aprakstīti *probit* funkcijā balstītās bīstamības novērtēšanas algoritmi, kas saistīti ar siltumstarojuma, pārspiediena, toksiskās iedarbības sekām. Secināta *probit* funkcijas izmantošanas piemērotība, kā arī identificētas un pārbaudītas *probit* funkcijas konstantes;
2. Aprakstīta PBO iekārtu nolietojuma bīstamība un secināts, ka šis faktors ietekmē kopējo objekta stāvokli un palielina bīstamības rādītājus;
3. Izpētītas dažādu veidu tehnogēnā riska novērtēšanas metodes, analizētas to priekšrocības un trūkumi;
4. Apkopota informācija par seku smaguma pakāpi cilvēkam un infrastruktūrai, apkopotas zaudējumu robežlielumu zonas PBO tehnogēnas avārijas gadījumā;
5. Uz ugunslodes efekta piemēra veikts dažādu seku novērtēšanas metožu salīdzinājums. Konstatēts, ka katra metode sniedz dažādus aprēķina rezultātus, kas būtiski ietekmē riska novērtēšanas procedūru. Rezultātā speciālisti, piemērojot dažādas *probit* funkcijas konstantes, spēj veikt variācijas ar bīstamības zonu lielumiem, samazinot vai palielinot riska līmeni PBO. Ugunslodes piemērs sniedz iespēju apskatīt PBO avārijas seku modelējumu un salīdzināt siltumstarojuma seku apjomu.

Pēc “Tehnogēnās vides avāriju zaudējumu novērtēšanas metodoloģija” daļas veiktās apskates var izdalīt sekojošus secinājumus:

1. Apskatītas vides zaudējumu novērtēšanas metodes ĀS gadījumā, kas saistītas ar pārspiedienu, siltumstarojumu, toksisku vielu iedarbību, cilvēku un infrastruktūru. Izmantojot matemātiskus modeļus, aprakstīti bīstamās ietekmes iespējamie modeļi.
2. Balstoties uz *probit* modeļa matemātiskā risinājuma izmantošanu, piedāvāts veikt varbūtības un ietekmes novērtējumu, izmantojot konkrētus pārbaudītus vienādojumus. Parādīts, ka, izmantojot *probit* vienādojuma datus, apriorās novērtēšanas ietvaros ir iespējams novērtēt avārijas sekas PBO, noteikt ietekmēto cilvēku sanitāro un letālo iznākumu varbūtību, kā arī novērtēt ar infrastruktūras bojājumiem saistīto videi radīto zaudējumu varbūtību.
3. Aprakstīta datorprogrammas *ALOHA* būtība, sasaiste ar Gausa difūzijas modeli un izvērtētas programmas iespējas aprēķināt iespējamās apdraudējuma zonas apkārtējai videi PBO avārijas gadījumā. Secināts, ka minētās programmas izmantošana ļauj būtiski samazināt faktiskā aprēķina laiku un sniedz iespēju attēlot bīstamo faktoru iedarbību kartogrāfiskā materiāla veidā

³²³ Leveson, N. (2012). *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. Cambridge: The MIT Press. pp. 320.

³²⁴ Aven T. (2013). How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. Discussion paper with G. Reniers. *Safety Science*. Vol.51(1), pp. 223–231.

4. Saskaņā ar 2. daļā apskatīto risku bīstamības seku metodēm, tās var apkopot un uz izveidot vienotu metodoloģijas algoritmu ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai PBO avārijas gadījumā.

3.EKONOMISKO UN VIDES ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE

Trešajā daļā „Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas izstrāde” ir izveidota PBO ekonomisko un vides zaudējumu metodoloģija, kā arī daļas ietvaros veikts praktiskais bīstamības, riska pakāpes ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas aprēķins. Šī daļa sastāv no divām nodaļām, kurās autors izstrādāja inovatīvu metodoloģisku algoritmu PBO ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai un aprēķināšanai. Katras daļas un nodaļas ietvaros autors ir izmantojis un analizējis gan pieejamo teoriju un problemātiku, gan arī citu valstu pieredzi. Atsevišķi autors izskatīja vidēji statistiskā cilvēka dzīvības vērtības noteikšanas pieeju, kas ir inovatīvs risinājums un sniedz iespēju novērtēt ekonomiskās sekas no iespējamajiem letāliem gadījumiem PBO avārijas gadījumā. Pamatojoties uz zinātniskās literatūras analīzi, autors piedāvā izmantot inovatīvo modeli par pamatu ekonomisko zaudējumu apmēra novērtēšanai. Piedāvātais algoritms pamatots ar vidējo ārstēšanas izmaksu novērtēšanu, kas saistītas ar dažāda veida tehnogēnas avārijas traumu ārstēšanu stacionāros.

3.1. Cilvēka veselībai nodarītā kaitējuma novērtēšanas metode

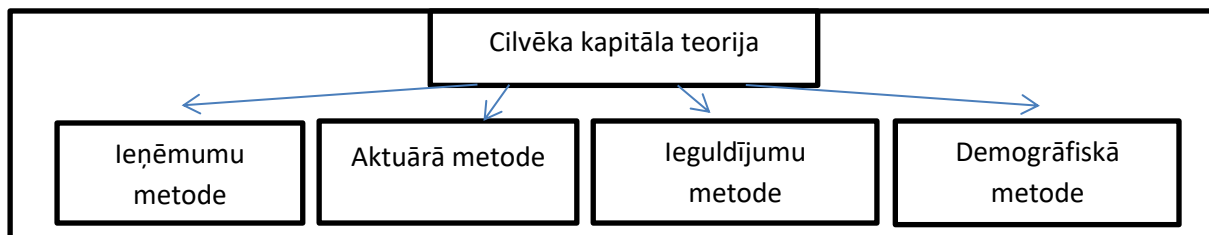
Cilvēka dzīvības vērtības novērtējums ir sarežģīta starpdisciplinārā problēma, kuras risinājums ir nepieciešams, lai pieņemtu valsts normatīvos aktus kompensāciju jomā, kā arī ģimenēm, kas nelaimes gadījuma rezultātā zaudējušas ģimenes locekli. Tas ir nepieciešams arī tam, lai izstrādātu pamatotus drošības pasākumus iedzīvotājiem un lai nodrošinātu efektīvu dzīvības apdrošināšanas un veselības aizsardzības sistēmas darbību. Novērtējot cilvēka dzīvības vērtību, var noteikt, kādu naudas summu valsts ir gatava ieguldīt, lai paaugstinātu drošību, samazinātu bīstamības faktorus un mazinātu tehnogēnās vides apdraudējumus. Pašlaik Latvijā nav vienotas cilvēka dzīvības vērtības novērtēšanas metodikas.

Ekonomisko zaudējumu, kas saistīti ar cilvēka organismu ietekmējošiem tehnogēnās vides faktoriem, novērtēšanai var izmantot vairākas metodes. Viena no pasaulē visbiežāk pielietotajām ir *cilvēka kapitāla teorija*, kur tiek izdalītas 4 galvenās metodes (skatīt 3.1. attēlā).

Ieņēmumu metode. Cilvēka dzīvības vērtība tiek noteikta atbilstoši viņa ieņēmumiem. Tās pamatā ir statistiski vidējā cilvēka dzīvības vērtība, ko novērtē pēc ieguldījumiem, kas nepieciešami, lai nodrošinātu dzīvi visā cilvēka dzīves laikā. Šo vērtību veido cilvēka izdevumi savas dzīves vajadzību nodrošināšanai un valsts izdevumi dažādos cilvēka dzīves posmos.³²⁵ Šai metodei izmanto IKP rādītāju uz vienu iedzīvotāju, un to veiksmīgi pielieto Dānijā un Vācijā, bet kopā ar citām metodēm—ASV, Austrālijā, Austrijā un Beļģijā.³²⁶

³²⁵ Shultz, T. (1968). *Human Capital*. In: Sills D. L. (ed.) *International Encyclopedia of the Social Sciences* New York: Macmillan Free Press., Vol. 2, pp.278–286.

³²⁶ Карабчук, Т., Моисеева, А., Соболева, Н. (2015). Исследование зарубежных методик и отечественных практик определения экономического ущерба, наносимого гибелью в результате ДТП. *Экономическая социология*. Т.16, № 5, стр.77–101.



3.1. att. Cilvēka dzīvības vērtības novērtēšanas metodes. (Avots: autora veidots).

Aktuārā metode novērtē cilvēka dzīvības vērtību, ņemot vērā vidējos ieņēmumus un IKP uz vienu iedzīvotāju, un to nosaka, izmantojot matemātiskas formulas un dzīvības zaudējuma varbūtību.

Ieguldījumu metode novērtē cilvēka vidējo dzīvības vērtību kā ieguldījumu summu, kas nepieciešami, lai atražotu cilvēku izdevumus par izglītību, veselības aprūpi, darbaspēka sagatavošanu un citus izdevumus.

Demogrāfiskā metode novērtē cilvēka dzīvības vērtību, pamatojoties uz materiālo labumu bilanci, kas tiek saražoti un patērēti noteiktā cilvēka vecumā. Tiek novērtēta arī vecuma grupas rentabilitāte, spēja uzkrāt līdzekļus un sagatavot materiālo pamatu nākamajām paaudzēm.

Sociāli ekonomiskajos pētījumos bieži pieminēts jēdziens ir *vidēji statistiskā cilvēka dzīvības izmaksas* jeb *dzīvības vērtība* (angliski – *value of a statistical life* jeb *VSL*).³²⁷ Statistisko dzīvības vērtību bieži izmanto, lai novērtētu nāves riska samazināšanas ieguvumus.³²⁸

Pamatojoties uz iepriekš tekstā sniegto informāciju, lai novērtētu cilvēka priekšlaicīgas nāves rezultātā radītos materiālos zaudējumus sabiedrībai un māsaimniecībām, izmanto objektīvos ekonomiskos rādītājus. Šīs metodes ietvaros dzīvības vērtību novērtē kā summāros zaudējumus IKP kontekstā saistībā ar ĀS PBO, kas izraisīja vidēji statistiskā cilvēka nāvi. Tam izmanto šādu formulu (3.1.):

$$VSV = \sum_{i=k}^n PIKP, \quad (3.1.)^{329}$$

kur VSV – vidējā statistiskā cilvēka dzīvības vērtība;

PIKP – prognozējamā vērtība IKP uz vienu iedzīvotāju *i*-gadā, pastāvīgā cenu līmenī (neskaitot inflāciju);

k – pirmais gads pēc cilvēka priekšlaicīgas nāves;

n – paredzamais dabīgas nāves iestāšanās gads, pieņemot, ka cilvēks nodzīvotu vidēji sagaidāmo dzīves ilgumu (vidēji vai atkarībā no dzimuma), kur starpība starp *n-k* ir gadu skaits, kas zaudēts letāla iznākuma rezultātā.

Pamatojoties uz (3.1.) formulu, zinot konkrēta cilvēka vecumu letāla iznākuma brīdī, ir iespējams noteikt zaudējumus sabiedrībai. Var novērtēt cilvēka dzīvības vidējo vērtību – vidējos zaudējumus sabiedrībai vidēji statistiskā cilvēka nāves gadījumā, *k* ir nākamais gads, bet lielumu *n* aprēķina, izmantojot šo (3.2.) formulu:

$$n = k + \alpha - \beta, \quad (3.2.)^{330}$$

³²⁷ *Best Practice Regulation Guidance Note Value of statistical life*. (2014). [tiešsaite]. Australian government Department of the Prime Minister and Cabinet. [skatīts 2018.gada 1.septembrī]. Pieejams: https://www.pmc.gov.au/sites/default/files/publications/Value_of_Statistical_Life_guidance_note.pdf

³²⁸ Viscusi, W. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world', *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 27(1), pp. 5-76.

³²⁹ Зубец, А.Н., Новиков, А.В., Сазанаква, А.С (2016). Оценка «стоимости» человеческой жизни с учетом морального ущерба. *Вестник Финансового университета* № 2(22), стр. 6-15.

kur α – vidēji sagaidāmais cilvēka mūža ilgums nākamajā gadā;
 β – vidējais valsts iedzīvotāju vecums nākamajā gadā.

Dati, kas nepieciešami, lai novērtētu cilvēka dzīvības vidējo vērtību, izmantojot (3.2.) formulu, sniegti 2. pielikumā. Lai novērtētu prognozējamo IKP vērtību Latvijā pēc 2018. gada, tika izmantots nosacījums, ka IKP pieaugums būs 2,5 % katru gadu, jo atbilstoši Latvijas Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datiem, kas iegūti, izmantojot *Eurostat* datus laikposmā no 2014. gada līdz 2018. gadam, tas svārstījās no 1,8 % līdz 2,5 %, un kopumā IKP ir tendence pieaugt.³³¹ Saskaņā ar 2018. gada datiem, kopējais iekšzemes kopprodukts uz vienu iedzīvotāju un uz vienu nodarbināto ir 14 704 EUR,³³² iedzīvotāju vidējais vecums ir 42,4 gadi, bet paredzamais mūža ilgums ir 74,6 gadi.

Izmantojot (3.2.) formulu, autors noteica cilvēka dzīvības vidējo vērtību Latvijā 2020. gadā, izmantojot 2018. gada statistikas datus: $n = 2020 + 74,6 - 42,4 = 2052$. Tātad novērtējums jāveic līdz 2052. gadam (detalizēts novērtējums sniegts 2. pielikumā). Var secināt, ka cilvēka dzīvības vidējā vērtība ir 774 854,3 EUR. Rezultātā konstatēts, ka apskatīto metodi var piemērot novērtējot ekonomiskos zaudējumus, kas saistīti ar letālo iznākumu PBO avārijas gadījumā.

Promocijas darba ietvaros īsumā apskatīta metode, kas ļauj novērtēt zaudējumus atkarībā no rādītāja *cilvēkdienas*, kas nepieciešamas cietušā cilvēka rehabilitācijai, lai atgrieztos darbā. Starptautiskās Darba organizācijas konvencija Nr. 102 (1952. gads) *Konvencija par sociālās nodrošināšanas minimālajām normām*³³³ paredz izmaksāt kompensācijas cilvēkiem darbaspējas, dzīvības un ienākumu zaudējuma gadījumā, ko izraisījis kāds no šiem cēloņiem: slimība, nelaimes gadījums, darba trauma, arodslimība, apgādātāja nāve, vecums un citi cēloņi. Atbilstoši Starptautiskās Darba organizācijas rekomendācijām, ar viena vidēji statistiskā cilvēka nāvi saistītie zaudējumi sabiedrībai ir 6000–7500 zaudētas cilvēkdienas, bet sabiedrībai nodarītos finansiālos zaudējumus fizisku traumu gadījumā var aprēķināt, izmantojot 3. un 4. pielikuma tabulā sniegtos datus. Lai noteiktu šo lielumu, jāsadala kopējie ienākumi valstī vienā diennaktī: valsts iedzīvotāju ienākumus (tai skaitā ienākumus no šīs valsts iedzīvotāju ekonomiskās darbības ārvalstīs)³³⁴ izdalīt ar attiecīgajā nozarē strādājošo cilvēku skaitu, neņemot vērā darbinieka izdevumus dzīves nodrošināšanai. Nacionālo kopienākumu izmanto, lai aprēķinātu ES dalībvalstu iemaksas ES pamatbudžetā. Saskaņā ar CSP darbaspēka aptaujas rezultātiem 2018. gadā Latvijā bija 909,4 tūkstoši nodarbināto jeb 64,5 % iedzīvotāju vecumā no 15 līdz 74 gadiem.³³⁵ Kopējais nacionālais kopienākums, ko aprēķina izmantojot 3. pielikumā sniegtos datus, ir 32,044 EUR uz vienu strādājošo.

³³⁰ Urbans. M., Malahova, J., Jemeljanovs.V. (2020) Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. Published by VGTU Press, pp. 195-201

³³¹ Reālais IKP pieauguma temps (2019). [tiešsaiste]. Centrālā statistiskās pārvalde [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/ekonomika/ikp/meklet-tema/399-realais-ikp-pieauguma-temps-procentos-salidzinot-ar>

³³² Iekšzemes kopprodukts pavisam, uz vienu iedzīvotāju un uz vienu nodarbināto (2019). [tiešsaiste]. Centrālās statistiskās pārvaldes datu bāze [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: https://data1.csb.gov.lv/pxweb/lv/ekfin/ekfin_ikp_IKP_ikgad/IKG10_010.px/table/tableViewLayout1/

³³³ Ронк.В.Д. (2017). Досрочные пенсии за работу во вредных условиях труда от патерналистской к страховой модели. Издательство: Проспект. 12.стр.

³³⁴ Ar ko atšķiras iekšzemes kopprodukts no nacionālā kopienākuma / nacionālā kopprodukta? (2011). [tiešsaiste]. Makroekonomika.lv [skatīts 2019. gada 3.augustā]. Pieejams: <https://www.makroekonomika.lv/ar-ko-atiskiras-iekšzemes-kopprodukts-no-nacionala-kopienakuma-nacionala-kopprodukta>

³³⁵ 2018. gadā bija nodarbināti 64,5 % Latvijas iedzīvotāju (2019). [tiešsaiste]. Centrālā statistiskās pārvalde [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/socialie-procesi/nodarbinatiba/meklet-tema/2582-nodarbinatiba-2018-gada>

Atsevišķos gadījumos var izmantot apdrošināšanas izmaksas cilvēka nāves gadījumā. Zaudējumu aprēķins, izmantojot 4. pielikuma datus par kopienākumu 2018. gadā, ir sniegts 3.1. tabulā. Var konstatēt, ka, izmantojot iepriekš tekstā apskatīto un šo metodi, zaudējumu apmērs letālā gadījumā atšķiras, jo šajā metodē kopienākumu rēķina uz visiem iedzīvotājiem vecumā no 15 līdz 74 gadiem, bet iepriekšējā metode parāda vidējā iedzīvotāja dzīvības vērtību. Šī metode sniedz novērtējumu pārsvarā par mehāniskām traumām, kas gūtas pārspiediena rezultātā. Ar letālu iznākumu un pastāvīgu invaliditāti saistītu zaudējumu aprēķinu var izmantot arī ar citām traumām saistītu zaudējumu novērtēšanai, piemēram, siltumstarojuma traumas un saindēšanās ar toksiskām vielām..

3.1. tabula

Zaudējumi paliekošas cilvēka darbaspējas zaudējuma gadījumā³³⁶

Nr.	Darbaspējas zaudēšanas iemesls	Pakāpe, %	Zaudējumi, cilvēkdienas	Zaudējumu apmērs, EUR
1.	Letāls iznākums (nāve)	100	7500	240 330
2.	Pastāvīga invaliditāte	100	8750	280 385
Daļējs zaudējums				
3.	Visas rokas zaudējums	35	2600	83 314
4.	Apakšdelma zaudējums	30	2250	72 099
5.	Plaukstas zaudējums	25	1860	59 601,84
6.	Kājas zaudējums	20	1500	48 066
7.	Acs zaudējums	15	1125	36 049,50

Datus par ekonomiskiem zaudējumiem, kas saistīti ar darbaspējīga cilvēka došanos invaliditātes pensijā, var izmantot, aprēķinot ieguldījumus, kas nepieciešami, lai samazinātu zaudējumus plānojot preventīvus pasākumus PBO. Šīs metodes galvenais trūkums ir tāds, ka apriora novērtējuma ietvaros nav iespējams paredzēt, kādas traumas cilvēks gūs avārijas rezultātā.

Ekonomisko zaudējumu novērtēšanai galvenokārt nosaka tiešās izmaksas, kas saistītas ar traumēto personu ārstēšanos stacionārā. Pie netiešām izmaksām pieder tās, kas saistītas ar darbaspējas samazinājumu, operācijām, emocionālām traumām un invaliditāti.³³⁷ Aprēķinos pārsvarā ņem vērā izplatītākos traumu veidus—vidēji smagas un vieglas traumas; atsevišķos gadījumos—arī smagus miesas bojājumus, piemēram, apdegumus. Atbilstoši likuma *Par Krimināllikuma spēkā stāšanās un piemērošanas kārtību* 3. pielikumā sniegtajai informācijai par miesas bojājumu novērtēšanu, tiek izdalīti divi galvenie bojājumu kritēriji: smagi miesas bojājumi (ietilpst arī dzīvībai bīstami miesas bojājumi), vidēji smagi un viegli miesas bojājumi.³³⁸ Vidējo un vieglo miesas bojājumu klasifikācija ir sniegta 5. pielikumā.

Traumu veids, kas rodas, siltumstarojumam iedarbojoties uz cilvēka organismu, ir apdegumi, un tos iedala ārējos, kas saistīti ar siltuma tiešu iedarbību uz cilvēka ķermeni, un iekšējos, kas rodas, ieelpojot karsto gaisu. Ir svarīgi novērtēt apdegumu rezultātā gūto traumu ekonomisko ietekmi, jo šī darba ietvaros ir aktuālas apdegumu ārstēšanas izmaksas. Smagu apdegumu sekas parasti ir nāve, saslimšana, kā arī ekonomiskās un sociālās izmaksas, kuras sedz cietušais, viņa ģimenes locekļi, veselības aizsardzības iestādes vai sabiedrība kopumā.

³³⁶ Urbans. M., Malahova, J., Jemeljanovs.V. (2020) Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. Published by VGTU Press, pp. 195-201.

³³⁷ WHO and the International Society for Burn Injuries issue new fact sheet on burns [tiešsaite]. World Health organization [skatīts 2018. gada 18. swptembrī]. Pieejams: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/other_injury/en/burns_factsheet.pdf 1-5pp.

³³⁸ *Par Krimināllikuma spēkā stāšanās un piemērošanas kārtību* (1998). LR Likums, pieņemts Rīgā 1998.gada 5.novembrī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2018. gada 20. augustā]. Pieejams: <https://likumi.lv/doc.php?id=50539>

Apdegumu aprūpe ir viens no dārgākajiem veselības aprūpes veidiem, jo ārstēšanās laikā ir ilgstoši jāuzturas slimnīcā—smagu apdegumu gadījumā parasti jāveic vairākas operācijas un nepieciešams dārgs aprīkojums, kas ļoti palielina ārstēšanās izmaksas.³³⁹ Apdegumu ārstēšanas izmaksas ir augstākas nekā daudzām citām izplatītām veselības problēmām, piemēram, insulta un AIDS gadījumā.³⁴⁰ Zinātnieks V. Patils (V. Patil) aprēķināja, ka apdegumu ārstēšanas vidējās izmaksas dienā par vienu pacientu Lielbritānijā ir 1512 USD, Francijā—934 USD, Vācijā—726 USD un Ungārijā—280,12 USD.³⁴¹ Latvijā ārstēšanās stacionārā vienai personā maksā 103 EUR diennaktī, bet ārstēšanās intensīvās terapijas klīnikā, toksikoloģijas un sepses klīnikas intensīvās terapijas palātā un tā dēvētajā insulta vienībā vienai personai maksā 401 EUR diennaktī.³⁴² Atbilstoši likumam *Par Krimināllikuma spēkā stāšanās un piemērošanas kārtību* II a pakāpes apdegumi, kas aptver vairāk nekā 20 % ķermeņa virsmas, II b un III pakāpes apdegumi, kas aptver vismaz 10 % ķermeņa virsmas, elpceļu apdegumi ar izteiktu tūsku un balss spraugas sašaurinājumu, kas radījuši dzīvībai bīstamus elpošanas traucējumus, tiek klasificēti kā dzīvībai bīstami miesas bojājumi.

3.2. tabula

Letāli iznākumi pacientiem ar dažādu apdeguma laukumu³⁴³

Rādītājs	Cilvēka ķermeņa apdeguma laukums, %				Pacientu kopskaits
	0–19	20–39	40–59	60–100	
Kopējais pacientu skaits	2519	175	71	35	2800
Mirušo pacientu skaits	42	27	34	27	130
Letāli iznākumi %	1,67	15,43	47,89	78,26	4,36

Autors traumatisma novērtēšanai un ārstēšanas izmaksu novērtēšanai piedāvā izmantot zemāk apskatīto algoritmu, kurš ir papildināts ar vairāku autoru piedāvāto informāciju par dažādu veidu traumu ārstēšanu un ilgumu. I. Sahins (I. Sahin) laikposmā no 2005. gada līdz 2008. gadam veica pētījumu Gulhane Militārās medicīnas akadēmijas apdegumu centrā Turcijā, Ankarā, aprēķinot vidējās izmaksas vidējā pacienta ar apdegumiem ārstēšanai. Pamatojoties uz pētījuma kritērijiem tika identificēti četrdesmit trīs pacienti ar smagiem apdegumiem, kuru vidējais uzturēšanās ilgums slimnīcā bija 73 ± 33 dienas, bet vidējais apdedzinātās ķermeņa virsmas laukums bija 36 ± 7 %. Kopējās vidējās izmaksas bija 15 250 USD.³⁴⁴ Tātad pacientu ar apdegumiem aprūpe ir viena no dārgākajām veselības aprūpes jomām, jo saistīta ar ilgstošu uzturēšanos slimnīcā, daudzām nepieciešamajām operācijām un dārgu, mūsdienīgu aprīkojumu. Ir svarīgi noteikt ne tikai apdeguma pakāpi, bet arī apdeguma laukumu uz cilvēka ķermeņa, jo no tā ir atkarīgs letālo gadījumu iznākums. Zinātnieks E. Žilinskis (E. Жилинский) veica pētījumu (pētījuma rezultāti sniegti 3.3. tabulā), lai noteiktu to cilvēku skaitu, kas guvuši apdegumus un kas neizveseļojas atkarībā no ķermeņa

³³⁹ Sahin, I., Ozturk, S., Alhan, D., Açıkel, C. and others (2011). Cost analysis of acute burn patients treated in a burn centre: the Gulhane experience. *Fire Disasters*. Vol. 24(1). pp. 9–13.

³⁴⁰ Lopez Bastida J., Serrano Aguilar P., Monton A. et al. (2003). The economic burden of stroke in Spain. *Value Health*. Vol. 6. pp.615–615.

³⁴¹ Patil V., Dulhunty J.M., Udy A. et al. (2010). Do burn patients cost more? The intensive care unit costs of burn patients compared with controls matched for length of stay and acuity. *J Burn Care Res*. Vol.31. pp. 598–602.

³⁴² *Maksa par ārstēšanos stacionārā un dienas stacionārā* [tiešsaiste]. Aslimnīca.lv [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: <https://www.aslimnica.lv/lv/saturs/maksa-par-arstesanos-stacionara-un-dienas-stacionara>

³⁴³ Жилинский, Г.В., Часнойть, Е.В., Алексеев, А.Ч., Дорошенко, С.А., (2014). Анализ летальности, основных прогностических факторов и осложнений среди пациентов с ожоговой травмой. №11. *Медицинские новости*. стр. 87–91.

³⁴⁴ Sahin, I., Ozturk, S., Alhan, D., Açıkel, C. and others (2011). Cost analysis of acute burn patients treated in a burn centre: the Gulhane experience. *Fire Disasters*. Vol. 24(1). pp.9–13

apdeguma laukuma.. Kombinēta ietekme, kas parasti notiek avārijas rezultātā PBO, var stipri pasliktināt apdeguma traumu prognozes.³⁴⁵

Novērtējot smaguma pakāpi, kas atkarīga no ietekmes uz veselību, zinātniece J. Īlinskaja (*Е. Ильинская*) ārstēšanās ilgumu saista ar gūtās traumas smaguma pakāpi atbilstoši sadalījumam, kas sniegts 3.3. tabulā, kur pirmie divi rādītāji atbilst likumā *Par Krimināllikuma spēkā stāšanās un piemērošanas kārtību* noteiktajiem kritērijiem.

3.3. tabula

Cilvēka traumu smaguma pakāpe³⁴⁶

Nr.	Ietekmes ilgums uz veselību, dienas	Ietekmes uz veselību smaguma pakāpe
1.	7–21	viegla
2.	21>	vidēja
3.	120>	smaga

Šī darba ietvaros izmantoti I. Sahina un E. Žilinska pētījuma dati, lai novērtētu ekonomiskās sekas cietušo ārstēšanai, t.sk. no siltumstarojuma ietekmes, ņemot vērā vidējo slimnīcā pavadīto dienu skaitu—73 dienas, un 36 % ķermeņa virsmas apdegumu. Apdegumu ārstēšanas izmaksas Latvijā ir 401 EUR diennaktī, jo tas saistīts ar cietušo aprūpi intensīvajā terapijā un ar slimības blakusefektu īpaši smagos gadījumos, piemēram, infekcijas slimībām. Kopējās ārstēšanas izmaksas vienam pacientam par 73 dienu ilgu ārstēšanu ir 29 273 EUR, kas kopumā atbilst apdegumu ārstēšanas kritērijiem pasaulē. Siltumstarojuma radīto apdegumu ietekmē par invalīdiem kļūst 1–2,3 % personu, kas guva šādu apdegumu, bet 40 % pacientu ar vidēji smagiem vai smagiem apdegumiem pēc došanās prom no slimnīcas nepieciešamas turpmākas operācijas.³⁴⁷

Toksiskās iedarbības sekas uz organismu uzskatāmas par vidēji smagu vai smagu saindēšanos, kuras gadījumā nepieciešama 2–3 nedēļu³⁴⁸ ilga ārstēšanās slimnīcā atkarībā no ķīmiskās vielas sastāva, kas nokļuva atmosfērā. Lai novērtētu sekas cilvēkiem ar vidēji smagu vai smagu saindēšanos, pieņemsim, ka vidējais hospitalizācijas ilgums ir 2 nedēļas jeb 14 dienas. Latvijā gultas vieta stacionārā maksā 103 EUR diennaktī, tātad kopējās ārstēšanās izmaksas par 14 dienām stacionārā būs 1442 EUR.

Pārspiediena rezultātā izplatītākais traumu veids ir kaulu lūzumi. Visu veidu lūzumu vidējais ārstēšanas ilgums ir 137,5 +/- 2,85 dienas, ko cilvēks pavada, atverot darbnespējas lapu, 79 +/- 2,45 dienas – ārstējoties stacionārā un 64,41 +/- 2,08 dienas – novērošanās poliklīnikā.³⁴⁹ Kopējās izmaksas par 79 dienu ilgu ārstēšanos stacionārā ir 8137 EUR. Vidējās traumu ārstēšanas izmaksas stacionārā un dienu kopskaits atkarībā no siltumstarojuma, toksisku vielu vai pārspiediena izraisītu traumu smaguma pakāpes ir sniegtas 3.4. tabulā

³⁴⁵ Brusselaers, N., Monstrey, S., Vogelaers, D., Hoste, E., Blot, S. (2010). Severe burn injury in europe: a systematic review of the incidence,etiology, morbidity, and mortality.(Research)(Report) *Critical Care*, Vol.14, pp. 188.

³⁴⁶ Ильинская, Е.Г., Исаев, Ю.С. (2008). Особенности судебно-медицинской оценки степени тяжести вредаб причинного здоровью человека в случаях термической травмы. *Судебно-медицинский журнал* No. 14, стр.45-47.

³⁴⁷ Унижаева, А.Ю., Мартыничик, С.А. (2013). Медико-экономическая оценка затрат и качества стационарной помощи при ожоговой травме. *Социальные аспекты здоровья населения* №ФС77-28654 стр.1-11.

³⁴⁸ Остапенко, Ю.Н., Дмитриев, А.В. (2008). *Медицинские аспекты ликвидации аварий, вызванных некоторыми химически опасными веществами*. Методические рекомендации №. 24. Москва 7.стр.

³⁴⁹ Попова, Л.А. (1991). *Сроки восстановительного лечения и временной нетрудоспособности больных с переломами костейконечностей при реабилитации их методом чрескостного остеосинтеза по Илизарову*. Курган 11.стр.

Apkopojums par traumu ārstēšanas izmaksām stacionārā³⁵⁰

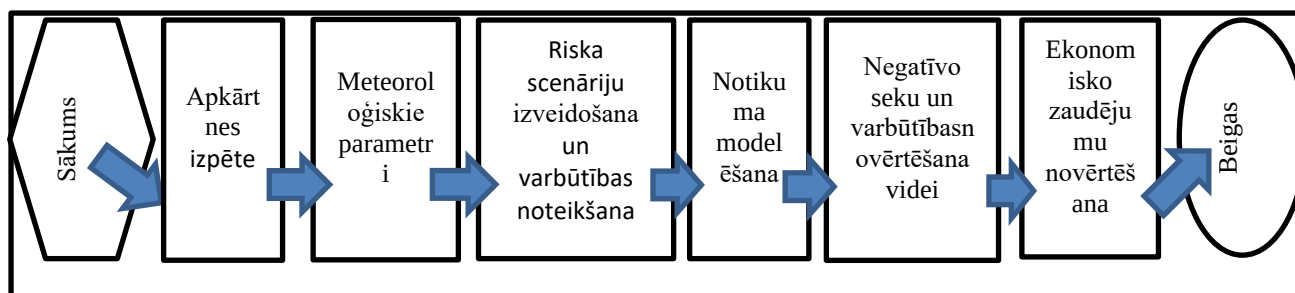
Nr.	Traumas veids	Ietekmes faktors	Stacionārā pavadāmo dienu skaits	Izmaksas par vienu dienu, EUR	Kopējās tiešās izmaksas, EUR
1.	Apdegumi	Siltumstarojums	43	401	29 273
2.	Intoksikācija	Toksiskas vielas	14	103	1442
3.	Kaulu lūzumi	Pārspiediens	79	103	8137

Kā redzams, stacionārā visdārgāk izmaksā siltumstarojuma ietekmē gūto traumu ārstēšana - 29 273 EUR, bet visilgāk norit pārspiediena iedarbības rezultātā gūto traumu ārstēšana.

3.2. Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija

Metodoloģija izstrādāta, balstoties uz kvantitatīvu bīstamības novērtēšanas metodi, identificējot iespējamo bīstamību un nosakot esošos risku līmeņus, lai pamatoti novērtētu zaudējumus videi, infrastruktūrai un iespējamās avārijas PBO, kā arī lai pieņemtu nepieciešamos vadības lēmumus, tādējādi samazinot apdraudējuma līmeni.

Kopumā piedāvātās metodes vienkāršota blokshēma parādīta 3.2. attēlā, kur apkopota katra bloka satura pamatinformācija.



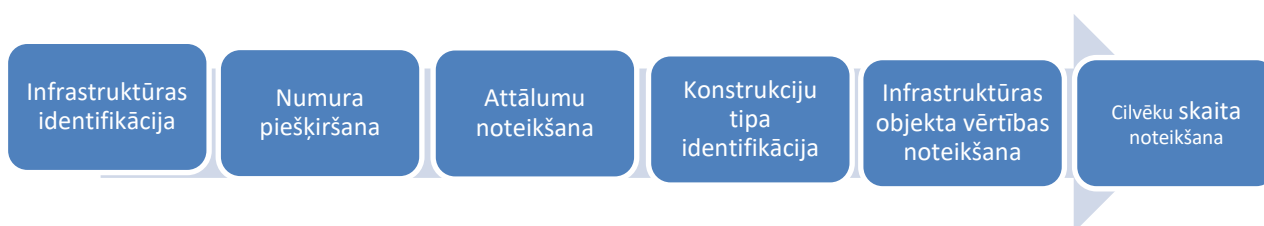
3.2. att. Vienkāršota piedāvātās metodoloģijas blokshēma. (Avots: autora veidots)

Kopumā bīstamības analīze sastāv no 6 pamatblokiem, kurus ieteicams izpildīt secīgi. Dažus blokus var samainīt vietām, tomēr, lai iegūtu labāku rezultātu, būtu jāpieturas pie loģiskas secības. Paplašināta blokshēma ar katra posma informāciju sniegta 15. pielikumā, kopējais praktiskais izpildes algoritms par reālu PBO sniegts 14. pielikumā.

Saskaņā ar 3.2. attēlā sniegto pirmo bloku vispirms jāveic PBO teritorijas un apkārtnes izpēte, lai apzinātu teritorijā esošos objektus un to attālumu no modelētā notikuma (avārijas) vietas, kā arī jānoskaidro, cik cilvēki atrodas teritorijās un telpās katrā diennakts laikā. Viens no iespējamajiem informācijas apkopošanas variantiem parādīts 3.5. tabulā, kur katrā ailē jāieraksta nepieciešamā informācija. Katram objektam jāpiešķir savs identifikācijas numurs, ko atzīmē situācijas shēmā (kartē). Skatīt 3.4. attēlu un 3.5. tabulu.

Kopējais ieteicamais 1. bloka darbību algoritms sastāv no 6 posmiem. Skatīt 3.3. attēlu.

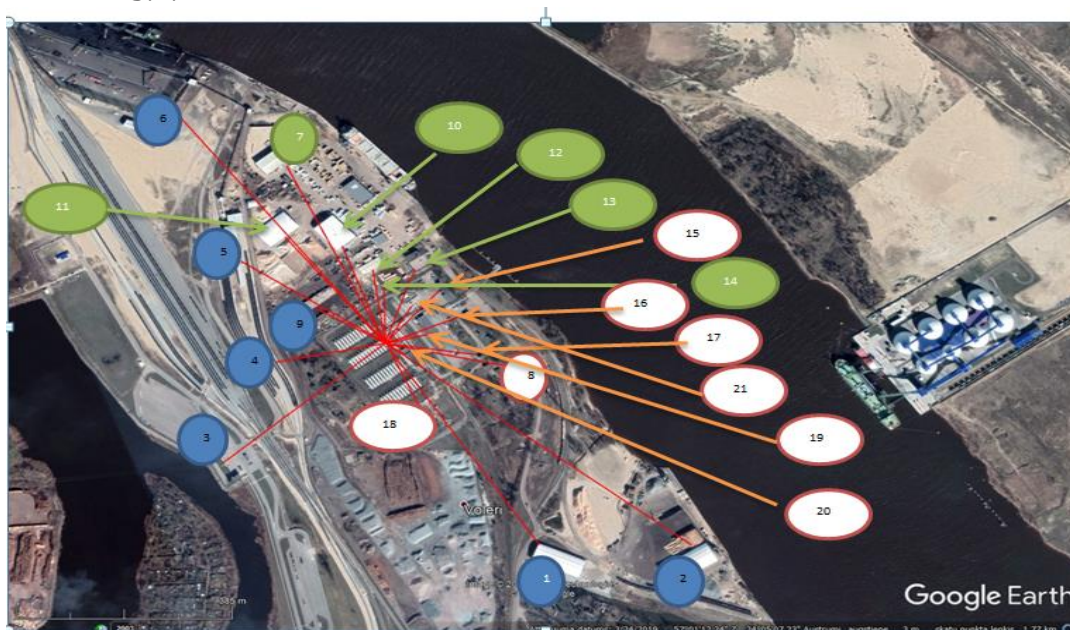
³⁵⁰ Urbans. M., Malahova, J., Jemeljanovs. V. (2020) Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. Published by VGTU Press, pp. 195-201



3.3. att. 1. bloka ieteicamais izpildīšanas algoritms. (Avots: autora veidots).

1. bloks. Atbilstoši 3.3. attēlā noteiktajam algoritmam vispirms ir jāapkopo informācija 3.5. tabulā. Sadalot infrastruktūras objektus pēc zonām, ieteicams zonas lielumu noteikt diapazonā ~50–2000 metri, kur attālums atkarīgs no galvenā bīstamības faktora un nepieciešamo datu precizitātes. Piemēram, pārspiediena, siltumstarojuma, toksisko vielu iedarbības, kā arī no avārijas vietas attāluma—jo tālāk no notikuma vietas, jo parasti ir lielāka zona.

1. zonā identificē, kāda infrastruktūra (objekti) atrodas PBO teritorijā, kāds ir attālums no modelētās notikuma vietas līdz nozīmīgajiem objektiem, piemēram, katlumājai, administrācijas ēkai, apsardzes postenim, piešķirot katram objektam savu numuru. Lai būtu vienkāršāk saprast visu objektu atrašanās vietas, visus identificētos objektus jāatzīmē uz kartes, piemēram, izmantojot *Google Earth* kartes attēlu, vai citu kartogrāfisku materiālu. Piemēru skatīt 3.4. attēlā.



3.4. att. PBO apkārtnes identifikācija un numuru piešķiršana. (Avots: autora veidots).

Pēc infrastruktūras objektu identificēšanas jāsniedz konkrētā objekta raksturojums, izmantojot speciālu kodu, piemēram R–1, kas atbilstoši 6. pielikumam identificējas atkarībā no objekta pielietojuma un konstrukcijas veida. Pēc koda piešķiršanas jānosaka potenciāli ietekmētā objekta kopējā platība, m². 6. pielikumā datus var neizmantot, ja apdraudējuma sekas ir saistītas tikai ar siltumstarojumu un toksisko vielu iedarbību, jo toksiskā iedarbība neietekmē konstrukciju stiprību.

Ja apdraudējums saistīts ar iedarbību pārspiediena rezultātā, tad atbilstoši grāmatvedības dokumentiem, jānosaka katra infrastruktūras objekta atlikusī vērtība vai kadastrālā vērtība. Kadastrālo vērtību var uzzināt tīmekļa vietnē www.kadastrs.lv, kur

informācija ir pieejama bez maksas. Atkarībā no šīs vērtības var noteikt tiešos ekonomiskos zaudējumus, kas varētu rasties, ja pārspiediena ietekmē tiktu bojātas tehnoloģiskās iekārtas, infrastruktūra vai citas tehnoloģiskās struktūras.

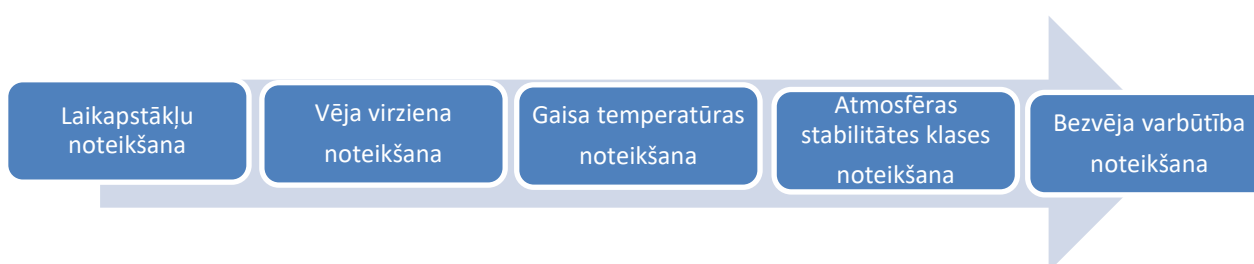
Nemot vērā informāciju par tehnoloģisko procesu, nosaka infrastruktūras objektos pastāvīgi strādājošo cilvēku skaitu atkarībā no tā, vai cilvēki strādā telpās, vai ārā. Cilvēku skaitu piesaista konkrētajam objektam. Galīgo sadalījumu zonās veic tikai pēc tam, kad ir apzināta bīstamības teritorija, kas ir atkarīga no bīstamības veida. Nepieciešamības gadījumā 3.5. tabulu pēc tam var pārstrukturēt. 2. zonā jāizmanto 1. algoritmu, kas noteikts 1. zonā, un jāapkopo informācija par tuvumā esošiem objektiem atkarībā no iespējamās bīstamās vielas PBO vai no tehnoloģijas bīstamības. Paraugs ar objektu datiem ir apkopots 9. pielikumā, bet 10. pielikumā sniegta informācija ar katras zonas apdraudējuma faktisko seku lielumu.

3.5. tabula

Modelējamās avārijas vietas apkārtnes raksturojums. (Avots: autora veidots).

Nozīmīgākie objekti avārijas vietas tuvumā:   	Numurs uz kartes	Attālums, m	Adrese	Kadastrālā vai atlikusī vērtība, EUR	Ēkas, infrastruktūras un citu būvju raksturojums	Darbinieku skaits			Siltumstarojuma zona	Pārspiediena zona				
						Kopā	Telpās	Teritorijā			Kopā			
1. zona (attālums: 0–100 m)														
1	SIA XX		50	1	X iela	11111	R-2	1000	1000	1	1	2		

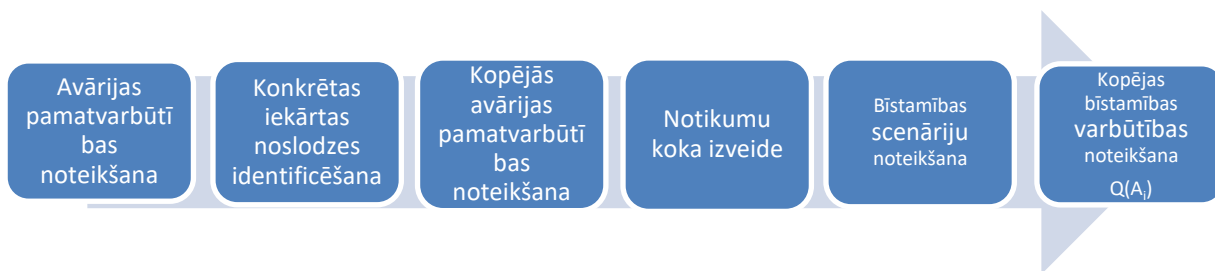
2. bloks. Saskaņā ar 3.2. attēlā sniegto uzskaitījumu, otrajā blokā nosaka meteoroloģisko informāciju, iekļaujot visnelabvēlīgākos laikapstākļus, vēja virzienu, gaisa temperatūru, atmosfēras stabilitātes klasi un bezvēja varbūtību. Šos datus var iegūt, izmantojot uzziņas avotus (piemēram, LVGMC tīmekļa vietni www.meteo.lv), un tos izmanto, modelējot avārijas scenāriju. Otrajā blokā ieteicamais izpildes algoritms parādīts 3.5. attēlā.



3.5. att. 2. bloka izpildes algoritms (meteoroloģiskā informācija). (Avots: autora veidots).

3. bloks. Saskaņā ar 3.6. attēlā sniegto uzskaitījumu, trešajā blokā identificē bīstamās vielas un to galvenos bīstamības rādītājus, kā arī veido iespējamās avārijas bīstamības scenārijus un ar notikumu koka metodi aprēķina riska varbūtību. Ja notikums saistīts ar VUŠ vai SOG, notikumu koka izveidei var izmantot 3.9. tabulā sniegtās varbūtības. Notikumu koka piemērs SOG rezervuāra pilnīga sabrukuma gadījumā sniegts 3.7. attēlā.

Ilglaicīgi ekspluatējamās PBO jānosaka arī analizējamo iekārtu nolietojumu, lai noskaidrotu, vai nepastāv paaugstināta iekārtas avārijas varbūtība. Nolietojuma pakāpe ietekmē arī iekārtas vērtību. 3.6. attēlā sniegts ieteicamais 3. bloka izpildes algoritms.



3.6. att. 3. bloka izpildes algoritms. (Avots: autora veidots).

Veidojot notikumu koku, vispirms nosaka avārijas situācijas pamatvarbūtību (apzīmē ar Q_p). Šim nolūkam var izmantot uzziņas avotos pieejamos datus vai 3.6., 3.7. un 3.8. tabulā apkopotās avārijas gadījumu pamatvarbūtības. Avārijas pamatvarbūtība ir cieši saistīta ar attiecīgās iekārtas noslodzi gada laikā. Katras iekārtas darba laiku diennaktī sareizina ar PBO darba laiku gadā (skat. (3.3.) formulu). Kopējo avārijas pamatvarbūtību nosaka, izmantojot 3.3. formulu.

Avārijas situāciju riska biežumu PBO ekspluatējot viena veida aprīkojumu 1 gada periodā, nosaka ar šo formulu (3.3.):

$$Q_p = [nQ_i - 0,5n(n-1)Q_i^2] \frac{\sum t_i}{Sti}, \quad (3.3.)$$

kur n —viena veida aprīkojuma skaits objektā;

Q_i —scenārija realizācijas varbūtība;

Sti —aprīkojuma ekspluatācijas ilgums gadā, stundas.

3.6. tabula

Tehnoloģiskā aprīkojuma bojājumu biežums³⁵¹

Aprīkojuma nosaukums	Avārijas notikums	Noplūdes cauruma diametrs, mm	Biežums, gadā ⁻¹
Sūkņi (centrbēdzes)	Pilnīgs sabrukums un šķidruma izlīšanu vai divfāžu vide	5	$4,4 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Pienākoša/izejošā cauruļvada diametrs	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Rezervuāri VUŠ uzglabāšanai, tuvu atmosfēras spiedienam	Pilnīgs sabrukums un šķidruma izlīšana aizsargvalņa ieskaustajā apgabalā.	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$
		100	$1,2 \cdot 10^{-5}$
		Pilnīgs sabrukums	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Rezervuāri ar peldošo jumtu	Ugunsgrēks pa apla atstarpi visā rezervuārā	—	$4,0 \cdot 10^{-3}$
	Ugunsgrēks visā rezervuāra platumā	—	$9,3 \cdot 10^{-4}$
Šļūteņu savienojumi ieliešanai un noliešanai	Pilnīgs sabrukums un šķidruma, gāzes noplūde	5	$1,3 \cdot 10^{-5}$
		15	$1,0 \cdot 10^{-6}$
		Pilnīgs sabrukums	$4,0 \cdot 10^{-6}$

³⁵¹ Гордиенко, Д.М., Карпов, А.В. и др. (2009). Данные о частотах возникновения пожаров и пожароопасных ситуаций в общественных зданиях различного назначения и на производственных объектах. *Пожарная безопасность: научно-технический журнал*, № 2. — стр. 42-46.

3.7. tabula

Tehnoloģisko cauruļvadu noplūdes biežums

Cauruļvada diametrs, mm	Noplūdes veids, m ⁻¹ *gads ⁻¹				
	Mazs caurums (Ø 12,5 mm)	Vidējs caurums (Ø 25 mm)	Liels caurums (Ø 50 mm)	Ļoti liels caurums (Ø 100 mm)	Plīsums
150	1,9*10 ⁻⁶	7,9*10 ⁻⁷	3,1*10 ⁻⁷	1,3*10 ⁻⁷	2,5*10 ⁻⁸
250	1,1*10 ⁻⁶	4,7*10 ⁻⁷	1,9*10 ⁻⁷	7,8*10 ⁻⁷	1,5*10 ⁻⁸

3.8. tabula

Automašīnu un dzelzceļa cisternu bojājumu biežums (statiskā stāvoklī)³⁵²

Aprīkojuma veids	Momentāna visa satura izplūde	Ilglaicīga noplūde no cisternas caurumu, kas atbilst lielākajam savienojumam	Pilnīgs ieliešanas un noliešanas savienojuma vietas plīsums	Noplūde caurumu ieliešanas un noliešanas savienojuma vietā, ja cauruma diametra 10 % ir līdz Ø 50 mm	Cietā ieliešanas un noliešanas mehānisma pilnīgs sabrukums	Noplūde caurumu cietās ieliešanas un noliešanas savienojuma vietā, ja cauruma diametra 10 % ir līdz Ø 50 mm
Cisterna ar atmosfēras spiedienu	1*10 ⁻⁵ gads ⁻¹	5*10 ⁻⁷ gads ⁻¹	4*10 ⁻⁶ st ⁻¹	4*10 ⁻⁵ st ⁻¹	3*10 ⁻⁸ st ⁻⁸	3*10 ⁻⁸ st ⁻⁷

3.9. tabula

Nosacīta tūlītējas un aizkavētas aizdegšanās varbūtība³⁵³

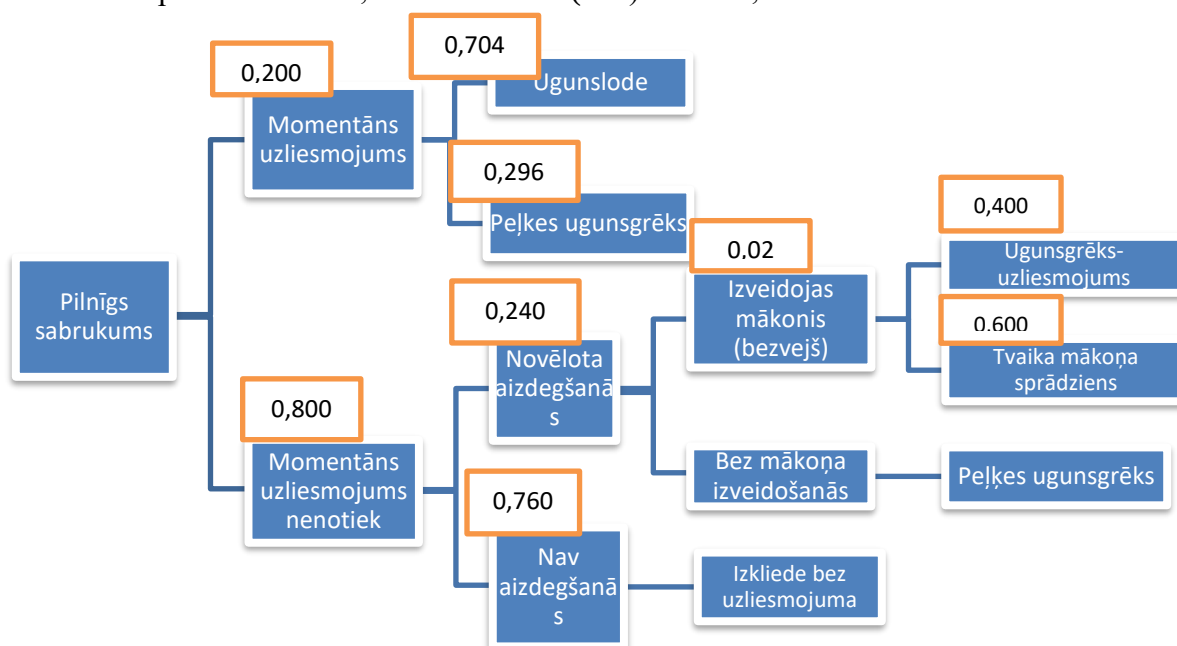
Masas noplūde, kg/s		Nosacīta tūlītējas aizdegšanās varbūtība			Nosacīta aizkavētas aizdegšanās varbūtība, ja nav tūlītējas aizdegšanās			Nosacīta sadegšanas varbūtība ar pārspiediena izveidošanos, kad izveidojas sprādzienbīstams gaisa maisījums, kas aizdegas		
Diapazons	Nominālā vidējā vērtība	Gāze	Divfāžu maisījums	Šķidrums	Gāze	Divfāžu maisījums	Šķidrums	Gāze	Divfāžu maisījums	Šķidrums
Mazs (<1)	0,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
Vidējs (1–50)	10	0,035	0,035	0,015	0,036	0,036	0,015	0,240	0,240	0,050
Liels (>50)	100	0,150	0,150	0,040	0,176	0,176	0,042	0,600	0,600	0,050
Pilnīgs sabrukums	Nav noteikts	0,200	0,200	0,050	0,240	0,240	0,061	0,600	0,600	0,100

Ja avārijas situācijas nosaka ar notikumu koku, tad jāaprēķina katra zara scenārija varbūtība (apzīmē ar Z), sareizinot uz katra zara esošās varbūtības. Kad avārijas scenāriji ir

³⁵²Хамидуллина, Е.А., Тарасова, М.Н. (2017) Оценка риска последствий аварийной разгерметизации цистерны с опасным химическим веществом на железной дороге. XXI век. Техносферная безопасность. стр. 104-118.

³⁵³Гордиенко, Д.М., Шебеко, Ю.Н. и др. (2012). Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 171. стр.

sagatavoti, tos apkopo tabulā (piemēru skatīt 3.10. tabulā). Katram scenārijam piešķir numuru un sareizina pamatvarbūtību, kas noteikta ar (3.3.) formulu, un katra zara varbūtību.



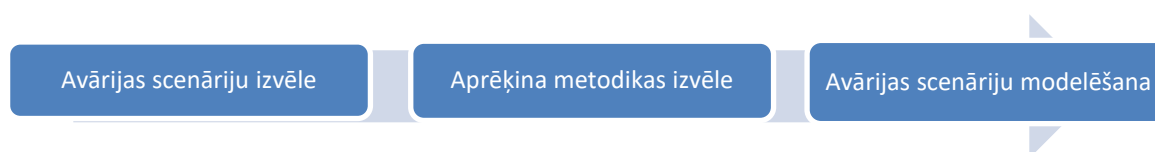
3.7. att. Avārijas situācijas notikumu koks „Pilnīgs šķidrumu zem spiediena saturoša rezervuāra sabrukums”. (Avots: autora veidots).

3.10. tabula

Avārijas situācijas scenārijs un noteiktā pamatvarbūtība. (Avots: autora veidots).

Scenārija Nr.	Avārijas scenārijs: rezervuāra sabrukums	Rezervuārs ar pārspiedienu		
		Q_p -scenārija varbūtība	Z-zara varbūtība (kopā); 1.6. attēls	$Q(A_i)$ Kopējā realizācijas varbūtība, $(P*Z)$ gads ⁻¹
C1	Ugunslode	$3,0*10^{-7}$ gads ⁻¹	0,20*0,704	$4,2*10^{-8}$

4. blokā tiek modelēts notikums ar ALOHA vai citu datorprogrammu, kas ļauj ātrāk veikt aprēķinu un noteikt apdraudējuma zonas. Šajā nolūkā var izmantot arī matemātisko modelēšanu, veicot aprēķinus ar formulām un zīmējot apdraudējuma zonas uz kartes, lai, atkarībā no ietekmes scenārija, noteiktu apdraudējuma ietekmi un ietekmes zonas apgabalu. Saskaņā ar 3.8. attēlā sniegto uzskaitījumu, ceturtajā blokā izvēlas modelējamās avārijas scenārijus, izvēlas negatīvo seku modelēšanas aprēķina metodiku, veic modelēšanu ar iepriekšnoteikto metodiku. SOG tvaika mākoņa sprādziena attālumi pārspiediena gadījumā, kas attīstās detonācijas veidā, modelējot ar ALOHA programmu parādīti 7. pielikumā. Minētā programma sniedz iespēju ar minimālu laika patēriņu vizuāli novērtēt avārijas seku apmērus, kā arī iegūtos datus izmantot bīstamības analīzei, vides un ekonomisko zaudējumu novērtēšanai.



3.8. att. 4. bloka izpildes algoritms. (Avots: autora veidots).

1. Ugunsloides siltumstarojuma aprēķins

Siltumstarojumu no izplūdušas šķidras vai izbīrušas cietas vielas var aprēķināt dažādi, piemēram, izmantojot formulu (3.4.)³⁵⁴ un (3.5.):³⁵⁵

$$q = E_f * F_q * \tau; \quad (3.4.)$$

$$q = E_p * F_v * \tau, \quad (3.5.)$$

kur E_f , E_p – liesmas siltumstarojuma vidējo virsmas blīvumu (kWt/m²) izsaka, izmantojot eksperimentālos datus;

F_q , F_v – apstarojuma virziena koeficients;

τ – atmosfēras caurlaidības koeficients.

(3.4.) un (3.5.) formulas rādītājus aprēķina, izmantojot 3.11. tabulā apkopotās formulas. Atkarībā no aprēķinātā siltumstarojuma mainās sekas uz cilvēkiem, infrastruktūras objektiem un materiāliem.

3.11. tabula

Ugunsloides siltumstarojuma aprēķina formulas. (Avots: autora veidots).

Apzīmējumi	V. Kuļikovs, I. Gavriļins: ³⁵⁶ $q = E_f * F_q * \tau$	I. Selamijs, B. Meneska, K. Četehouns, C. Izarra, R. Zidani: ³⁵⁷ $q = E_p * F_v * \tau$
1	2	3
D_s , D_{FB} – efektīvais ugunsloides diametrs, m	$D_s = 5,33 * m^{0,327} (3.6.)$	$D_{FB} = a_1 M^{b_1} (3.7.)$
t_s , t_{FB} – ugunsloides pastāvēšanas ilgums, sekundes	$t_s = 0,92 * m^{0,303} (3.8.)$	$t_{FB} = a_2 M^{b_2} (3.9)$
F_q , F_v – apstarojuma virziena koeficients; $H - H_{FB}$ – ugunsloides centra augstums; $L - r$ – attālums no ugunsloides, zemes līmenī, m	$F = \frac{\frac{H}{D_s} + 0,5}{4 * [(\frac{H}{D_s} + 0,5)^2 + (\frac{r}{D_s})^2]^{1,5}} (3.10)$	$F_v = \frac{D_{FB}^2}{4(H_{FB}^2 + L^2)} (3.11)$ $H_{FB} = 0,75 D_{FB} (3.12.)$
E_f , F_v – siltumstarojuma stiprums, kWt/m ² ; X_r – spiediens tilpnē (0,2–0,4), mPa, M – VUŠ, SOG vielas tvaika masa, kg	$E_f = 350 (3.13.)$	$E_p = \frac{x_r M \wedge H_C}{\pi D_{FB}^2 t_{FB}} (3.14.)$ $x_r = 0,27 P_0^{0,32} (3.15.)$
τ – atmosfēras caurlaidības koeficients; P_w – parciālais ūdens spiediens; R_h – relatīvs mitrums, %; T_∞ – apkārtējās vides temperatūra, K.	$\tau = \exp[-7,0 * 10^{-4} (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s)] (3.16.)$	$\tau = 2,02 [P_w ((H_{FB}^2 + L^2)^{1/2})^{-0,09}] (3.17.)$ $P_w = 1013,25 (R_h) \exp(14,4114 - \frac{5328}{T_\infty}) (3.18.)$

Daži koeficienti ugunsloides aprēķināšanai, kurus var izmantot (3.7.) un (3.9.) formulā, sniegti 3.12. tabulā.

³⁵⁴ Куликов, В.В., Гаврилин. И.И. (2014). *Огненный шар*. Екатеринбург: УрГУПС 2014. 12.стр.

³⁵⁵ Sellami, I., Manescau, B., Chetehouna, K., Izarra, C., Nait-Saida R., Zidani, F., (2018). BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 54 pp. 69–84.

³⁵⁶ Куликов, В.В., Гаврилин. И.И. *Огненный шар* Екатеринбург УрГУПС 2014. 4.стр.

³⁵⁷ Sellami, I., Manescau, B., Chetehouna, K., Izarra, C., Nait-Saida R., Zidani, F., (2018). BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 54 pp. 69–84.

Koeficienti ugunsloides aprēķināšanai³⁵⁸

Aprēķinu modelis	Ugunsloides diametrs		Ugunsloides pastāvēšanas ilgums	
	Koeficienti		Koeficienti	
	a1	b1	a2	b2
Gayle 1	3,68	0,325	0,245	0,356
Hardee	6,24	0,333	1,11	0,167
Hasegawa (2)	5,25	0,314	1,07	0,181
Maurer	3,51	0,333	0,32	0,333

2. VUŠ noplūdes (peļķes) ugunsgrēka siltumstarojuma novērtēšana

VUŠ noplūdes (peļķes) ugunsgrēka radīto siltumstarojumu aprēķina, izmantojot (3.4.) formulu. E_f -lielumu nosaka, izmantojot 3.13. tabulu. Pārējo lielumu aprēķināšanai var izmantot grāmatu *Objekta riska novērtēšana* (A. Jemelajanovs, J. Ieviņš, J. Puškina, 2007., 126. lpp.) vai citus uzzīņas avotus.

3.13. tabula

Vidējais siltuma starojuma blīvums atkarībā no avota diametra un izdegšanas ātruma³⁵⁹

Degviela	E_f kWt/m ² ; d, m					m, kg/(m ² s)
	10	20	30	40	50	
SPG (metāns)	220	180	150	130	120	0,08
SOG (propāns un butāns)	80	63	50	43	40	0,1
Benzīns	60	47	35	28	25	0,06
Dīzeļdegviela	40	32	25	21	18	0,04

3. Sprādzienbīstamības rādiusa novērtēšana

Sprādzienbīstamās zonas un iespējamā VUŠ uzliesmojuma novērtēšanai izmanto (3.19.–3.21.) formulas. Atkarībā no tā, vai noplūdes viela ir VUŠ, vai DG, izmanto atšķirīgu formulu. Sprādzienbīstamas zonas ārā veidojas tikai bezvēja apstākļos vai tad, ja vēja ātrums ir robežās 1–2 m/s. Sprādzienbīstamās zonas apgabalu nosaka pēc koncentrācijas izplatības zemākās robežvērtības. Datus par katru VUŠ vai DG var iegūt no uzzīņas avotiem, piemēram: *Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов* (Maskava, 2012., 144. lpp.). Sprādzienbīstamās zonas rādiusu un augstumu (metros) VUŠ nosaka ar (3.19.) un (3.20.) formulu. Par apdraudējuma zonas sākumu tiek uzskatīts noplūdes centrs.

$$R_{ZIKR} = 7,8 \left(\frac{M_{tv}}{p_{tv} \cdot C_{ZIKR}} \right)^{0,33}, \quad (3.19.)^{360}$$

$$Z_{ZIKR} = 0,26 \left(\frac{M_{tv}}{p_{tv} \cdot C_{ZIKR}} \right)^{0,33}, \quad (3.20.)^{361}$$

³⁵⁸ Sellami, I., Manescau, B., Chetehouna, K., Izarra, C., Nait-Saida R., Zidani, F., (2018). BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 54 pp. 69–84.

³⁵⁹ Гордиенко, Д.М., Шебеко, Ю.Н. и др. (2012). *Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов*. Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 206. стр.

³⁶⁰ Гордиенко, Д.М., Шебеко, Ю.Н. и др. (2012). *Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов*. Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 194. стр.

³⁶¹ Гордиенко, Д.М., Шебеко, Ю.Н. и др. (2012). *Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов*. Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 194.стр.

kur, M_{tv} –VUŠ tvaika masa;

P_{tv} –VUŠ tvaika blīvums noteiktā temperatūrā;

C_{ZIKR} –VUŠ tvaika liesmas zemākā koncentrācijas izplatības robežvērtība, %;

R_{ZIKR} –zonas rādiuss (metri), Z_{ZIKR} zonas augstums (metri), (Z_{IKR} – zemākā koncentrācijas izplatības robeža), ja vēja ātrums ir 1–2 m/s.

DG sprādzienbīstamas zonas rādiusu nosaka, izmantojot (3.21.) formulu.

$$R_{ZIKR} = 14,5632 \left(\frac{M_{tv}}{P_{tv} * C_{ZIKR}} \right)^{0,33}, \quad (3.21.)^{362}$$

kur, M_{tv} –DG tvaika masa;

P_{tv} –DG tvaika blīvums noteiktā temperatūrā;

C_{ZIKR} –VUŠ tvaika liesmas zemākā koncentrācijas izplatības robežvērtība, %.

Ietekmes rādiusu VUŠ vai DG degšanas gadījumā aprēķina, izmantojot (3.22.) formulu.

$$R = 1,2 * R_{ZIKR} \quad (3.22.).$$

Kad aprēķinātas iespējamās sprādzienbīstamās zonas horizontālās un vertikālās robežvērtības, nosaka pārspiediena zonas apmēru un ietekmes impulsu.

4. Pārspiediena novērtēšana

Sprādziena ietekmē veidojas trieciena gaisa vilnis, kura rezultātā veidojas pārspiediens, ΔP . Sadegot gāzes, tvaika un gaisa maisījumiem, var rasties iekārtu un infrastruktūras darbības traucējumi, var sabrukt ēkas un būves, cilvēki var gūt traumas. Šo sprādzienu sekas var aprēķināt, izmantojot (3.23.) formulu, bet ietekmes impulsu var aprēķināt ar (3.25.) formulu.

$$\Delta P = P_a * \left(0,8 * \frac{M_{pi}^{0,33}}{r} + 3 * \frac{M_{pi}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{M_{pi}}{r^3} \right), \text{ kPa} , \quad (3.23.)^{363}$$

kur P_a –atmosfēras spiediens, kPa (101 kPa);

R –attālums no ģeometriskā mākoņa centra, m;

M_{pi} –reducēta masa (VUŠ, DG); kg.

VUŠ vai DG reducēto masu var aprēķināt, izmantojot (3.24.) formulu.

$$M_{pi} = (Q_{sd}/Q_o) * m_{tv} * K_z, \quad (3.24.)^{364}$$

kur, Q_{sd} –īpatnējais sadegšanas siltums, kDž/kg;

Q_o –konstante, kas vienāda ar $4,52 * 10^3$, kDž/kg;

m_{tv} –tvaiki, kas nokļūst atmosfērā, kg;

K_z –ārtelpas koeficients 0,1.

Saspiešanas impulsu I^+ Pa*s var aprēķināt, izmantojot (3.25.) formulu.

$$I^+ = 123 M_{pi}^{0,66} / r, \text{ Pa*s}, \quad (3.25.)^{365}$$

5. Toksisko vielu izplatības un koncentrācijas novērtēšana

Gausa gaisa piesārņojuma modelis ir viens no populārākajiem matemātiskajiem modeļiem, ko izmanto, lai prognozētu piesārņojošo vielu koncentrāciju noplūdes vietā un

³⁶² Jemeljanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība. 128.lpp.

³⁶³ Jemeljanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība. 125.lpp

³⁶⁴ Jemeljanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība. 125.lpp

³⁶⁵ Ветошкин, А.Г. (2017). *Нормативное и техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности*. Часть 2. Издательство: Инфра-Инженерия. 557. стр.

vielu pārneši ar vēju, kas ietekmē gaisa kvalitāti. Izmantojot Gausa dispersijas modeli, piesārņojuma izplatību raksturo ne tikai horizontāli, bet arī vertikāli, pamatojoties uz eksperimentāliem datiem. Tieši šajā modelī tika ieviests Paskvila–Giforda horizontālā un vertikālā sadalījuma jēdziens, kas parametrizēts kā atmosfēras stabilitātes vienādojums.³⁶⁶ Atbilstoši Gausa modelim, saglabājoties atmosfēras termodinamiskajai stabilitātei, un tad, ja vēja virziens un ātrums ir nemainīgs, neitrāli peldošie piemaisījumi horizontālā un vertikālā virzienā izkliedējas neatkarīgi viens no otra, bet fizisko faktoru, kas ietekmē pārnesanu, izkliedi un nogulsšanās noteikšanai izmanto labojuma koeficientus. Galvenais dispersijas modeļu uzdevums ir paredzēt emitēto gaisu piesārņojošo vielu koncentrāciju (arī toksisko piesārņojumu), kas rodas turbulentās difūzijas rezultātā. Paskvila–Giforda modeli var izmantot piesārņojuma noteikšanai, tas ar lielu precizitāti parāda piesārņojuma koncentrāciju 10 km attālumā no piesārņojuma avota. Šo modeli izmanto arī Starptautiskā Atomenerģētikas aģentūra, to iesaka arī Starptautiskā meteoroloģijas organizācija. Dažādas šī modeļa modifikācijas ir aprakstītas normatīvajos aktos, piemēram, Starptautiskās Atomenerģētikas aģentūras (SAEA) (angliski–*International Atomic Energy Agency–IAEA*) IAEA drošības vadības dokumentā Nr. 50-SG-S3, kā arī programmatūrā „GENII”,³⁶⁷ „SILAM”,³⁶⁸ „COSIMA”,³⁶⁹ „AIDA”³⁷⁰ un „BSAVVL version 2.3 h”.

Vienādojums (3.26.)³⁷¹ Paskvila–Giforda modelim. Lai iegūtu rezultātu, vienādojumā jānorāda informācija par teritorijā esošo izmešu avotu novietojumu, augstumu, diametru, izmešanas ātrumu, emisiju apjomu, un to, vai izmešu avots atrodas pilsētā vai lauku teritorijā. Jānosaka arī atmosfēras stabilitātes klase, lai izmantotu dispersiju parametru noteikšanas formulas.

$$C(x,y,z,t) = \frac{f(a) \cdot Q}{2\pi \partial_y \partial_z U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\partial_z^2}\right) \cdot \left(\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\partial_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\partial_z^2}\right)\right), \quad (3.26.)$$

kur, $C(x,y,z)$ –bīstamas vielas koncentrācija izpētes vietā;

Q –noplūdes jauda, kg/sek.;

U –vēja ātrums, m/s;

∂_y, ∂_z –dispersijas parametri, kas atkarīgi no atmosfēras stabilitātes klases, no virziena atrašanās vietā, gaisa plūsmā x , m;

H –augstums, m;

x, y, z –ass, platums, augstums, punkta Dekarta koordinātes;

$f(a) = 1$, ja ($H < 100$ – 200 m).

Eksistē Gausa modeļi ar dažādām ∂_y, ∂_z dispersijas parametru izplatības funkcijām, piemēram, Paskvila–Brigsa modelis, Paskvila–Giforda modelis un citi modeļi. Paskvila–Brigsa modelī dispersijas parametru izplatības funkcijas ir atkarīgas no atmosfēras stabilitātes klases, kur katrai stabilitātes klasei atbilst noteikts vēja ātrums, insolācijas pakāpe dienā un mākoņu daudzums naktī. Vienādojuma (3.26.) parametri ∂_y, ∂_z palielinās atkarībā no

³⁶⁶ Šteinberga, I. (2007). *Kvazistatisku atmosfēras piesārņojuma līmeņu kompleksā analīze un modelēšana*. Promocijas darbs. Rīga: Latvijas Universitāte. Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte. 23.lpp

³⁶⁷ Napier, B.A., Peloquin, R.A., Streng, D.L., Ramsdell, J.V. (1988). *GENII-The Hanford Environmental Radiation Dosimetry Software System*. Volume 1: Conceptual Representation. Pacific Northwest Laboratory. Washington.

³⁶⁸ Sofiev, M., Siljamo, P., Valkama, I., Ilvonen, M., Kukkonen, J. (2006). A dispersion modelling system SILAM and its evaluation against ETEX data. *Atmospheric Environment* Vol. 40. pp.674–685.

³⁶⁹ Naumann, K-H. (2003). COSIMA—a computer program simulating the dynamics of fractal aerosols. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 34, Issue 10, pp.1371-1397.

³⁷⁰ Serbo, V.V. (2003). Status of AIDA and JAS 3. *Nucl.Instrum.Meth.* Vol. A502 pp.663-665.

³⁷¹ Stern, E. (2017). *Risk Assessment of Severe Accidents Involving Atmospheric Dispersion of Anhydrous and Hydrous Ammonia mixtures*. [tiešsaiste]. Presented at Ammonia World New and Old – 2017 conference Technion, Haifa, Israel 15.11.17 Pieejams: https://www.youtube.com/watch?v=p_ldUMMZVPo

attāluma uz x ass. Šo parametru palielinājums atkarīgs no turbulences intensitātes un no atmosfēras stabilitātes.

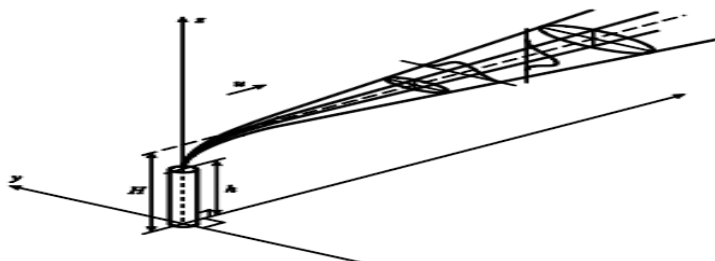
Formulas, ko Briggs³⁷² iesaka izmantot σ_y , σ_z dispersijas parametru attālumu noteikšanai no 100 m līdz 10 km, sniegtas 3.14. tabulā. Šie parametri noteikti, izmantojot teorētiskos pētījumus un reālus eksperimentus atkarībā no zemes reljefa. Tāpēc 3. tabulā dispersijas parametru σ_y , σ_z aprēķināšanas formulas atšķiras.

3.14. tabula

σ_y , σ_z dispersijas parametru izplatības funkciju aprēķina formulas³⁷³

Paskvila–Giforda stabilitātes klases	Atmosfēras stabilitāte	σ_y , m	σ_z , m
Atklāts laukums (lauku teritorijā)			
A	Ļoti nestabila	$0,22x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,2x$
B	Nestabila	$0,16x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,12x$
C	Diezgan nestabila	$0,11x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,08x(1+0,0002x)^{-1/2}$
D	Neitrāla	$0,08x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,06x(1+0,0015x)^{-1/2}$
E	Diezgan stabila	$0,06x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,03x(1+0,0003x)^{-1}$
F	Ļoti stabila	$0,04x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,016x(1+0,0003x)^{-1}$
Pilsētā			
A–B	Nestabila	$0,32x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,24x(1+0,001x)$
C	Diezgan nestabila	$0,22x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,2x$
D	Neitrāla	$0,16x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,14x(1+0,0003x)^{-1/2}$
E–F	Ļoti stabila	$0,11x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,08x(1+0,0015x)^{-1/2}$

Var izmantot nestacionāro Gausa modeli, jo norādītais mērogs ir pietiekams, lai novērtētu gaisa piesārņojumu apdzīvotā teritorijā. Gausa modelis ir iekļauts lielākajā daļā pasaules valstu standartos, to izmanto, lai noteiktu attālumu no avota un koncentrāciju. Gausa strūklu shēma ir sniegta 3.8. attēlā.



3.8. att. Gausa strūklu shēma.³⁷⁴

5. bloks. Negatīvās sekas videi un to varbūtības apzināšanās. Saskaņā ar 3.9. attēlā sniegto uzskaitījumu, piektajā blokā analizē negatīvas sekas izpausmes, t.sk. notikuma iedarbības attālumus, iedarbību uz ietekmēto vidi, izvēlas negatīvo seku modelēšanas aprēķina metodiku, veic modelēšanu ar iepriekš izvēlēto metodiku.

³⁷² Briggs, G.A., (1974). Diffusion Estimation for Small Emissions, Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories)

³⁷³ Guidelines for Chemical process Quantative Risk Analysis. (2000). American institute of chemical engineers. New-York: A John Wiley & sons, inc., publication 122. pp.

³⁷⁴ Зарипов, Ш.Х., Марданов, Р.Ф., Шарафутдинов, В.Ф., Гильфанов, А.К., Никоненкова, Т.В. (2018). Математические модели переноса загрязнений в окружающей среде, Казань: Казанский университет. 37. стр.

3.9. att. 5. bloka izpildes algoritms. (Avots: autora veidots).

Vienādojumam, ar ko var novērtēt bīstamās situācijas varbūtību, izmanto noteiktu integrāli, kas plaši pazīstams kā Gausa formula (klūdu formula), ko var izteikt kā ietekmes (zaudējumu) risku (3.27.).³⁷⁵

$$R_{iet} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (3.27.)$$

kur, R_{iet} —ietekmes (zaudējumu) risks.

Augšējā integrēšanas robeža ir sakarība starp skaitlisko kaitīgas ietekmes mērvienību, piemēram, saņemto bīstamās vielas devu, siltumenerģijas daudzumu, kas ietekmē cilvēku, un objekta ietekmes varbūtību.³⁷⁶ Izmantojot šo formulu, tiek veidotas speciālas *probit* modeļa tabulas, un, izmantojot interpolācijas metodi, var noteikt nepieciešamo lielumu. Skatīt 3.16. tabulu. Šo sasaisti nosaka, izmantojot *probit* modeli.

Mūsdienās viens no vismodernākajiem veidiem, kā novērtēt vērienīgas sekas uz cilvēkiem, materiāliem un dabas resursiem, ir *probit* vai *Erfik* modeļi.³⁷⁷ Izmantojot *probit* modeli un apkopojot datus par reģionu un potenciāli bīstamo objektu tehnoloģiskajām īpašībām, var novērtēt iespējamo ietekmi uz cilvēkiem, precīzi nodalot iespējamās sanitāros zaudējumus un letālos zaudējumus atkarībā no apdraudējuma sekām, kas ir atkarīgas no bāriskiem veidojumiem (tvaika un gāzes sprādzieniem), termiskās radiācijas (noplūdes ugunsgrēkiem, ugunslobes, strūklas ugunsgrēkiem un citiem termiskās radiācijas veidiem), mehāniskās iedarbības, sprādziena vai citas ietekmes, kuras rezultātā sabrūk konstrukcijas, vai toksiskas iedarbības, ja bīstamās vielas nokļūst cilvēka organismā. *Probit* modeļa nevienādojuma formula (3.28.), kur a un b ir katras vielas konstantes, kas raksturo bīstamības pakāpi un iedarbību. Pr ir Gausa klūdu formulas augšējā integrēšanas robežvērtība jeb *Erfik* formula, Q , ko izmanto, lai novērtētu konkrēto zaudējumu varbūtību. Parasti Q aprēķinam izmanto kādu no divām metodēm - $Q = erf(Pr)$ un *probit* modeli. Taču otrais variants ir sarežģītāks, jo jāizmanto koeficienti, kas minēti dažādos literatūras avotos: 1) $Q = erf(Pr = 0)$; 2) $Q = erf(Pr - 5)$. Dažādām bīstamām vielām Pr vienādojumā ir dažādas konstantes. *Probit* modeļa kopējā analītiskā izteiksme ir sniegta (3.28.) vienādojumā.

$$Pr = a + b \ln(D), \quad (3.28.)$$

kur a , b —konstantes;

D —negatīvas ietekmes skaitliskā vērtība, ko saņēma recipients, vai negatīvas ietekmes deva.

Toksiskās iedarbības seku aprēķināšanai izmanto *probit* modeli.

Lai noteiktu toksiskās vielas iedarbību uz cilvēkiem, *Probit* modeļa rādītājus nosaka ar (3.29.) vienādojumu.

$$Pr = a + b \ln(C_{ppm}^n \tau), \quad (3.29.)$$

³⁷⁵ Фалеев, М.И., Измалков, В.И. (2013). Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. 2 (9) том 5. стр. 4-12.

³⁷⁶ Фалеев, М.И., Измалков, В.И. (2013). Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. 2 (9) том 5. стр. 4-12.

³⁷⁷ Белов, П.Г. (2003). *Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательский центр «Академия». 282.стр

kur a , b un n – konstantes, katrai ķīmiskai vielai;

T – iedarbības ilgums, min;

C_{ppm}^n – vielas koncentrācija katrā konkrētajā vietā, ppm;

n – pakāpes rādītājs, ko, tāpat kā a un b rādītāju, nosaka ar medicīniski bioloģiskām pārbaudēm.

3.15. tabulā sniegti *probit* modeļa parametri dažādām ķīmiskām vielām pieņemot, ka toksisko ietekmi izsaka kā recipienta letālu toksisko iznākumu. Lai ar *probit* modeli pareizi noteiktu toksisko ietekmi uz iedzīvotājiem, jāņem vērā arī recipientu vecums, veselības stāvoklis un citi faktori.

3.15. tabula

Probit modeļa konstantes letāla toksiska iznākuma gadījumā (pieaugušajiem)³⁷⁸

Vielā	A	b	n
Akroleīns	–4,931	2,049	1
Amonjaks	–30,90	1,85	2
Benzols	–104,78	5,3	2
Hlors	–3,29	0,92	2
Formaldehīds	–7,24	1,3	2
Fosgēns	–14,27	3,686	1
Toluols	–1,794	0,408	2,5

Saistību starp letāla iznākuma varbūtību P un *probit* modeļa, *erfik* modeļa robežvērtību var noteikt, izmantojot tabulā sniegto Laplasa formulu un 3.16. tabulā sniegtos datus. Izmantojot *probit* modeli un ņemot vērā iedarbības devu, ilgumu, atrašanās vietu un toksiskās vielas koncentrācijas robežvērtību, iedarbību uz recipienta veselību var izteikt skaitliski. Ja ir zināma toksiskā deva un ekspozīcijas ilgums, var noteikt varbūtību (P , %) un iedarbības seku līmeni recipientiem, kas bija pakļauti toksiskajai iedarbībai.

3.16. tabula

Sakarība starp *probit* modeļa robežvērtību un varbūtību, kas izteikta procentos³⁷⁹

P %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,90	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,92	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,56	6,64	6,75	6,88	7,05	7,19
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Ja nav sasniegta letālā deva, cilvēka organisms toksiskās vielas no organisma izdala dabiskā veidā, un tas var notikt dažu stundu vai daudzu gadu desmitu laikā. Devas lielums ir atkarīgs arī no tā, cik tuvu cilvēks atrodas notikuma vietai. Vielas koncentrācijas izplatības apgabalu var attēlot kā ovālus vēja virzienā atkarībā no vēja ātruma noteiktā laika periodā un no atmosfēras stratifikācijas attiecībā pret cilvēku.

³⁷⁸ Akimov, V.A., Bykov, A.A., Vostokov, V.Yu., Dolgin, N.N. (2007). Emergency Risk Assessment Methods and Risk Standards for emergency situations. *Issues of Risk analysis*. Vol 4, pp. 369-397.

³⁷⁹ Kuzmina, M.S. (2014). Methods of predicting a probability of damnification of human and material resources *Инженерный журнал: наука и инновации*, вып. 9. стр.1-12.

Toksiskās iedarbības novērtējuma rezultātus apkopo tabulā. Piemērs sniegts 3.17. tabulā. Tabulā jānorāda katras toksiskās iedarbības zonas apgabals, ko nosaka ar 3.29. vienādojumu. Tabulā norāda arī informāciju par kopējo cilvēku skaitu katrā zonā, par uzturēšanas ilgumu un ietekmi, kas atkarīga no bīstamo vielu koncentrācijas gaisā. Izmantojot *probit* modeļa vienādojumus, var aprēķināt katras situācijas iedarbības sekas uz cilvēka organismu, taču jāņem vērā, ka pastāv lielāka varbūtība cilvēkiem gūt bīstamo vielu nelielu ietekmi nekā lielu. Letāla iznākuma varbūtību toksisku vielu iedarbības rezultātā rēķina, pieņemot, ka ekspozīcijas ilgums bija 1 stunda.

Lai prognozētu toksiskās iedarbības ietekmēto cilvēku zaudējumus $n_{m,n}$, izmanto šo formulu: (3.30.)

$$N_{m,n} = \frac{N_l \cdot \Pi_{m,n}}{100}, \quad (3.30.)^{380}$$

kur N_l – cilvēku skaits, kas atrodas noteiktā attālumā no toksisko vielu noplūdes vietas, cilvēki;

$\Pi_{m,n}$ – prognozējamo zaudējumu %, ko nosaka ar *probit* modeli.

3.17. tabula

Letāla iznākuma varbūtība cilvēkiem, kas pakļauti toksiskā mākoņa iedarbībai

	Toksiskā iedarbība, ppm vai %			Ekspozīcijas ilgums, sek.
	10	20	30	
Attālums, km				–
Cilvēku kopskaits				–
Pr.				–
Letāla iznākuma varbūtība, %				3600
Ietekmēto cilvēku skaits				–

Siltumstarojuma seku aprēķināšanai izmanto *probit* modeli. No siltumstarojuma intensitātes ir atkarīgs cilvēka ādas bojājumu apmērs. Ādas bojājumi var apdraudēt cilvēka dzīvību, jo āda ir lielākais cilvēka orgāns, kas aizņem 14–16 % no pieauguša cilvēka ķermeņa un 1,5–2,0 m² ķermeņa virsmas.³⁸¹ Cilvēka neaizsargātās ķermeņa daļas drīkst uzsilt līdz +40 °C.³⁸² Nosakot siltuma ietekmi uz cilvēka organismu galvenais kritērijs ir *deva*, kas ir atkarīga no cilvēka auguma un no PBO nelabvēlīgās ietekmes, to aprēķina ar šo formulu: (3.31.)³⁸³

$$Q = q \cdot t, \quad (3.31.)$$

kur Q – apstarojuma apmērs, Dž/m²,

q – pastāvīgas siltuma plūsmas blīvums, wt/m²;

t – iedarbības ilgums, sek.

Siltumstarojuma laikā cilvēka organisms tiek apstarots ar siltuma enerģiju, ko aprēķina, reizinot pastāvīgās siltuma plūsmas blīvumu (q), ko cilvēka āda absorbējusi

³⁸⁰ Пичахчи, А.Г. (2015). Методика прогнозирования взрывопожарной опасности газовоздушных смесей. Вестник Института гражданской защиты Донбасса. Выпуск 1 (1). стр.26-35.

³⁸¹ Закиров, А.М. (2011) Количественная оценка опасности поражения человека тепловым излучением при пожарах на химических и нефтехимических предприятиях. Диссертация. Казань: КГТУ 48.стр.

³⁸² Владимиров, В.А., Измалков, В.И., Измалков, А.В (2002). Оценка риска и управление техногенной безопасностью. Монография. Москва: Деловой экспресс, 12. стр.

³⁸³ Еналеев, Р.Ш., Теляков, Э.Ш., Чистов, Ю.С., Гасилов, В.С. (2014). Вероятностные модели термических поражений. Вестник казанского технологического университета. стр. 357-359.

attiecīgajā laika periodā (t). Siltumstarojuma kritiskā robežvērtība noteikta eksperimentos ar bioobjektiem, izsakot to ar šādu formulu: $Q_{kr} = f(t_{kr})$,³⁸⁴ ko pierādīja zinātnieks V. P. Bēnke.

ASV zinātnieku (N. A. Eisenbergs *et. al.*) 1975. gadā ierosinātā ietekmes indeksa galvenā priekšrocība ir tā, ka tas ļauj prognozēt siltuma ietekmi uz cilvēka organismu ar *probit* modeli visu iespējamo varbūtību diapazonā. Skatīt (3.32.)³⁸⁵ formulu:

$$I = q^{4/3} * t, \quad (3.32.)$$

kur, q – siltuma plūsmas blīvums, kWt/m²;

t – ekspozīcijas ilgums, sek.

Zinot siltumstarojuma intensitāti un recipienta atrašanās vietu PBO, kur tajā vai tā tuvumā notika avārija, ir iespējams novērtēt zaudējumus cilvēka veselībai. Intensīva siltumstarojuma ietekmē cilvēkam uz atsegtām un ar apģērbu aizsegtām ķermeņa daļām var veidoties I–IV pakāpes apdegumi, medicīnas enciklopēdijā to sniegtie skaidrojumi³⁸⁶ ir apkopoti 2. pielikumā. Atbilstoši apdeguma pakāpei norādīta siltumstarojuma deva, intensitāte un ilgums (sek.), kādā cilvēkam izveidotos attiecīgās pakāpes apdegumi.

Katrai termiskā apdeguma pakāpei ir noteikti specifiski *probit* modeļa koeficienti, ko izmanto, lai noteiktu apdegumu pakāpi un ietekmēto cilvēku skaita varbūtības rādītāju. *Probit* modeļa vērtības dažādām apdegumu pakāpēm ir sniegtas 3.18. tabulā. Tie ir empīriskie *probit* modeļa rādītāji, taču dažādi autori izmanto atšķirīgus *probit* modeļa rādītājus, tāpēc tos ir grūti praktiski pielietot, jo atšķiras arī aprēķina rezultāti.

3.18. tabula

Probit modeļa vērtības. (Avots: autora veidots).

Nr.	Medicīnas kritērijs	Varbūtības kritērijs, Pr	Datu avots
1.	Sāpju sliekšnis	$-8,74 + 2,99 \ln(t * q^{4/3})$; (3.33.)	Еналеев, Р.Ш. Теляков, Э.Ш.. Качалкин, В.А Чистов, Ю.С. Закиров, А.М. (2011). Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях Безопасность жизнедеятельности.—№1.—Стр. 36–41.
2.		$-8,93 + 2,99 \ln I$; (3.34.)	Stoll A. M., Greene L. C. (1959). Relationship Between Pain and Tissue Damage Due to Thermal Radiation. Journal of Applied Physiology Vol. 14, No. 3. pp. 373–382.
3.	I pakāpes apdegumi	$-9,34 + 2,99 \ln I$; (3.35.)	
4.	II pakāpes apdegumi	$-11,58 + 2,99 \ln I$ (3.36.)	
5.	III pakāpes apdegumi	$16 + 2,99 \ln I$ (3.37.)	Roberts A. F. (1981). Thermal Radiation Hazards from Releases of LPG from Pressurized Storage Fire Safety Journal. Vol. 4, No. 3. pp 197–212.
6.	Letāls iznākums	$-14,9 + 2,56 \ln I$ (3.38.)	Eisenberg N. A. (1975). Vulnerability Model A Simulation for Assessing Resulting from Marine Spills. NTIS ADAm pp.105-245.
7.		$-12,8 + 2,56 \ln I$ (3.39.)	Tsao C. K., Perry W. W. (1979). Modifications to the Vulnerability Model: A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills Report No. CG-D-38–79. pp. 64.

Pēc siltumstarojuma parametru novērtēšanas jānosaka ekspozīcijas uz cilvēku ilgums, ugunslodes gadījumā – tās pastāvēšanas ilgums. Gadījumos, kad ekspozīcijas ilgums ir zināms,

³⁸⁴ Behnke. W.P. (1984). *Predicting Flash Fire Protection of Clothing from Laboratory Tests Using Second Degree Burn to Rate Performance*. Fire and materials, Vol.8, pp. 53 – 63.

³⁸⁵ Tsao, C.K. Perry, W.W. (1979). Report № CG-D-38-79. 64 p

³⁸⁶ *Apdegums* (2012). [tiešsaite]. Medicine.lv [skatīts 2019. gada 7.jūlijā]. Pieejams: https://medicine.lv/raksti/apdegums_pme

jāņem vērā vieta, kur negadījuma brīdī atradās cilvēks, un tas, cik ilgā laikā viņš var izkļūt no apdraudējuma zonas saviem spēkiem. Siltumstarojuma novērtējuma rezultātus apkopo tabulā, kuras piemērs ir 3.19. tabula, kur katras siltumstarojuma zonas attālumu nosaka, izmantojot (3.4.) vai (3.5.) formulu. Tabulā norāda arī informāciju par kopējo cilvēku skaitu katra zonā no 1,4 līdz 37 kWt/m². Izmantojot *probit* modeļa vienādojumus, var aprēķināt katras situācijas iedarbības sekas uz cilvēka organismu, ņemot vērā, ka pastāv lielāka varbūtība cilvēkiem gūt bīstamo vielu nelielu ietekmi nekā lielu.

Cilvēku zaudējumu prognozēšanai termiskas ietekmes rezultātā $n_{m,n}$ izmanto šo formulu (3.40.):

$$N_{m,n} = \frac{N_I * \Pi_{m,n}}{100}, \quad (3.40.)^{387}$$

kur N_I – cilvēku skaits, kas atrodas noteiktā attālumā no ugunslodes uz zemes virsmas, kas atrodas zem ugunslodes (vai cita siltumstarojuma avota) centrā, cilvēks;

$\Pi_{m,n}$ – prognozējamo termisko zaudējumu apmērs, ko nosaka ar *probit* modeli, %.

Prognozējamo konkrēta apdraudējuma ietekmēto cilvēku skaitu ieraksta 3.19. tabulā.

3.19. tabula

Traumatisma varbūtība cilvēkiem, kas pakļauti ugunslodes vai cita veida siltumstarojuma ietekmei. (Avots: autora veidots).

Traumatisma varbūtība, %	Probit modeļa vērtība	Siltumstarojums, kWt/m ²							
		37	17	12,9	10,5	7	4,2	1,4	Ekspozīcijas ilgums, sek.
Attālums, m									
Cilvēku skaits									
I pakāpes apdegumi	Ietekmēto cilvēku skaits								
	Pr.								
II pakāpes apdegumi	Ietekmēto cilvēku skaits								
	Pr.								
III pakāpes apdegumi	Ietekmēto cilvēku skaits								
	Pr.								
Bojājums robežvērtība									
	Pr.								
Letāla iznākuma varbūtība	Ietekmēto cilvēku skaits								
	Pr.								

Siltumstarojumu, kas veidojas VUŠ (peļķes) ugunsgrēka rezultātā, aprēķina, izmantojot 3.4. formulu. Rādītāji ir atkarīgi no noplūdes laukuma.

Sprādziens ir ātri notiekošs fizisks vai fiziski ķīmisks process, kura laikā izdalās liels daudzums enerģijas un kas notiek īsā laika posmā. Tā rezultātā rodas pārspiediens, vibrācijas un apkārtējo vidi ietekmējošs siltumstarojums, kura iemesls bija sprādzienu izraisošās vielas

³⁸⁷ Пичахчи, А.Г. (2015). Методика прогнозирования взрывопожарной опасности газовоздушных смесей. Вестник Института гражданской защиты Донбасса. Выпуск 1 (1). стр.26-35.

strauja izplešanās.³⁸⁸ Strauju sprādzienu, kas ir spēcīgāks par standarta sprādzienu, dēvē par detonāciju. Detonācija ir otrais sliktākais iespējamais iznākums pēc aizdedzes, īpaši attiecībā uz viegli uzliesmojošiem tvaikiem. Pārspiediena ietekmē (aptuveni 20 bāru) viegli uzliesmojošu tvaiku liesmas ātrums var sasniegt aptuveni 1800 m/s.³⁸⁹ Saspiestā gaisa slāņa priekšējo robežu, ko raksturo krass spiediena pieaugums, sauc par *triecienviļņa fronti*.³⁹⁰ B. Dž. Vikema norāda, ka visbiežāk detonāciju veic ēku, sienu un konstrukciju demolēšanai,³⁹¹ un tur esošie traucēkļi rada liesmas paātrināšanai labvēlīgus apstākļus. Pamatparametri, kas raksturo triecienviļņa postošo iedarbību un kas nosaka drošu attālumu no sprādziena epicentra līdz celtnei, ir pārmērīgs spiediens uz viļņa fronti (ΔP), saspiešanās fāzes darbības ilgums (τ) vai viļņa garums (λ) un saspiešanās fāzes impulss (I).³⁹² Cilvēks šajos apstākļos gūst smagas traumas, un liela pārspiediena iedarbībā izdzīvot praktiski nav iespējams.

Letāla iznākuma varbūtība cilvēkiem pārspiediena ietekmē parādīta 3.20. tabulā. Iegūtos datus izmanto, lai apzinātu ietekmes zonas uz cilvēka organismu. Iespējamā ietekme uz brīvā laukumā esošiem neaizsargātiem cilvēkiem apkopota 3.23. tabulā.

3.20. tabula

Nosacīta letālo gadījumu varbūtība cilvēkiem sprādziena zonā³⁹³

Bojājuma zonas	Pārspiediena robežvērtība, 55 kPa	Pārspiediena robežvērtība, 14 kPa	Pārspiediena robežvērtība, 7 kPa
Letāla gadījuma varbūtība	0,5	0,01	0

Notiekot sprādzienam, lai noteiktu letāla iznākuma varbūtību tiešas pārspiediena iedarbības un spiediena impulsa gadījumā, var izmantot *probit* modeļa vienādojumus, kas apkopoti 3.21. tabulā.

3.21. tabula

Probit modeļa lielumi; pārspiediens. (Avots: autora veidots).

Nr.	Bojājumi	<i>Probit</i> modelis
1	2	3
1.	Letāla iznākuma varbūtība ³⁹⁴	$Pr = -77,1 + 6,91 * \ln(\Delta P) (1.39.)$

³⁸⁸ Куликов, В.В., Гаврилин, И.И. (2014). *Огненный шар*. Екатеринбург: УрГУПС 4. стр.

³⁸⁹ Chamberlain, G., Oran, E., Pekalski, A. (2019). Detonations in industrial vapour cloud explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol. 62, Article:103918

³⁹⁰ Jegorovs, P., Šlahovs, I., Alabins, N. (1973). *Civilā aizsardzība* Rīga. Izdevējs: Liesma. 46.lpp

³⁹¹ Wiekema, B.J.(1984) Vapour cloud explosions—an analysis based on accidents: Part II. *Journal of Hazardous materials*, Vol. 8, Issue 4, pp.313-329.

³⁹² Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). *Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģenerētajiem piesārņojumiem*. Rīga:RTU izdevniecība. 56.lpp.

³⁹³ Козлитин, А.Н. (2006). Развитие теории и методов оценки рисков для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса. *Диссертация*. Уфа. 100. стр.

³⁹⁴ Ваштиев, В.К. (2011). Оценка воздействия опасных факторов взрыва и пожара на людей. *Безопасность в техносфере*. Ижевск. Выпуск 7. стр. 72-78.

3.21. tabulas turpinājums

1	2	3
2.	Dzirdes orgānu bojājumi ³⁹⁵	$Pr = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P$ (1.40.)
3.	Pilnīgs ražošanas ēku sabrukums, ³⁹⁶ letāla iznākuma varbūtība ³⁹⁷	$Pr = 5-0,22[(\frac{40000}{\Delta P})^{7,3} + (\frac{460}{I^+})^{11,3}]$ (1.41.)
4.	Grūti restaurējami ēku bojājumi ³⁹⁸ un vidēji lieli ēku bojājumi ³⁹⁹	$Pr = 5-0,26[(\frac{17500}{\Delta P})^{8,4} + (\frac{290}{I^+})^{9,3}]$ (1.42.)
5.	Nelieli ēku bojājumi ⁴⁰⁰	$Pr = 5-0,26[(\frac{4600}{\Delta P})^{3,9} + (\frac{110}{I^+})^{5,0}]$ (1.43.)

kur ΔP —pārspiediens, Pa;

I^+ —impulss, Pa*s.

Cilvēku traumēšanas iespējamība pārspiediena rezultātā, kas atkarīga no ēku un būvju sabrukšanas pakāpes, sniegta 3.22. tabulā.

3.22. tabula

Cilvēku traumēšanas varbūtība atkarībā no ēku bojājumiem⁴⁰¹

Zaudējumi	Cilvēku traumēšanas varbūtība atkarībā no ēku bojājumiem			
	Pilnīga: 65–105 kPa	Liela: 50–65 kPa	Vidēja: 30–50 kPa	Maza: 10–30 kPa
Kopējie	1	0,6	0,2	0,05
Letālie	0,95	0,4	0,05	0
Sanitārie	0,05	0,2	0,15	0,05

Saspiešanas impulsu I^+ Pa*s var aprēķināt, izmantojot (1.23.) formulu

3.23. tabula

Neaizsargātu cilvēku traumu raksturojums atklātā vietā⁴⁰²

ΔP , kPa	Traumu pakāpe	Traumu raksturojums
1	2	3

³⁹⁵ Кузьмина, М.С. Методы прогноза вероятности причинения ущерба человеческим и материальным ресурсам [tiešsaiste]. Engjournal.ru [skatīts 2019. gada 16.augustā]. Pieejams: <http://engjournal.ru/articles/1328/html/files/assets/basic-html/page1.html>

³⁹⁶ Кузьмина, М.С. Методы прогноза вероятности причинения ущерба человеческим и материальным ресурсам [tiešsaiste]. Engjournal.ru [skatīts 2019. gada 16.augustā]. Pieejams: <http://engjournal.ru/articles/1328/html/files/assets/basic-html/page1.html>

³⁹⁷ Leksin, A. (2017). *Solution Approach for a Coherent Probabilistic Assessment of Explosion and Fire Safety for Facilities at the Chemical Process Industries*. Bergische universitat Wuppertal dissertation. 135,pp.

³⁹⁸ Тимофеева, С.С. (2015). *Методы и технологии оценки аварийных рисков*. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 57.стр.

³⁹⁹ Матрюков, Б.С. (2003). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях* Москва: Издательский центр "Академия", 27.стр.

⁴⁰⁰ Матрюков Б.С. (2003). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях* Москва: Издательский центр "Академия", 27.стр.

⁴⁰¹ Козлитин, А.М. (2005). Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска*. Международный научный сборник. 16-43 стр.

⁴⁰² Козлитин, А.М. (2005). Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска*. Международный научный сборник. 16-43 стр.

3.23. tabulas turpinājums

1	2	3
20–40	Viegla	Viegla organisma kontūzija, īslaicīgi dzirdes orgānu bojājumi, roku un kāju izmežģījumi.
40–60	Vidēja	Nopietna kontūzija, nopietni dzirdes orgānu bojājumi, asins izplūdumi no ausīm un deguna, stipri izmežģījumi un kaulu lūzumi.
60–100	Smaga	Nopietna kontūzija, iekšējo orgānu un smadzeņu bojājumi, smagi kaulu lūzumi, iespējams letāls iznākums.
>100	Ļoti smaga	Traumu rezultātā ļoti bieži iestājas nāve.

Novērtējot zaudējumus konkrētiem objektiem, kas atrodas iespējamā pārspiediena ietekmes zonā, ir jānovērtē to parametri un izturības pakāpe. Spiediena robežvērtības, kuras sasniedzot, ēka var sabrukt, apkopotas 3.24. tabulā. Ja šīs robežvērtības ir pārsniegtas, ēkas atjaunot nav lietderīgi, jo to konstrukcijas ir neatgriezeniski bojātas, un ir iespējama cilvēku masveida bojāeja. Pārspiediena izraisīto bojājumu apmēra sakarības sniegtas 8. pielikumā.

3.24. tabula

Ēku un celtnu spiediena pamata robežvērtības⁴⁰³

Nr.	Ēku un konstrukciju veids	ΔP pārspiediens, kPa
1.	Īpaši izturīgas antiseismiskās	80
2.	Ar smagu karkasu un ceļamkrānu aprīkojumu	30
3.	Ar smagu karkasu un bez ceļamkrānu aprīkojuma	25
4.	Dzelzsbetona karkasa	27
5.	Ar vieglu metālisko karkasu vai bez tā	20
6.	Ķieģeļu bez karkasa	13
7.	Ar metālisko karkasu un ar viļņoto tēraudu	10
8.	Koka celtnes	7

Lai aprēķinātu pārspiediena ietekmes iespējamo bojājumu varbūtību iekārtām un lai novērtētu ietekmes zaudējumus iekārtām, ir izstrādāts atsevišķs *probit* modelis (skatīt 3.25. tabulu).

3.25. tabula

*Probit modeļa vērtības*⁴⁰⁴

Nr.	Iekārtas veids	<i>Probit</i> modelis
1.	Iekārtas, kas izmanto atmosfēras spiedienu	$Pr = -9,36 + 1,43 \cdot \ln(\Delta P)$ (1.44.)
2.	Iekārtas, kam izmanto iekšējo pārspiedienu	$Pr = -14,44 + 1,82 \cdot \ln(\Delta P)$ (1.45.)
3.	Kolonnas veida naftas un gāzes tvertnes	$Pr = -12,22 + 1,65 \cdot \ln(\Delta P)$ (1.46.)
4.	Mazgabarīta ķīmiski tehnoloģiskas iekārtas	$Pr = -12,42 + 1,64 \cdot \ln(\Delta P)$ (1.47.)

Pārspiediena iedarbības sekas apkopo tabulā - piemērs dots 3.26. tabulā, kur norāda pārspiediena apmēru un ietekmes apgabalu katrā pārspiediena zonā un kur aprēķina pārspiediena impulsu. Tabulā norāda arī informāciju par kopējo cilvēku un iekārtu infrastruktūras objektu skaitu katra zonā no 5 līdz 200 kPa; zonas var dalīt pēc

⁴⁰³ Белов, П.Г. (1999), *Моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ. 57.стр.

⁴⁰⁴ Белов, П.Г. (2013). Автоматизированное прогнозирование риска каскадных техногенных происшествий *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. Том 3, 11(4) 13-23.стр.

nepieciešamības atkarībā no nepieciešamās precizitātes. Izmantojot *probit* modeļa vienādojumus, var aprēķināt katras situācijas iedarbības sekas uz cilvēka organismu, iekārtām, infrastruktūru, ņemot vērā, ka pastāv lielāka varbūtība cilvēkiem gūt bīstamo vielu nelielu ietekmi nekā lielu. Tabulas saturu var mainīt pēc nepieciešamības, nosakot konkrētas sekas konkrētam zaudējumu veidam.

Cilvēku zaudējumu prognozēšanai termiskās ietekmes rezultātā $n_{m,n}$ izmanto šo formulu (3.41.):

$$N_{m,n} = \frac{N_l * \Pi_{m,n}}{100}, \quad (3.41.)^{405}$$

kur N_l – cilvēku skaits, kas atrodas noteiktā attālumā no pārspiediena avota, cilvēks;

$\Pi_{m,n}$ – prognozējamo termisko zaudējumu apmērs, ko nosaka ar *probit* modeli, %.

3.26. tabula

Pārspiediena ietekmes sekas. (Avots: autora veidots).

Pārspiediens, kPa		Avārijas veids, scenārija numurs			
		200	50	30	5
Saspiešanas impulss, I^+ , Pa*s					
Attālums, m					
Cilvēku skaits zonā					
Infrastrukturā objekta skaits					
Iekārta ar pārspiedienu	Pr				
	Varbūtība				
Pilnīgs ražošanas ēku sabrukums	Pr				
	varbūtība				
Grūti restaurējami ēku bojājumi	Pr				
	varbūtība				
Cilvēka dzirdes orgānu bojājumi	Pr				
	varbūtība				
Letāls iznākums	Ietekmēto cilvēku skaits				
	Pr				
	varbūtība				

Lai prognozētu no ēku un celtnu bojājuma pakāpes atkarīgu zaudējumu apmēru, izdala 5 galvenās pakāpes, kas apkopotas literatūras avotā „*Определение экономического ущерба от аварий и стихийных бедствий на промышленных предприятиях лесного комплекса*”⁴⁰⁶ un „*Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли*”.⁴⁰⁷ Skatīt 4. pielikumu.

⁴⁰⁵ Пичахчи, А.Г. (2015). Методика прогнозирования взрывопожарной опасности газовоздушных смесей. *Вестник Института гражданской защиты Донбасса* Выпуск 1 (1) 26-35. стр.

⁴⁰⁶ Щербаков, А.С., Савельев, А.В. (2013). Определение экономического ущерба от аварий и стихийных бедствий на промышленных предприятиях лесного комплекса. *Лесной вестник*. 2/2013 126-129. стр.

⁴⁰⁷ Козлитин, А.М. (2005). Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на

Individuālā riska aprēķins

Lai novērtētu kopējo riska situāciju, ir jānosaka objekta individuālā riska līmenis. Bīstamo objektu individuālā riska datus izmanto, lai noteiktu objekta kopējā riska līmeni un apdraudējuma zonu un lai plānotu teritorijas attīstību. Veicot individuālā riska aprēķinu, analizē objekta iespējamo avāriju scenāriju kopējo varbūtību izraisīt cilvēka bojāeju, atrodoties noteiktā vietā objektā vai tā tuvumā.

Individuālais risks–darbinieku letāla iznākuma risks–ir atkarīgs no tā, cik stundas diennaktī darbinieki atrodas darba vietā, ko aprēķina ar šo formulu (3.42.):

$$R_i = Q_p * Q(A_i) * f_k, \quad (3.42.)$$

kur Q_p –nosacīta traumu gūšanas varbūtība, realizējoties avārijas scenārijam;

$Q(A_i)$ –nosacīta scenārija realizācijas varbūtība, īstenojoties loģiskās shēmas zaram (notikumu koks);

f_k –varbūtība cilvēkam atrasties darba vietā (8 h dienā = 0,22; mazāk par 2 h dienā = 0,08).

Cilvēka individuālo risku aprēķina tikai sliktākajiem notikumu scenārijiem. Iespējamo riska novērtējuma tabulas piemēru skatīt 3.27. tabulā.

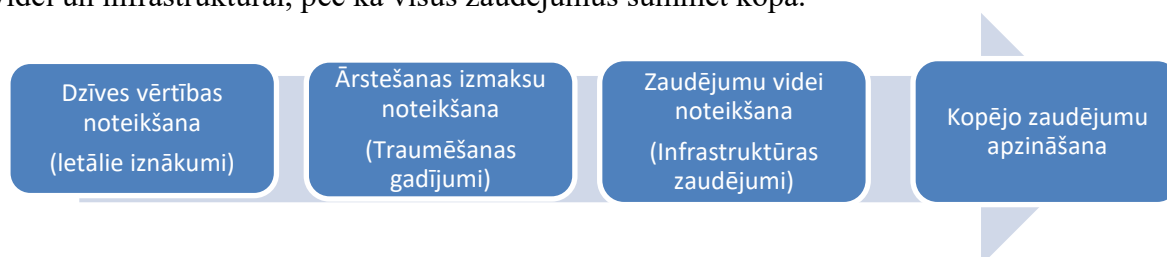
3.27. tabula

Individuālā riska aprēķins. (Avots: autora veidots).

Scenārija Nr.	Attālums, m	kPa	kWt/m ²	Q(A _i)	Q _p	f _k	Individuālais risks, R _i
							Kopējā varbūtība
C1							
C2 _{n+i}							

4. bloks. Ekonomisko zaudējumu novērtēšana.

Saskaņā ar 3.10. attēlā sniegto uzskaitījumu sestajā blokā analizē ekonomiskās sekas, kas pamatotas ar iepriekšējos blokos izanalizētu informāciju par avārijas sekām, to varbūtību utt. Nepieciešams aprēķināt vidēji statistiskā cilvēka vērtību, ārstēšanas izmaksas, zaudējumus videi un infrastruktūrai, pēc kā visus zaudējumus summēt kopā.



3.10. att. 6. bloka izpildes algoritms. (Avots: autora veidots).

Sociāli ekonomiskajos pētījumos bieži pieminēts jēdziens *vidēji statistiskā cilvēka dzīvības izmaksas* jeb *dzīvības vērtība* (angliski–*value of a statistical life* jeb VSL).⁴⁰⁸

предприятиях нефтегазовой отрасли. Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска. Международный научный сборник. 16-43 стр.

⁴⁰⁸ Best Practice Regulation Guidance Note Value of statistical life. (2014). [tiešsaiste]. Australian Government. Department of the Prime Minister and Cabinet. December 2014 [skatīts 2019. gada 5. oktobrī]. Pieejams: https://www.pmc.gov.au/sites/default/files/publications/Value_of_Statistical_Life_guidance_note.pdf

Statistisko dzīvības vērtību bieži izmanto, lai novērtētu nāves riska samazināšanas ieguvumus.⁴⁰⁹

Pamatojoties uz iepriekš tekstā sniegto informāciju, lai novērtētu cilvēka priekšlaicīgas nāves rezultātā radītos materiālos zaudējumus sabiedrībai un mājsaimniecībām, izmanto objektīvos ekonomiskos rādītājus. Šīs metodes ietvaros dzīvības vērtību novērtē kā summāros zaudējumus IKP kontekstā saistībā ar ĀS PBO, kas izraisīja vidēji statistiskā cilvēka nāvi. Tam izmanto šo formulu (3.43.):

$$VSV = \sum_{i=k}^n PIKP, \quad (3.43.)^{410}$$

kur VSV–vidējā statistiskā cilvēka dzīvības vērtība;

PIKP–prognozējamā vērtība IKP uz vienu iedzīvotāju i-gadā, pastāvīgā cenu līmenī (neskaitot inflāciju);

k–pirmais gads pēc cilvēka priekšlaicīgas nāves;

n–paredzamais dabīgas nāves iestāšanās gads, pieņemot, ka cilvēks nodzīvotu vidēji sagaidāmo dzīves ilgumu (vidēji vai atkarībā no dzimuma), kur starpība starp n-k ir gadu skaits, kas zaudēts, letāla iznākuma rezultātā.

Pamatojoties uz (3.43.) formulu un zinot konkrēta cilvēka vecumu letāla iznākuma brīdī, ir iespējams noteikt zaudējumus sabiedrībai. Var novērtēt cilvēka dzīvības vidējo vērtību–vidējos zaudējumus sabiedrībai vidēji statistiskā cilvēka nāves gadījumā. k ir nākamais gads, bet lielumu n aprēķina ar šo (3.44.) formulu:

$$n = k + \alpha - \beta, \quad (3.44.)$$

kur α –vidēji sagaidāmais cilvēka mūža ilgums nākamajā gadā;

β –vidējais valsts iedzīvotāju vecums nākamajā gadā.

Dati, kas nepieciešami, lai novērtētu cilvēka dzīvības vidējo vērtību ar (3.43.) formulu, sniegti 3.28. tabulā. Lai novērtētu prognozējamo IKP vērtību Latvijā pēc 2018. gada, tika izmantots nosacījums, ka IKP pieaugums būs 2,5 % katru gadu, jo atbilstoši Latvijas Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datiem, kas iegūti, izmantojot Eurostat datus laikposmā no 2014. gada līdz 2018. gadam, tas svārstījās no 1,8 % līdz 2,5 %, un kopumā IKP ir tendence pieaugt.⁴¹¹ Saskaņā ar 2018. gada datiem kopējais iekšzemes kopprodukts uz vienu iedzīvotāju un uz vienu nodarbināto ir 14 704 EUR,⁴¹² iedzīvotāju vidējais vecums ir 42,4 gadi, bet paredzamais mūža ilgums ir 74,6 gadi.

Izmantojot (3.44.) formulu, noteikta cilvēka dzīvības vidējā vērtība Latvijā 2020. gadā, izmantojot 2018. gada statistikas datus: $n = 2020 + 74,6 - 42,4 = 2052$. Tātad novērtējums jāveic līdz 2052. gadam. Detalizētu novērtējumu apkopo tabulā, kur jāaprēķina izmaiņas katru gadu. Pēc tam saskaita visu gadu cilvēka dzīvības vidējo vērtību.

⁴⁰⁹ Viscusi, W. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world, *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 27(1), pp. 5-76.

⁴¹⁰ Зубец, А.Н., Новиков А.В., Сазанаква А.С. (2016). Оценка «стоимости» человеческой жизни с учетом морального ущерба. *Вестник Финансового университета* № 2(22)/2016. 6-15.стр.

⁴¹¹ Reālais IKP pieauguma temps, procentos, salīdzinot ar iepriekšējo gadu (2018). [tiešsaiste]. *Centrālās statistikās pārvalde*. [skatīts 2018. gada 11. septembrī]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/ekonomika/ikp/meklet-tema/399-realais-ikp-pieauguma-temps-procentos-salidzinot-ar>

⁴¹² Ekonomika un finanses >> Iekšzemes kopprodukts (EKS 2010) >> IKP >> Gada dati >> IKG10_010. (2019). [tiešsaiste]. *Centrālās statistikās pārvaldes datu bāze*. [skatīts 2019. gada 15. septembrī]. Pieejams: https://data1.csb.gov.lv/pxweb/lv/ekfin/ekfin__ikp__IKP__ikgad/IKG10_010.px/table/tableViewLayout1/

3.28. tabula

Vidējā IKP novērtējums Latvijā, ņemot vērā cenu līmeni 2018. gadā. (Avots: autora veidots).

Gads	IKP vērtība, EUR	2,5 %
2018.	14 704	367,6
2019.	15 071,6	376,79

Lai aprēķinātu vidējos ekonomiskos zaudējumus traumu rezultātā, nosaka vidējo stacionārā pavadīto laiku, un sareizina to ar ārstēšanās izmaksām slimnīcā par katru tur pavadīto dienu. Prognozētās izmaksas atkarībā no traumas veida 01.01.2019. norādītas 3.29. tabulā.

3.29. tabula

Apkopojums par traumu ārstēšanas izmaksām stacionārā. (Avots: autora veidots).

Nr.	Traumas veids	Ietekmes faktors	Stacionārā pavadītais ārstēšanās ilgums, dienas	Izmaksas par vienu dienu, EUR	Kopējās tiešās izmaksas, EUR
1.	Apdegumi	Siltumstarojums	43	401	29 273
2.	Intoksikācija	Toksiskās vielas	14	103	1442
3.	Kaulu lūzumi	Pārspiediens	79	103	8137

Lai prognozētu iespējamās vidējās ārstēšanās izmaksas cilvēkiem ar visu līmeņu traumām, kopējos ar cilvēka ārstēšanos saistītos izdevumus reizina ar konkrētas traumas ieguvušo cilvēku skaitu.

Visus zaudējumu aprēķinus apkopo atsevišķā tabulā, norādot arī informāciju par katru bīstamības apmēru un saistītiem zaudējumiem. Piemēru skatīt 3.30. tabulā.

3.30. tabula

Kopējie zaudējumi. (Avots: autora veidots).

Kopējo zaudējumu novērtējums 1.–3. zonā			
	Novērtēšanas objekts	Zaudējumi, EUR	Kopā, EUR
1. zona	cilvēki		
	būves		
2. zona	cilvēki		
	būves		
3. zona	cilvēki		
	būves		
1.–3. zona kopā, EUR	–	–	

Pamatojoties piedāvātajā metodē un izmantojot iegūtos datus var aprēķināt riska līmeni PBO un novērtēt iespējamās ekonomiskās un vides zaudējumus, kas atkarīgi no apdraudējuma ietekmes un avārijas raksturojuma.

Trešās daļas kopsavilkums un secinājumi

Trešajā daļā autors izskatīja izstrādātās ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas saturu, kas pamatota ar 6 pamatbloku algoritma secīgu izpildi. Pamatojoties uz piedāvāto metodoloģijas algoritmu, veikts modelējums ar iespējamo bīstamo scenāriju uzbūvi

PBO ar mērķi pārbaudīt piedāvātās metodoloģijas darboties spēju, veikts konkrēts ekonomisko un vides zaudējumu novērtējums no hipotētiski iespējamās avārijas PBO.

Svarīgākie trešās daļas rezultāti:

1. Aprakstīta katra metodoloģijas bloka realizācija, raksturoti novērtējuma parametri un rādītāji. Secināta metodoloģijas piemērotība PBO ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai;
2. Veikta cilvēka dzīvības vērtības novērtēšanas metodes apskate un izvēle izstrādātās metodoloģijas ietvaros. Apskatīta vidēji statistiskā cilvēka dzīvības vērtības noteikšanas metode un konstatēts, ka metodi var izmantot ekonomisko seku, kas saistītas ar zaudējumiem letālā iznākuma gadījumā, novērtēšanai. Metode ir iekļauta 6 bloku algoritmā;
3. Novērtējot ekonomiskās sekas, kas saistītas ar cilvēku traumēšanos no avārijas PBO, konstatēts, ka ārstēšanas izmaksas no dažādu veidu traumām atšķiras, tomēr metodoloģijas ietvaros piedāvāta optimāla metode, ar kuras palīdzību ir iespējams noteikt ambulatorās izmaksas, kas saistītas ar traumēto cilvēku (sanitārie zaudējumi) ārstēšanos ilgumu stacionārā atkarībā no PBO avārijas rakstura;
4. Ekonomisko zaudējumu novērtēšanai galvenokārt nosaka tiešās izmaksas, kas saistītas ar traumēto personu ārstēšanos stacionārā. Pie netiešām izmaksām pieder tās, kas saistītas ar darbības samazinājumu, operācijām, emocionālām traumām un invaliditāti. Tādējādi veikts ārstēšanas izmaksu aprēķins Latvijai, kā arī izrēķināts vidējais ārstēšanas termiņš no dažādu veidu traumām, kas iespējamās PBO ĀS gadījumā.

Pēc daļas “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metožu praktiskais pielietojums” veiktās apskates var izdalīt sekojošus secinājumus:

1. Piedāvāts algoritms un izveidota aprioras novērtēšanas metodoloģija, kas sastāv no sešiem pamatblokiem, ar kuru palīdzību ir iespējams prognozēt vides zaudējumus ĀS gadījumā PBO, ieskaitot infrastruktūras zaudējumus un cilvēku sanitāros un letālos zaudējumus. Piedāvāto algoritmu var izmantot PBO vadība un atbildīgie valsts dienesti izvērtējot PBO iespējamo ietekmi apkārtējās teritorijās, izsniedzot atļaujas jaunai apbūvei un plānojot teritorijas attīstību PBO apkaimē. Šo metodoloģiju var izmantot, lai paredzētu konkrēta lēmuma iespējamās sekas, piemēram, kādas sekas citam objektam iespējamās PBO avārijas rezultātā. Apdrošināšanas uzņēmumi piedāvāto metodoloģiju var izmantot prēmijas apmēru aprēķiniem noslēdzot PBO apdrošināšanas līgumus. Valsts iestādes šo metodoloģiju var izmantot plānojot budžeta izdevums, novērtējot ekonomiskos zaudējumus iespējamās avārijas rezultātā, kā arī plānojot izmaksas cietušajām personām saistībā ar ārstēšanos stacionārā.

2. Izmantojot *probit* modeli var aprēķināt varbūtību avārijas gadījumā PBO un prognozēt konkrēta veida zaudējumu varbūtību atkarībā no tā, cik tālu objekts atrodas no notikuma vietas.

3. Izmantojot *ALOHA* programmu var ievērojami saīsināt aprēķinu laiku, noteikt apdraudējuma zonas apgabalu un novērtēt negatīvās ietekmes apmēru, un to var izmantot pirms iespējamo zaudējumu aprēķinu veikšana ar *probit* modeli.

4. Izmantojot divas dažādas metodes, tika veikts vidēji statistiskā cilvēka dzīvības vērtības aprēķins dzīvības zaudējuma rezultātā 2020. gadā. Novērtēti iespējamo izdevumu apmēri saistībā ar cilvēka ārstēšanas izmaksām atkarībā no traumas veida. Noteikti iespējamie zaudējumi PBO avārijas izraisītas invaliditātes gadījumā. Izstrādāts un pārbaudīts cilvēka dzīvības vērtības novērtēšanas modelis, ņemot vērā ekonomiskos rādītājus un dzīves ilgumu. Secināts, ka minētais novērtēšanas algoritms, kas atspoguļo vidējo ārstēšanas dienu skaitu stacionārā, sniedz iespēju šo modeli izmantot ne tikai Latvijā, bet arī citās pasaules valstīs.

5. Iegūtie rezultāti liecina, ka piedāvāto metodoloģiju var efektīvi izmantot jebkura PBO bīstamības novērtēšanai, kura darbība saistīta ar ķīmisko vielu un produktu uzglabāšanu, transportēšanu, pārkraušanu. PBO galvenie bīstamības faktori, kuriem ir iespējams pielietot minēto metodoloģiju, ir saistīti ar siltumstarojumu, pārspiedienu un toksisko iedarbību. Zaudējumus var aprēķināt, veicot aprioro novērtējumu atkarībā no modelēšanas procesā pieņemtajiem pamatrādītājiem.

6. Izstrādātās metodoloģijas aprobācija, pamatojoties uz PBO SIA “Latvijas propāna gāze” darbības raksturojumu, liecina, ka ir iespējami dažādi ĀS iemesli ar dažādām sekām. Veikts konkrēts ekonomisko zaudējumu aprēķins sliktākajiem scenārijiem ar SOG saistītas avārijas gadījumā PBO. Sliktākas situācijas modelēšana sniedz iespēju aprēķināt iespējamos ekonomiskos zaudējumus, jo var noteikt ne tikai riska apmēru, bet arī iespējamo objektīvo zaudējumu apmēru ĀS aposterāras novērtēšanas posmā, kā arī veikt nepieciešamos pasākumus, lai mudinātu PBO vadību samazināt iespējamo apdraudējumu.

7. Promocijas darbā analizētā PBO tehnoloģiskās iekārtas ir nokalpojušas, un tās ir steidzami jānomaina, jo, turpinot lietot esošās iekārtas, avārijas varbūtība palielinās par 50 %, kas uzskatāms par būtisku bīstamības palielinājumu.

8. Novērtēti faktiskie tiešie zaudējumi avārijas gadījumā PBO dažādos avārijas notikumu scenārijos.

9. Analizējot domino efekta iespējamību, izvērtēta iespējamība, ka blakus PBO negatīva faktora ietekmes rezultātā ir aizdegušies kokmateriāli, un ir apzināta iespējamā bīstamo vielu koncentrācija un degšanas produktu izplatības iespējamā ietekme uz cilvēku veselību.

10. Lai uzlabotu drošības līmeni PBO, ir jāveic avārijas riska analīze, lai vadība pieņemtu efektīvus lēmumus attiecībā uz bīstamākajām vietām ražotnē un vielu uzglabāšanu. Šajā procesā jāņem vērā PBO tehnoloģiskā shēma, lai efektīvi vadītu objekta darbību un lai gādātu par apkārtējās vides drošību.

11. Pētījums apstiprināja teorētiski svarīgu sakarību: jo tuvāk pie apskatāmā PBO atrodas citi objekti, t.sk. cilvēki, jo lielāki zaudējumi tiek nodarīti, kā rezultātā nepieciešams rēķināties ar lielākiem izdevumiem atjaunojot šos objektus, kā arī lielāki zaudējumi cilvēku vidū, kas saistīts ar cilvēka atrašanos darba vietā. Tādējādi pie pašvaldības teritoriju plānošanas svarīgi apzināties potenciālās sekas un teritoriju plānošanu veikt atbilstoši bīstamības novērtējumam. Plānojot jaunu objektu būvniecību PBO iespējamā apdraudējuma zonās, nepieciešams izvēlēties konstrukcijas un tehnoloģijas, kuras spēj maksimāli izturēt konstatēto galveno PBO bīstamību. Pieļaujama tādu objektu būvniecība, kas neveido domino efektu, kā arī zaudējumi PBO avārijas gadījumā būtu minimāli, piemēram, preču noliktavas, kuras minimāli tiek ietekmētas ar siltumstarojumu, pārspiedienu.

Secinājumi un rezultāti

Promocijas darbā “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija paaugstinātas bīstamības objektos” izvirzītais mērķis: izstrādāt zinātniski pamatotu metodoloģiju ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanai avārijas gadījumā PBO, nacionālās drošības sistēmas stiprināšanai un problemātisko jautājumu risināšanai, tika sasniegts, realizējot virkni **uzdevumu**:

- Izpētīta un izanalizēta pasaules tehnogēnās vides drošības sistēma, tās nozīmīgums un attīstība, kas ļāva nodefinēt vispārīgās pasaules tendences, kas saistītas ar cilvēka dzīves vidi, un identificēt problēmas pastāvošai drošības situācijai;
- Izpētīta drošības sistēmu attīstība pasaulē un to trūkumi. Izpētīta Latvijas nacionālās drošības sistēmas struktūra attiecībā uz PBO darbību, kas identificēja pastāvošās sistēmas komponentus, PBO drošību ietekmējošus pārvaldības principus, kā arī precizēja sistēmai izvirzāmās prasības;
- Izanalizētas avāriju seku novērtēšanas metodes, veikts ugunslodes seku novērtēšanas rezultātu apkopojums;
- Izanalizēta tehnogēnās vides riska novērtēšanas metodoloģija, aprakstīti novērtēšanas procesi, pieejas un to trūkumi, kas saistīti ar PBO darbu.
- Piedāvāta izmantošanai vidēji statistiskā cilvēka veselībai nodarītā kaitējuma novērtēšanas metodika avārijas PBO rezultātā. Izstrādātais autora algoritms ļauj novērtēt ekonomiskās sekas, kas saistītas ar vidēji statistiskā cilvēka dzīves vērtību, kā arī metodes ietvaros noteikts vidējais ārstēšanas ilgums stacionārā no tipiskajām avārijas sekām PBO. Noteiktas Latvijas izmaksas par cilvēka ārstēšanos stacionārā no avārijas sekām;
- Autora izstrādāta metodoloģija PBO ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai un aprēķināšanai ar atvērtu iespēju ģenerēt kopējā 6 pamatbloku algoritmā vēl citus zaudējumu novērtēšanas uzdevumus, kurus metodoloģijas izmantotājs uzskatītu par nepieciešamiem;
- Izstrādāta aprobācija ar detalizētu informāciju par PBO bīstamības novērtēšanu, kā arī ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanu.

Iegūtie teorētiskie rezultāti **praktiski ir realizēti**:

- Darbā izstrādāta ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija, “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija paaugstinātas bīstamības objektos” aprobēta Interreg projekta ietvaros, novērtējot kopā 6 (sešu) PBO riska un bīstamības līmeni Latvijā un Lietuvā, kā arī piedāvājot praktiskos risinājumus riska līmeņa samazināšanai;
- Izstrādātā metodoloģija studentu apmācības procesā ļauj iegūt zināšanas un priekšstatu par apriorā novērtējuma veikšanu, par riska līmeni attiecīgajā PBO, iespējamiem ekonomiskajiem zaudējumiem un zaudējumiem videi. Metodoloģija izmantojama dažādu PBO drošības sistēmu un infrastruktūras bīstamības novērtēšanas procesa ietvaros, sistēmu apguvē un lietošanas procesā.

Metodoloģijas izstrāde un aprobācijas rezultāti ļauj izdarīt šādus secinājumus:

- Izstrādātā metodoloģija ļauj veikt riska un zaudējumu aprioro novērtējumu, nodrošināt trūkstošo informācijas daļas analīzi.
- Izstrādātās metodoloģijas rezultātu analīze ļauj identificēt pašreizējās PBO riska analīzes un seku novērtēšanas situācijas trūkumus; balstoties uz izstrādāto

novērtējumu algoritmu ir iespējams pilnvērtīgs iespējamās bīstamās situācijas novērtējums.

- Iespēja pārbaudīt jaunu PBO izvietojuma lietderību jau projektēšanas stadijā sniedz iespēju ekspertiem no dažādām jomām plānot tuvāko teritoriju izmantošanu, kā arī novērtēt iespējamās sociālos, ekonomisko un vides zaudējumus.

Darba rezultāti “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija paaugstinātas bīstamības objektos” ļauj apstiprināt aizstāvēšanai izvirzītās tēzes. Izstrādātās metodoloģijas aprobācija ļauj secināt, ka piedāvātais algoritms parāda faktiskos apdraudējumus, ļauj apskatīt iespējamo sekų apjomu, novērtēt ekonomiskos, sociālos un vides zaudējumus. Metodoloģija apkopo dažādu izejas informāciju par situāciju PBO un apkārtējā vidē, analizē to un sniedz pamatotu informāciju par esošajiem riska līmeņiem un sekų apjomiem. Integrētie metodoloģijas algoritmi sniedz iespēju izmantot šo pieeju plašam interesentu un speciālistu lokam, kā arī novērtējuma algoritmi dod objektīvu vērtējumu katram PBO.

Turpmāko **pētījumu virzieni:**

- Aprobējot piedāvāto algoritmu papildināt ar nepieciešamajiem novērtēšanas zaudējumu kritērijiem, piemēram, novērtēt zaudējumus hidroresursiem, zemes dzīlēm, t.sk. sanācijas izmaksas;
- Papildināt ekonomisko zaudējumu sekas ar papildus netiešo zaudējumu aprēķinu. Šādu sekų aprēķinu iekļaušana algoritmā ļautu papildināt metodoloģiju un sniegtu pilnīgāku iespējamo zaudējumu novērtējumu.

Esošo secinājumu rezultātā ir iespējams izdarīt slēdzienu par to, ka pašreiz Latvijā riska novērtējumam var izmantot jebkuru novērtēšanas metodi, jo likumu ietvaros nav noteikta vienota metodika. Rezultātā avāriju sekų un riska novērtēšana nesniedz precīzu informāciju, jo novērtējot vienu PBO ar dažādām metodēm var iegūt dažādus rezultātus. Izstrādātā metodoloģija “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija paaugstinātas bīstamības objektos” sniedz iespēju novērtēt PBO bīstamību vairākos objektos un uz vienota algoritma pamata salīdzināt iespējamās avārijas sekas.

Faktiski minētais slēdziens norāda, ka pētījumā izvirzītā hipotēze par universālās metodoloģiskās pieejas izstrādi ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai PBO, kas sniedz iespēju kvantitatīvi aprēķināt pieļaujamā riska robežas, kā arī ekonomiski pamatot avārijas gadījumā iespējamo zaudējumu apmēru, guva apstiprinājumu.

Hipotēzes pierādīšanas procesā autors ir izstrādājis risinājumus, kuru izmantošanas rezultātā ir iespējams novērtēt riska līmeni PBO, ekonomisko un vides sekų apjomu, ko var izmantot VUGD, Valsts vides dienests, Vides pārraudzības valsts birojs, pašvaldības izvērtējot drošības pārskatus, izstrādājot plānošanas dokumentus un .CA plānus.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS UN AVOTU SARAKSTS

1. *2015.gada publiskais pārskats* (2015). [tiešsaiste]. Vides pārraudzības valsts birojs [skatīts 2019. gada 30. janvārī]. Pieejams: http://www.vpvb.gov.lv/data/files/VPVB_2015_gada_parskats_END.pdf
2. *2018. gadā bija nodarbināti 64,5 % Latvijas iedzīvotāju* (2019). [tiešsaiste]. Centrālā statistikās pārvalde [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/socialie-procesi/nodarbinatiba/meklet-tema/2582-nodarbinatiba-2018-gada>
3. *2018. gadā bija nodarbināti 64,5 % Latvijas iedzīvotāju* (2019). [tiešsaiste]. Centrālā statistikās pārvalde [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/socialie-procesi/nodarbinatiba/meklet-tema/2582-nodarbinatiba-2018-gada>
4. Abbasi, T., Abbasi, S.A. (2007). The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management. *Journal of Hazardous Materials*. Vol.141. pp.489–519.
5. Abdolhamidzadeh, B., Abbasi T., Rashtchiana, D., Abbasi, A. (2011). Domino effect in process-industry accidents – An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 24, Issue 5, pp.575–593.
6. Adikarama, K.K.N.B., Nawarathna, C.M. (2018). Business sector preparedness in disaster management: case study with businesses in Southern Sri Lanka in both aspects of natural and technological disasters., *Procedia Engineering*. (212) pp. 918–920.
7. *Aizsargjoslu un aprobežojumu tematiskais plānojums* (2016). [tiešsaiste]. Rīgas domes Pilsētas attīstības departaments. Interneta vietne, rdpad.lv: 7.lpp. [skatīts 2017. gada 20.augustā]. Pieejams: http://www.rdpad.lv/wp-content/uploads/2016/10/AIZSARGJOSLAS/JOS_paskaidrojuma_raksts.pdf ,
8. Akimov, V.A., Bykov, A.A., Vostokov, V.Yu., Dolgin, N.N. (2007). Emergency Risk Assessment Methods and Risk Standards for emergency situations. *Issues of Risk analysis*. Vol 4, pp. 369-397.
9. Ale, B. (2016). Risk analysis and big data. *Safety and reliability*. Vol. 36, No. 3, pp. 153–165.
10. Altabbakh, H., Alkazimi, M.A., Murray, S., Grantham, K. (2014). STAMP – holistic system safety approach or just another risk model? *J. Loss Prev. Process Ind.* Vol.32, pp.109–119.
11. Altamirova, E., Perminov, V.A., Akchina. S.S.(2018). Analysis and estimation of fireball parameters using existing methods. *Technosphere safety*. Vol. 3, No. 1 XXI Century. pp.84-91.
12. Anastas, J.W. (2004). Quality in qualitative evaluation: Issues and possible answers. *Research on Social Work Practice*. Vol.14. pp.57-65.
13. Antoci, A., Galeotti, M., Sordi, S. (2018). Environmental pollution as engine of industrialization. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* No. 58. pp. 262–273.
14. Anvarifara, F., Voorendt, M. Z., Zevenbergena, C., Thissen, W. (2017). An application of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to risk analysis of

- multifunctional flood defences in the Netherlands. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 158. pp. 130–141.
15. *Apdegums* (2012). [tiešsaite]. *Medicine.lv* [skatīts 2019. gada 7.jūlijā]. Pieejams: https://medicine.lv/raksti/apdegums_pme
 16. Apiratikula, R. (2015). Approximation Formula For The Prediction Of Downwind Distance That Found The Maximum Ground Level Concentration Of Air Pollution Based On The Gaussian Model. *Social and Behavioral Sciences* Vol. 197. pp.1257 – 1262.
 17. Apostolakis, G. E. (2004). How useful is quantitative risk assessment? *Risk Analysis*. Vol. 24 (3), pp. 515–520.
 18. *Ar ko atšķiras iekšzemes kopprodukts no nacionālā kopienākuma / nacionālā kopprodukta?* (2011). [tiešsaite]. *Makroekonomika.lv* [skatīts 2019. gada 3.augustā]. Pieejams: <https://www.makroekonomika.lv/ar-ko-atiskiras-iekaszemes-kopprodukts-no-nacionala-kopienakuma-nacionala-kopprodukta>
 19. Arrow, J. (1981). *Costs of Environment-Related Health Effects: A Plan for Continuing Study*. Washington, National Academy Press, Institute of Medicine. 218.p.
 20. ASME (2012). Forging a New Nuclear Safety Construct, The American Society of Mechanical Engineers Presidential Task Force on Response to Japan Nuclear Power Plant Events, [tiešsaite] ASME. [skatīts 2017.gada 14. novembrī]. Pieejams: https://www.asme.org/getmedia/73081de8-e963-4557-9498-f856b56dabd1/Forging_a_new_nuclear_safety_construct.aspx),
 21. Aven T. (2013). How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. Discussion paper with G. Reniers. *Safety Science*. Vol.51(1). pp.223–231.
 22. Aven T., Zio E. (2014). Foundational issues in risk assessment and risk management. *Risky analysis*. Vol. 34 (7). pp.1164-1172.
 23. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. Vol.253, Issue 1. pp.1-13.
 24. Aven, T., Zio, E. (2014). Foundational issues in risk assessment and risk management. *Risky analysis*. Vol. 34 (7) .pp.1164-1172.
 25. *Ārkartas situācijas* [tiešsaite]. Slimību profilakses un kontroles centrs [skatīts 2018. gada 9. martā]. Pieejams: <https://www.spkc.gov.lv/lv/arkartas-situacijas>
 26. Baalisampang, T., Abbassi, R., Garaniya, V., Khan, F., Dadashzadeh, M. (2019). Modelling an integrated impact of fire, explosion and combustion products during transitional events caused by an accidental release of LNG. *Process Safety and Environmental Protection* Vol.128. pp. 259–272.
 27. Bakian, A.V., Huber, R.S., Coon, H., Gray, D., Wilson, P., McMahon, W.M., Renshaw, P.F., (2015). Acute air pollution exposure and risk of suicide completion. *Am. J. Epidemiol.* Vol.181 (5), pp.295–303. <https://doi.org/10.1093/aje/kwu341>
 28. *Baltijas jūras locija. Latvijas piekraste* (2014). Trešais izdevums Rīga: Latvijas Jūras administrācija Hidrogrāfijas dienests. 125.lpp.
 29. Barends, D.M., Oldenhof, M.T., Vredenburg, M.J., Nauta, M.J. (2012). Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* Vol. 64–65. pp.82–86.

30. Behling, N., Williams, M. C., Behling T. G., Managi, S. (2019). Aftermath of Fukushima: Avoiding another major nuclear disaster. *Energy Policy* . Vol.126. pp.411–420.
31. Behnke, W.P. (1984). *Predicting Flash Fire Protection of Clothing from Laboratory Tests Using Second Degree Burn to Rate Performance*. Fire and materials, Vol.8, pp. 53 – 63.
32. Belmonte, F., Schoen, W., Heurley, L., Capel, R. (2011). Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technological systems based on the functional resonance accident model: an application to railway traffic supervision. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 96 (2), pp.237–249.
33. Benintendy, R. (2018). *Process Safety Calculations*. Elsevier 662. pp.
34. *Best Practice Regulation Guidance Note Value of statistical life*. (2014). [tiešsaite]. Austaralian government Department of the Prime Minister and Cabinet. [skatīts 2018.gada 1.septembrī]. Pieejams: https://www.pmc.gov.au/sites/default/files/publications/Value_of_Statistical_Life_guidance_note.pdf
35. Bjerga, T., Aven, T., Zio, E. (2016). Uncertainty treatment in risk analysis of complex systems: The cases of STAMP and FRAM. *Reliability Engineering and System Safety* Vol. 156. pp.203–209.
36. Bompard, E., Carpignano, A., Erriquez, M., Grosso, D., Pession, M., Profumo F., (2017). National energy security assessment in a geopolitical perspective. *Energy*. Vol. 130. pp.144-154.
37. Brantlinger, E., Jimenez, R, Klingner, J., Pugach, M., Richardson, V. (2005). *Qualitative studies in special education. Exceptional Children*. Vol.71. pp.195-207.
38. Briggs, G.A., (1974). Diffsion Estimation for Small Emissions, Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories.
39. Brizio, E., Genon, G. (2005). The influence of different mixing heights on the “ECOSENSE”model results at a local scale. *Environmental Modelling & Software* Vol.20. pp. 917-933.
40. Brusselaers, N., Monstrey, S., Vogelaers, D., Hoste, E., Blot, S. (2010). Severe burn injury in europe: a systematic review of the incidence,etiology, morbidity, and mortality.(Research)(Report) *Critical Care*, Vol.14, pp.188.
41. Bubbico, R. (2018). A statistical analysis of causes and consequences of the release of hazardous materials from pipelines. *The influence of layout. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 56. pp.458-462.
42. Cabrera, A.A. (2013). Historia económica mundial siglos xvii-xix: revoluciones burguesas y procesos de industrialización. *Economía Informa*, Vol. 378, pp.60-73.
43. Casal, J., Arnaldos, J., Montiel, H., Planas-Cuchi E., Vilchez. J.A. (2002). *Modeling and understanding BLEVEs*. [tiešsaite] Centre d'Estudis del Risc Tecnologic (CERTEC), Universitat Politècnica de Catalunya – Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, Catalonia, Spain. [skatīts 2018.gada 17. septembrī]. Pieejams: <https://docplayer.net/20806029-Chapter-22-modeling-and-understanding-bleves.html>

44. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2016). "Disaster Data: A Balanced Perspective" [tiešsaiste] Issue No.41. [skatīts 2017. gada 3. novembrī]. Pieejams:
https://www.cred.be/publications?field_publication_type_tid=All&order=field_publication_published&sort=desc
45. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. [tiešsaite].CRED [skatīts 2018.gada 7. novembrī].Pieejams: <https://www.cred.be/>
46. Certa, A., Hopps, F., Inghilleri R. La Fata C.M. (2017). A Dempster-Shafer Theory-based approach to the Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) under epistemic uncertainty: application to the propulsion system of a fishing vessel. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 159, pp. 69-79.
47. Chamberlain, G., Oran, E., Pekalski, A. (2019). Detonations in industrial vapour cloud explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol. 62, Article:103918.
48. *Cilvēktiesību un pamatbrīvību aizsardzības konvencija* (1950). Eiropas padome [tiešsaite] "Latvijas Vēstnesis", 143/144 [skatīts 2019. gada 8. janvārī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/lv/starptautiskie-likumi/id/649>
49. Cocheo, C., Sacco, P., Zaratin. L. (2011). Assessment of Human Exposure to Air Pollution Assessment of Human Exposure to Air Pollution. *Encyclopedia of Environmental Health*, pp.230-237.
50. Cox, L.A. (2012). Confronting deep uncertainties in risk analysis. *Risk Analysis* Vol. 32(10). pp.1607 – 1629.
51. Cozzani, V., Salzano, E. (2004). The quantitative assessment of domino effects caused by overpressure Part I. Probit models, *Journal of Hazardous Materials*. Vol. A107. pp. 67–80.
52. Cozzani,V., Gubinelli G., Antonioni, G., Spadoni,G., Zanelli. S. (2005). The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. A127. pp.14–30.
53. CRED Crunch 58 - Disaster Year in Review (2019). *Disaster Year in Review 2019* [tiešsaiste] Issue No.58. [skatīts 2020. gada 17. jūlijā]. Pieejams: https://www.cred.be/publications?field_publication_type_tid=All&order=field_publication_year&sort=des
54. Dakwat, A. L., Villan, E. (2018). System safety assessment based on STPA and model checking. *Safety Science*. Vol. 109. pp.130–143.
55. Dakwat, A.L., Villan, E. (2018). System safety assessment based on STPA and model checking. *Safety Science*. Vol.109. pp.130–143.
56. Dallat, C., Salmon, P. M., Goode, N.(2019). Risky systems versus risky people: To what extent do risk assessment methods consider the systems approach to accident causation? A review of the literature. *Safety Science*. Vol. 119, pp. 266-279.
57. *Darba aizsardzības likums*. (2002) [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 2001. Gada 20. jūnijā, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2018. gada 15. janvārī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/26020-darba-aizsardzibas-likums>

58. Davis, K. (1955). Social and demographic aspects of economic development in India. In S. Kuznets, W. E. Moore, & J. J. Spengler (Eds.), *Economic growth: Brazil, India, Japan*. Durham, NC: Duke University Press. pp.263–315.
59. Deacon, T., Amyotte, P.R., Khan, F.I., (2010). Human error risk analysis in offshore emergencies. *Safety Science*. Vol.48 (6), pp. 803–818.
60. *Degvielas cenas* (2019). [tiešsaiste] Circle K SIA, mājas lapa [skatīts 2019. gada 25. septembrī]. Pieejams: https://www.circlek.lv/lv_LV/pg1334072578525/private/Degviela/Cenas.html
61. Dekker, S., Pitzer, C. (2016). Examining the asymptote in safety progress: a literature review. *Int. J. Occup. Safety Ergon.* 22 (1), pp.57–65.
62. *Delfi.lv* (2012). [tiešsaiste]. Interneta vietne Delfi.lv [skatīts 2018. gada 20. martā]. Pieejams:<http://www.delfi.lv/news/comment/comment/kaspars-druvaskalns-nacionalas-drosibas-likums-prieks-kakiem-ne-amatpersonam.d?id=42704984>
63. Directive 2003/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2003 Amending Council Directive (2003). 96/82/EC on the Control of Major-accident Hazards involving Hazardous Materials. *Official Journal of the European Union*, L 345/97. Brussels, 31.12.2003. 37.pp.
64. Dziubinski, M., Fratzcka, M., Markowski, A.S. (2006). Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.19. pp.399–408.
65. *Eiropas vides aģentūra* [tiešsaiste]. Eiropas vides aģentūra mājaslapa [skatīts 2018. gada 7.martā]. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/lv/themes/air/intro>
66. Eisenberg, N.A. Lynch, C.J.. Breeding, R.J. (1975). Vulnerability model: a simulation system for assessing damage resulting from marine spills, Report CG-D-136-75, Enviro Control Inc., Rockville, MD. NTIS ADAm pp.105-245.
67. Elliott, R., Fischer C.T., Rennie, D.L. (1999). Evolving guidelines for publication of qualitative research studies in psychology and related fields. *British Journal of Clinical Psychology*. Vol. 38. pp. 215-229.
68. Enaleev, R.Sh., Teljakov, Je.Sh., Hajrullin, I.R., Kachalkin, V.A. (2008). Burning of gases in a fireball: *Abstracts and reports of the VI Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer*. pp. 327–329.
69. *Encyclopaedia Britannica* [tiešsaiste]. britannica.com [skatīts 2018.gada 15 aprīlī] Pieejams: <https://www.britannica.com/technology/spinning-jenny>.
70. European Commission (2020). [tiešsaiste] *Environment*. Eiropas komisijas mājas lapa [skatīts 2020. gada 2.jūlijā]. Pieejams: <https://ec.europa.eu/environment/seveso/>
71. *Eurostat* (2011). Eiropas Statistikas prakses kodekss. [tiešsaiste] Eiropas Statistikas sistēma. [skatīts 2018. gada 3. martā] Pieejams: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5922265/10425-LV-LV.PDF>
72. *Explosion in a Nitrogenous Fertiliser Plant, Oppau – [Rhénanie], Germany, 1921, 21 September*. [tiešsaiste]. French Ministry of Environment, [skatīts 2018. gada 18 aprīlī]. Pieejams: http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/FD14373_oppau_1921_ang.pdf

73. Faber, M.H., Giuliani, L., Revez, A., Jayasena, S., Sparf, J., Mendez, J.M. (2014). Interdisciplinary approach to disaster resilience education and research. *Procedia Economics and Finance*, Vol.18, pp.601-609.
74. Firza, R., Rosyid, D., Dirta, M.C. (2017). Project Delay Analysis on Jacket Structure Construction. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 862, pp. 315-320.
75. Fletcher, W. J. (2005). The application of qualitative risk assessment methodology to prioritize issues for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, Vol. 62 (8) pp.1576–1587.
76. Forouzanfar M.H., et al., (2015). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*. Vol. 386 (10010), pp. 2287–2323.
77. French, S., Bedford, T., etc. (2011) Human reliability analysis: A critique and review for managers. *Safety Science*. Vol. 49. pp.753–763.
78. Gaia, W., Dub Y., Deng, Y. (2018). Evacuation risk assessment of regional evacuation for major accidents and its application in emergency planning: A case study. *Safety Science*. Vol.106, pp. 203-218.
79. Garvey, P. R., Lansdowne, Z. F. (1998). Risk matrix: an approach for identifying, assessing, and ranking program risks. *Air Force journal of logistics* Vol. 22 (1) pp.18–21.
80. Geng, L., Wu, Z., Zhang, S., Zhou, K. (2019). The end effect in air pollution: The role of perceived difference. *Journal of Environmental Management* Vol. 232. pp. 413–420.
81. Giardina, M., Morale, M. (2015). Safety study of an LNG regasification plant using an FMECA and HAZOP integrated methodology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.35. pp.35-45.
82. Graves, R.J., Way, K.R., Riley, D., Lawton, C., Morris, L., (2004). Development of risk filter and risk assessment worksheets for HSE guidance—‘Upper Limb Disorders in the Workplace’ 2002. *Appl. Ergonomics*. Vol.35 (5), pp.475–484.
83. Groso, A., Ouedraogo, A., Meyer, T., (2012). Risk analysis in research environment. *Journal Risk Researches*. Vol. 15 (2), pp.187–208.
84. Groso, A., Ouedraogo, A., Meyer, T., (2012). Risk analysis in research environment. *Journal of Risk Research*. Vol. 15 (2), pp.187–208.
85. *Guidelines for Chemical process Quantative Risk Analysis*. (2000). American institute of chemical engineers. New-York: A John Wiley & sons, inc., publication. 122 pp.
86. *Guidelines for hazard identification, risk assessment and risk control (HIRARC)*. (2008). Ministry of Human Resources Malaysia. Department of Occupational Safety and Health Ministry of Human Resources Malaysia. 7–18. pp.
87. Guo, L., Kang, J. (2015) An extended HAZOP analysis approach with dynamic fault tree. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.38. pp.224-232.
88. Hansson, S.O. (2019). Improvement principles. *Journal of Safety Research*. Vol. (69) pp.33–41.

89. Harbuz, Y. (2015). *Aviācijas materiālu un konstrukciju noguruma bojājumu novērtējums uz akustiskās emisijas signālu mērījuma pamata*. Promocijas darbs, Rīga: RTU izdevniecība. 174.lpp.
90. Hosseinnia, B., Khakzad, N., Reniers, G. (2018) Multi-plant emergency response for tackling major accidents in chemical industrial areas. *Safety Science*. Vol.102. pp.275–289.
91. Hsieh, M., Wang, E., Lee, W., etc. (2018). Application of HFACS, fuzzy TOPSIS, and AHP for identifying important human error factors in emergency departments in Taiwan. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 67, pp. 171-179.
92. Huang, F, Liu, B. (2017). Software defect prevention based on human error theories. *Chinese Journal of Aeronautics*. Vol.30 Issue 3, pp.1054-1070.
93. Huang, J., Li, Z., Liu, H, (2017). New approach for failure mode and effect analysis using linguistic distribution assessments and TODIM method. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol.167 pp. 302–309.
94. I, Y.P., Shu, C.M., Chong, C.H. (2009). Applications of 3D QRA technique to the fire/explosion simulation and hazard mitigation within a naphtha-cracking plant. *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 22. pp.506–515.
95. *Iekšzemes kopprodukta un nacionālā kopienākuma saistība 2018. gadā* (2019). [tiešsaiste]. Centrālā statistiskās pārvalde. [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams:
https://data1.csb.gov.lv/pxweb/lv/ekfin/ekfin__ikp__IKP__ikgad/IKG10_070.px/table/tableViewLayout/
96. *Iekšzemes kopprodukts pavisam, uz vienu iedzīvotāju un uz vienu nodarbināto* (2019). [tiešsaiste]. Centrālās statistiskās pārvaldes datu bāze [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams:
https://data1.csb.gov.lv/pxweb/lv/ekfin/ekfin__ikp__IKP__ikgad/IKG10_010.px/table/tableViewLayout1/
97. *Industrializācija* [tiešsaiste]. Vēstures enciklopēdiskā vārdnīca. [skatīts 2018.gada 5.februārī]. Pieejams: <http://vesture.eu/index.php/Industrializ%C4%81cija>
98. International Electrotechnical Commission, (2016). IEC 61882:2016 *Hazard and operability studies (HAZOP studies) – application guide*. IEC, Geneva, Switzerland. pp. 124.
99. Jeanfreau, S.G, Leonard, Jr. J. (2010). Appraising qualitative research in health education: Guidelines for public health educators. *Health Promotion Practice*. Vol.11. pp. 612-617.
100. Jegorovs, P., Šļahovs, I., Alabins, N. (1973). *Civilā aizsardzība* Rīga. Izdevējs: Liesma. 211.lpp.
101. Jemeljanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība. 184.lpp.
102. Jeong, B., Lee, B.S., Zhou, P., Ha, S. (2018). Quantitative risk assessment of medium-sized floating regasification units using system hierarchical modelling. *Ocean Engineering*. Vol.151. pp.390–408.
103. *Jūrlietu pārvaldes un jūras drošības likums* (2002) [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 2002. Gada 31. oktobrī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts

2018. gada 2. maijā]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/68491-jurlietu-parvaldes-un-juras-drosibas-likums>
104. Kaļķis, V., Roja, Ž., Kaļķis, H. (2015) *Arodveselība un riski darba*. Medicīnas apgāds. 534.lpp.
 105. *Katastrofu Medicīnas plānošana un koordinācija*. (2017) [tiešsaiste]. Neatliekamās medicīniskās palīdzības dienests [skatīts 2019. gada 10. jūnijā]. Pieejams: http://www.nmpd.gov.lv/nmpd/katastrofu_medicina/km_planosana_un_koordinacija/
 106. Kelman, I. (2018). Connecting theories of cascading disasters and disaster diplomacy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Vol. 30. pp. 172–179.
 107. Kennedy, R., Kirwan, B., (1998). Development of a hazard and operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems. *Safety Science*. Vol.30. (3), pp.249-274.
 108. Khan, F.I., Abbasi, S.A. (1998). *Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.11 (4), pp.261–277.
 109. Khanmohamadi, M., Bagheria, M., Khademi, N., Ghannadpour, S.D., (2018). A security vulnerability analysis model for dangerous goods transportation by rail – Case study: Chlorine transportation in Texas-Illinois. *Safety Science* .Vol.110. pp. 230–241.
 110. Kirwan, B., (1992). Human error identification in human reliability assessment. Part 1: Overview of approaches. *Applied Ergonomics*. Vol.23 (5), pp.299–318.
 111. Kirwan, B., (1998). Human error identification techniques for risk assessment of high risk systems—Part 1: Review and evaluation of techniques. *Applied Ergonomics*. Vol.29 (3), pp.157–177.
 112. Kiseļovs, G., Urbans, M., Malahova, J. (2017). Izglītojamo apmācība ugunsgrēku izpētes veikšanā. *Akadēmiskās konference: “Mācību metodiskā un zinātniskā darba integrācija studiju procesā”* 60-63.lpp.
 113. Kobza, N., Hermanonowicz, M. (2018). How to use technology in the service of mankind? Sustainable development in the city. *IFAC Papers On Line*. Vol. (51-30) pp.340-345.
 114. *Komisijas dienestu darba dokumenti*. (2010) . Riska novērtēšanas un kartēšanas vadlīnijas katastrofu pārvaldībai. Briselē, 2010. gada 12. Decembrī. SEC(2010) 1626 galīgā redakcija, 40.lpp.
 115. Kozlovs, V., Večena, R., Ziemelis, V. (2002). *Darba aizsardzība*. Rīga: RTU izdevniecība. 144.lpp.
 116. Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (2017). *Natech Risk Assessment and Management Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations*. Publisher: Elsevier; 1 edition.268. p.
 117. Krīzes vadības padomes sekretariāts [tiešsaiste]. Valsts ugunsdzēsības un glābšanas dienesta mājas lapa[skatīts 2019. gada 30.aprīlī]. Pieejams: http://vugd.gov.lv/lat/par_vugd/darbibas_sferas/krizes_vadibas_padomes_sekretariats
 118. Kuzmina, M.S. (2014). Methods of predicting a probability of damnification of human and material resources *Инженерный журнал: наука и инновации*, вып. 9. 1-12. стр.

- 119.Kuznetsov, V .V. (1982). The potentialities of man and anthropomaximology. *International. Social Science Journal. Published quarterly by Unesco*. Vol. XXXIV, No. 2, pp.277- 291.
- 120.Ķīmisko vielu likums. (1998). [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 1998. Gada 1. aprīlī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2019. gada 2. janvārī]. Pieejams:<https://likumi.lv/ta/id/47839-kimisko-vielu-likums>
- 121.Landrigan, P.J. (2012). The hidden costs of environmental contamination. *European Respiratory Journal* Vol. 40 pp. 286-288.
- 122.Lanzi, E., Dellink, R., Chateau, J. (2018). The sectoral and regional economic consequences of outdoor air pollution to 2060, *Energy Economics*. Vol. 71. pp.89–113.
- 123.Latvijas propāna gāze, SIA, *Civilās aizsardzības plāns* (2017). Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacijas Civilās aizsardzības plāna materiāli. 67. lpp.
- 124.Latvijas propāna gāze, SIA, *Drošības pārskats* (2017). Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacijas Drošības pārskats. 109 lpp.
- 125.Latvijas Republikas Satversme (1922). [tiešsaiste]. pieņemts Rīgā, 1922. Gada 15. februārī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv. [skatīts 2018. gada 3.aprīlī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/57980-latvijas-republikas-satversme>
- 126.Latvijas vides pārskats (2001). [tiešsaite]. Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. [skatīts 2018.gada 20.janvārī]. Pieejams:http://www2.meteo.lv/produkti/soe2001_lv/faktori/kim_vielas/kim_vielas.htm
- 127.Laumann, K. (2020). Criteria for Qualitative Methods in Human Reliability Analysis, *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 194. 106198. [tiešsaiste]. Science Direct [skatīts 2019. gada 20. septembrī].Pieejams:<https://www-sciencedirect-com.resursi.rtu.lv/science/article/pii/S0951832017310268>
- 128.Leksin, A. (2017). *Solution Approach for a Coherent Probabilistic Assessment of Explosion and Fire Safety for Facilities at the Chemical Process Industries*. Bergische universitat Wuppertal dissertation. 200 pp.
- 129.Leveson, N.G. (2011). Applying systems thinking to analyze and learn from events. *Safety Science*. Vol.49 (1), pp.55–64.
- 130.Levesons, N. (2012). *Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*.. Cambridge, Mass: The MIT Press., 531. p.
- 131.Liu, X., Li, J., Li, X. (2017). Study of dynamic risk management system for flammable and explosive dangerous chemicals storage area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 49. pp. 983-988.
- 132.Lönnngren, R. (1992). *International approaches to chemicals control, a historical overview*. Stockholm: National Chemicals Inspectorate in Sweden. 512.pp.
- 133.Lopez Bastida J., Serrano Aguilar P., Monton A. et al. (2003). The economic burden of stroke in Spain. *Value Health*. Vol. 6. pp.615–615.
- 134.Macdonald, D. (2004). *Practical Hazops, Trips and Alarms*. Publisher: Newnes 1st Edition. 352.p.
- 135.Maksa par ārstēšanos stacionārā un dienas stacionārā [tiešsaiste]. Aslimnīca.lv [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams:

<https://www.aslimnica.lv/lv/saturs/maksa-par-arstesanos-stacionara-un-dienas-stacionara>

136. Malahova, J., Urbans, M., Kiseļovs, G. (2017). Studiju priekšmeta Objekta risku novērtēšana kvalitātes nodrošināšana. *Akadēmiskās konferences "Mācību metodiskā un zinātniskā darba integrācija studiju procesā"*. Rīga: RTU izdevniecība. lpp.75–77.
137. Mandal S., Singh, K., Behera, R.K., Sahu, S.K., etc. (2015). Human error identification and risk prioritization in overhead crane operations using HTA, SHERPA and fuzzy VIKOR method. *Expert Systems with Applications* Vol. 42. pp.7195–7206.
138. Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D., Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: on a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.24 (5), pp.477–523.
139. Markmann, C., Darkow, I.L., Gracht, H., (2013). A Delphi-based risk analysis—identifying and assessing future challenges for supply chain security in a multi-stakeholder environment. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 80 (9), pp.1815–1833.
140. Marston, A., Winfrey, R., Hemperstea, J. (1953). *Engeneering Valuation and Deprecation*. Iowa State University Press. 508. pp.
141. Martin, M. (1981), Statistical Practice in Bureaucracies, *Journal of the American Statistical Association*, Volume 76. pp. 1–8.
142. Martinsen W. E., Marx. J D. (1999). *An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs*. International Conference and Workshop on Modeling Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials San Francisco, California September 28 – October 1, 1999. 4.p.
143. Meng, X., Chen, G, Shi, J., Zhu, G., Zhu, Y. (2018). STAMP-based analysis of deepwater well control safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 55. pp. 41–52.
144. Meyrick, J. (2006). What is good qualitative research? A first step towards a comprehensive approach to judging rigour/quality. *Journal of Health Psychology*. Vol. 11. pp. 799–808.
145. Montt, C., Maas, I. (2015). The openness of Britain during industrialisation. Determinants of career success of British men born between 1780 and 1880. *Research in Social Stratification and Mobility* No. 42 pp.123–135.
146. Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept – a historical perspective. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* No. 110. pp.738 – 746.
147. *Nacionālais gatavības plāns naftas, bīstamo vai kaitīgo vielu piesārņojuma gadījumiem jūrā* (2010). [tiešsaiste]. LR Ministru kabineta rīkojums Nr.283 pieņemts Rīgā 2010. gada 21. maijā, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2018. gada 8.maijā]. Pieejams: likumi.lv/ta/id/210704-par-nacionalo-gatavibas-planu-naftas-bistamo-vai-kaitigo-vielu-piesarnojuma-gadijumiem-jura
148. Naderpour, M., Lu, J., Zhang, G. (2014). A situation risk awareness approach for process systems safety, *Safety Science* Vol. 64 (3) pp.173–189.

149. Napier, B.A., Peloquin, R.A., Streng, D.L., Ramsdell, J.V. (1988). *GENII-The Hanford Environmental Radiation Dosimetry Software System*. Volume 1: Conceptual Representation. Pacific Northwest Laboratory. Washington, 184.p.
150. Naumann, K-H. (2003). COSIMA—a computer program simulating the dynamics of fractal aerosols. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 34, Issue 10, pp.1371-1397.
151. Necci, N.A., Cozzani, V., Spadoni, G., Khan, F. (2015). Assessment of domino effect: State of the art and research. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. (143) pp.3–18.
152. *Neste Latvija, SIA, Civilās aizsardzības plāns* (2018). Neste Latvija Civilās aizsardzības plāns 140 lpp
153. O'Brien, P.K (2001). Industrialization, Typologies and History of. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. pp. 7360-7367.
154. Orlov, D. (2016). *Shrinking the Technosphere*. New Society. Publishers: New Society Publishers. 256.p.
155. Ortmeier, F., Reif W., Schellhorn. G. (2005). Deductive cause-consequence analysis (dcca). *IFAC Proceedings Volumes*. Vol. 38, Issue 1, pp.62-67.
156. Ottino, J. M. (2004). Engineering complex systems. *Nature*. Vol. 427(6973). pp.399-399.
157. *Padomā, pirms pērc*. [tiešsaite]. Baltijas vides forums [skatīts 2018.gada 2.janvārī]. Pieejams: <http://padomapirmsperc.lv/consumer-5/bistamas-vielas/>
158. *Par Attīstības sadarbības politikas pamatnostādņēm 2016.-2020. gadam* (2016). LR Ministru kabineta rīkojums Nr. 523, pieņemts Rīgā 2016. gada 14. Septembrī, 2. pielikums.
159. *Par ārkārtējo situāciju un izņēmuma stāvokli*. (2013). LR likums pieņemts 2013. gada 27. martā, "Latvijas Vēstnesis", 61 (4867).
160. *Par bīstamo iekārtu tehnisko uzraudzību* (1998). LR likums, pieņemts Rīgā. 1998. Gada 13. oktobrī, Latvijas Vēstnesis, 291/292 (1352/1353).
161. *Par Krimināllikuma spēkā stāšanās un piemērošanas kārtību* (1998). LR Likums, pieņemts Rīgā 1998.gada 5.novembrī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2018. gada 20. augustā]. Pieejams: <https://likumi.lv/doc.php?id=50539>
162. Park, J. (2011). Domestic and international environmental restrict and plan for reaction against. *Chemical industry*. No. 44. pp.2–3.
163. Pasman, H., Rogers, W. (2013). Bayesian networks make LOPA more effective, QRA more transparent and flexible, and thus safety more definable! *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.26. pp.434-442.
164. Patil V., Dulhunty, J.M., Udy A. et al. (2010). Do burn patients cost more? The intensive care unit costs of burn patients compared with controls matched for length of stay and acuity. *J Burn Care Res*. Vol.31. pp. 598–602.
165. Pisoni, E., Carnevale, C., Volta, M., (2009). *Multi-criteria analysis for PM10 planning*. Atmospheric Environment. Vol.43, pp.4833-4842.
166. Pittman, W., Han, Z., Harding, B., Rosas, C., Jiang, J., Pineda, A., Mannan, M.S. (2014). Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years. *Journal of Hazardous Materials* No. 280. pp.472–477.

167. Pommers, J. (1989). *Studentu zinātniskā darba pamati*. Rīga: Apgāds Zvaigzne. 295. lpp.
168. Raiyan, A., Das, S., Islam, M. (2017). Event Tree Analysis of Marine Accidents in Bangladesh. *Procedia Engineering*. Vol.194. pp.276 – 283.
169. Rasmussen, J., (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*. Vol. 27 (2–3), pp.183–213.
170. Rausand, M., Hoyland, A. (2004). *System reliability theory. Models, Statistical methods, and applications*. 2nd edition. A John Wiley & Sons, inc., publication. 672.pp.
171. Reālais IKP pieauguma temps (2019). [tiešsaiste]. *Centrālā statistikās pārvalde* [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/ekonomika/ikp/meklet-tema/399-realais-ikp-pieauguma-temps-procentos-salidzinot-ar>
172. Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction [tiešsaiste]. *UNISDR* [skatīts 2015.gada 17. novembrī]. Pieejams: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/51748>
173. Roberts, A. F. (1981). Thermal Radiation Hazards from Releases of LPG from Pressurized Storage *Fire Safety Journal*. Vol. 4, No. 3. pp 197–212.
174. Saedi, A.M., Thambirajah, J.J., Pariatamby, A. (2014). A HIRARC model for safety and risk evaluation at a hydroelectric power generation plant. *Safety Science*. Vol.70, pp.308–315.
175. Sahin, I., Ozturk, S., Alhan, D., Açikel, C. and others (2011). Cost analysis of acute burn patients treated in a burn centre: the Gulhane experience. *Fire Disasters*. Vol. 24(1). pp. 9–13.
176. Sato, T., Watanabe, Y., Toyota, K., Ishizaka, J. (2005). Extended probit mortality model for zooplankton against transient change of PCO₂. *Marine Pollution Bulletin*. Vol.50. pp.975–979.
177. Schuller, T. (2006). Evidence and policy research. *European Educational Research Journal*, Volume 5(1), pp.57- 70 .
178. Sellami, I., Manescau, B., Chetehouna, K., Izarra, C., Nait-Saida R., Zidani, F., (2018). BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 54 pp. 69–84.
179. *Septītā VRP – vispārējā Savienības vides rīcības programma līdz 2020. gadam* [tiešsaiste]. An official website of the European Union [skatīts 2018. gada 15.martā]. Pieejams: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/lv.pdf>
180. Serbo V.V. (2003). Status of AIDA and JAS 3. *Nucl.Instrum.Meth*. Vol. A502 pp.663-665.
181. Sharma, R.K., Kumar, D., Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling, *International journal of quality & reliability management*. Vol. 22, Issue 9. pp. 986-1004.

182. Shultz, T. (1968). Human Capital. In: Sills D. L. (ed.) International Encyclopedia of the Social Sciences New York: Macmillan Free Press., Vol. 2. pp.278–286.
183. SIGMA 1970-2013 (2014). SIGMA Economic Research and Consulting: Swiss Re, sigma №1 [tiešsaite]. [skatīts 2018. gada 5. oktobrī]. Pieejams: <http://institute.swissre.com/research/overview/?year=2014#anchor0>
184. Sihombing, F, Torbol, M. (2018). Parallel fault tree analysis for accurate reliability of complex systems. *Structural Safety* Vol.72 pp. 41–53.
185. Siquieroli, D., Boas, V., Matsuda, M., Toffoletto, O., Garcia, M. L. B., Saldiva, P.H.N., Marquezzini, M.V. (2018). Workers of São Paulo city, Brazil, exposed to air pollution: Assessment of genotoxicity. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* Vol. 834. pp.18-24.
186. *Sistēma* [tiešsaiste]. Latvian Oxford Living Dictionaries [skatīts 2019. gada 2. jūnijā]. Pieejams: <https://lv.oxforddictionaries.com/skaidrojums/sistema>
187. Smith, D., Veitch, B., Khan, F., Taylor, R. (2017). Understanding industrial safety: Comparing Fault tree, Bayesian network, and FRAM approaches. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.45. pp.88-101.
188. Sofiev, M., Siljamo, P., Valkama, I., Ilvonen, M., Kukkonen, J. (2006). A dispersion modelling system SILAM and its evaluation against ETEX data. *Atmospheric Environment* Vol. 40. pp.674–685.
189. *Solidaritātes fonda pieteikuma veidlapa* [tiešsaiste]. Eiropas Komisijas mājas lapa [skatīts 2018. gada 30. decembrī]. Pieejams: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/thefunds/doc/interventions_since_2002.pdf
190. *Statistikas likums* 1.pants. Pieņemts: 04.06.2015 Publicēts: "Latvijas Vēstnesis", 118 (5436), 18.06.2015. OP numurs: 2015/118.3.
191. Steinbuch, P. (2001). *Logistik*. Berlin: Herne Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, 422.p.
192. Stern, E. (2017). *Risk Assessment of Severe Accidents Involving Atmospheric Dispersion of Anhydrous and Hydrated Ammonia mixtures*. [tiešsaiste]. Presented at Ammonia World New and Old – 2017 conference Technion, Haifa, Israel 15.11.17 Pieejams: https://www.youtube.com/watch?v=p_IdUMMZVPo
193. Stoll A. M., Greene L. C. (1959). Relationship Between Pain and Tissue Damage Due to Thermal Radiation. *Journal of Applied Physiology* Vol. 14, No. 3. pp. 373–382.
194. Stolecka, K., Rusin, A. (2020). *Analysis of hazards related to syngas production and transport*. *Renewable Energy* Vol. 146. pp.2535-2555.
195. Swann, C.D., Preston, M.L., (1995). Twenty-five years of HAZOPs. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 8 (6), pp.349–353.
196. Sychev, Y.V. (2012). Risks of the man-made disasters of modern times. *Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности"*. Выпуск № 1 (41). стр. 1-9.
197. Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). *Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģenerētajiem piesārņojumiem*. Rīga: RTU izdevniecība. 138. lpp.

- 198.Šteinberga, I. (2007). *Kvazistatisku atmosfēras piesārņojuma līmeņu kompleksā analīze un modelēšana*. Promocijas darbs. Rīga: Latvijas Universitāte. Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte. 72.lpp.
- 199.Thomas, J., Suo, D. (2015). STPA-based method to identify and control feature interactions in large complex systems. *Procedia Engineering*. Vol.128. pp.12 – 14.
- 200.Tsao, C.K. Perry, W.W. (1979). Modifications to the Vulnerability Model: A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills. *Report № CG-D-38-79*. pp. 64.
- 201.Tseng, J.M., Su, T.S., Kuo, C.Y. (2012). International Symposium on Safety Science and Technology Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. *Procedia Engineering* Vol. 45 pp. 384 – 389.
- 202.Uddi, N., Ang., H.S.A. (2011). *Quantitative Risk Assessment for Natural Hazards*. Council on Disaster Risk Management (CDRM) Monograph No. 5. New York: American Society of Civil Engineers. 84.pp
- 203.*Ugunsdrošības un ugunsdzēsības likums*. (2002). [tiešsaiste]. LR likums, pieņemts Rīgā 2002. gada24. oktobrī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv [skatīts 2019. gada 2. janvārī].Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/68293-ugunsdrosibas-un-ugunsdzesibas-likums>
- 204.Uijt de Haag P.A.M., Ale, B.J.M. (2005). *Guideline for Quantitative Risk Assessment, "Purple Book" CPR18E*, National Institute of Public Health and Environment (RIVM), den Hague. Part 1: Establishments 237.pp.
- 205.Underwood, P., Waterson, P., Braithwaite, G. (2016). Accident investigation in the wild’ – A small-scale, field-based evaluation of the STAMP method for accident analysis. *Safety Science* Vol. 82. pp.129–143.
- 206.Urbans, M., Malahova, J., Ievins, J., Radin. M.A. (2019). Modern Trends in Disaster Planning and Management in the World and in Latvia. WSEAS Transactions on Environment and Development. *World Scientific and Engineering Academy and Society*. Vol.15. pp. 164.-175.
- 207.Urbans, M., Malahova, J., Ieviņš, J. (2017) Civil defense system in Latvia and identified drawbacks in Riga. *The 8 th international scientific conference Rural Development*. Conference Proceedings. pp.1350-1355.
- 208.Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. Identifying Potential Risks Created by State Joint-Stock Company Latvijas Dzelzceļš Jelgava Station and Evaluating Their Impact on Environment, Inhabitants and Infrastructure.(2019). No: *18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development": Proceedings*. Vol.18, Latvija, Jelgava, 22.-24. maijs, 2019.
- 209.Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. (2018). High hazard objects exploitation in rural regions and identified risk management problems in Latvia. *Proceedings of the 2018 International Conference "Economic science for rural development"* No 47. Jelgava: LLU ESAF, pp.341-350.
- 210.Urbans, M., Vilcāne, I., Malahova, J. (2019). Assessment of Technogenic Risks in Recovering Company for Worn Tyres. No: *18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development": Proceedings*, Latvija, Jelgava, 22.-24. maijs, 2019. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, pp.1616.-1622.

211. Urbans. M., Malahova, J., Jemeljanovs.V. (2020) Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. Published by VGTU Press, pp. 195-201.
212. Vadlīnijas rūpniecisko avāriju riska objektu izvietojuma minimālo drošības attālumu un teritorijas izmantošanas un apbūves ierobežojumu noteikšanai teritorijas plānošanas dokumentos. (2017). Rīga.43.lpp.
213. Vaoderhaegen, F., Polet, P. (2000), Human risk assessment method to control dynamic situations. *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 33, Issue 11, pp. 753-758.
214. Vesely, B., Stamatelatos, M., Dugan, J., Fragola, J., Minarick, J., Railsbach, J. (2002). Fault Tree Analysis Concepts and Applications, *NASA Publication*, Version 1.1. p. 230.
215. Viscusi, W. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world', *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 27(1), pp. 5-76.
216. Vivacqua A.S., Borges, M.R.S. (2012). Taking advantage of collective knowledge in emergency response systems. *Journal of network and Computer applications*. Vol. 35. pp. 189-198.
217. Vlachokostas, Ch., Achillas, Ch., Moussiopoulos, N., Banias, G. (2011). Multicriteria methodological approach to manage urban air pollution. *Atmospheric Environment*. Vol. 45, pp. 4160-4169.
218. Vyzaite, G., Dunnett, S., Andrews, J. (2006). Cause–consequence analysis of non-repairable phased missions. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 91. pp. 398–406.
219. Wanga, L., Wang, Y., Martínez, L. (2017). A group decision method based on prospect theory for emergency situations. *Information Sciences*. Vol. 418–419. pp. 119–135.
220. Wiekema, B.J.(1984) Vapour cloud explosions –an analysis based on accidents: Part II. *Journal of Hazardous materials*, Vol. 8, Issue 4, pp.313-329.
221. Wilson, R. (2002). Precautionary principles and risk analysis. *Technology and Society Magazine, IEEE*, Vol. 21(4), pp. 40–44.
222. Witta, E., Lill. I. (2018). Methodologies of contemporary disaster resilience research. *Procedia Engineering*. Vol. 212. pp. 970–977.
223. Xuanya, L., Jingjing, L., Xinwei, L. (2017). Study of dynamic risk management system for flammable and explosive dangerous chemicals storage area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Vol.(49) pp.983-988.
224. Yun, G., Rogers, W. J., Mannan, M. S., (2009). Risk assessment of LNG importation terminals using the Bayesian–LOPA methodology. *Journal Loss Prevention Process Industries*. Vol. 22 (1), pp. 91–96.
225. Zeng, B., Wub, T., Guo, X. (2019). Interprovincial trade, economic development and the impact on air quality in China. *Resources, Conservation & Recycling* Vol. 142. pp.204–214.
226. Zhang, H., Duan, H., Zuo, J., Song, M., Zhang, Y., Yang, B., Niu, Y. (2017). Characterization of post-disaster environmental management for Hazardous Materials Incidents: Lessons learnt from the Tianjin warehouse explosion. *China Journal of Environmental Management* . Vol. 199. pp.21-30.

227. Zio, E., Aven, T. (2013). Industrial disasters: Extreme events, extremely rare. Some reflections on the treatment of uncertainties in the assessment of the associated risks. *Process Safety and Environmental Protection*. Vol. 91. pp. 31–45.
228. Zio E.. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 177. pp.176–190.
229. Ахтямов, Р. Г., Сенюшкин, Н. С., Доценко, В. А., Ялчибаева, Л. Н. (2012). Оценка критического срока эксплуатации оборудования опасных объектов. [tiešsaiste]. Молодой ученый. №4С. стр. 38-41. [skatīts 2019. gada 20. jūnijā]. Pieejams: <https://moluch.ru/archive/39/4588/>. (Ahtjamov, R.G., Senjuškin, N.S., Docenko, V.A., Jalčibaeva, L.N. (2012). Bīstamo objektu iekārtu kritiskā ekspluatācijas laika novērtēšana. [tiešsaiste]. Jaunais zinātnieks. 38-41. lpp. [skatīts 2019. gada 20. jūnijā]. Pieejams: <https://moluch.ru/archive/39/4588/>).
230. Багров, А.И., Муртазов, А.К. (2010). *Техногенные системы и теория риска*. Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. 207.стр. (Bagrov, A.I., Murtazov, A.K. (2010). *Tehnogēnās sistēmas un riska teorija*. Rjazaņa: Rjazaņas valsts universitāte S.A. Eсенина vārda. 207.lpp.).
231. Барышев, Е.Е., Волкова, А.А., Тягунов, Г.В., Шишкунов, В.Г. (2014). *Ноксология*. Екатеринбург: Издательство Уральский федеральный университет. 160.стр. (Barišev, E.E., Volkova, A.A., Tjagunov, G.V., Šiškunov, V.G. (2014). *Noksoloģija*. Ekaterinburga: Urālās Federālās universitātes izdevniecība. 160.lpp.).
232. Белов, П.Г. (1999). *Моделирование опасных процессов в втeхносфере*. Москва: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ. 124.стр. (Belov, P.G. (1999). Bīstamo procesu modeļēšana tehnovidē. Maskava: Civilās aizsardzības akadēmijas MČS RF. 124.lpp.).
233. Белов, П.Г. (2003). *Системный анализ и моделирование опасных процессов в втeхносфере*. Москва: Издательский центр «Академия». 512.стр. (Belov, P.G. (2003). Sistēmu analīze un bīstamo procesu modelēšana tehnovidē. Maskava: Izdevniecības centrs “Akadēmija” 512.lpp.).
234. Белов, П.Г. (2013). Автоматизированное прогнозирование риска каскадных техногенных происшествий. Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования Том 3, 11(4) стр.13-23. (Belov, P.G. (2013). Automatizētā kaskādes tehnovides negadījumu riska prognozēšana. Civilās aizsardzības stratēģija: problēmas un pētījumi. S 3, 11(4) 13-23.lpp.).
235. Белов, С.В., Ильницкая, А.В., Козьяков, А.Ф., Морозова, Л.Л., Сивков, В.П., Спиридонов, В.С., Якубович, Д.М. (2005). *Безопасность жизнедеятельности*. Москва: Высшая школа. 5-е изд., испр. и доп. 616.стр. (Belov, S.V., Iljinska, A.V., Kozjakov, A.F., Morozova, L.L., Sivkov, V.P., Spiridonov, V.S., Jakubovič, D.M. (2005). Dzīvesveida drošība. Maskava: Augstskola. 5 izdevums, labots un papildināts 616.lpp.).
236. Беляев, Г.Н. (2008). Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций. *Известия Томского политехнического университета*. Т. 312. № 5 стр. 150-152. (Beļajev, G.N. (2008). Zaudējumu novērtēšanas metodes no tehnovides ārkārtējām situācijām. *Tomskas politehniskās universitātes ziņnesis*. S.312 . № 5 150-152 lpp.).
237. Блэк, С.К., Нихаус Ф. (1980). Насколько безопасно “слишком” безопасное? *Бюллетень МАГАТЭ*, [tiešsaiste]. т.22, N1. стр.47-58. [skatīts 2019. gada 22. jūnijā].

- Pieejams: https://www.iaea.org/sites/default/files/22102084050_ru.pdf (Blek, S.K., Nihaus, F. (1980). *Cik drošs "parāk" drošs? Izdevums SAEA, [tiešsaiste]*. t.22 N1. 47-58.lpp. [skatīts 2019. gada 22. jūnijā] Pieejams: https://www.iaea.org/sites/default/files/22102084050_ru.pdf).
- 238.Васильев, С.И., Горбунова, Л.Н. (2012). *Основы промышленной безопасности*. Красноярск: СФУ 593.стр. (Vasiljev, S.I., Gorbunova, L.N. (2012). *Ražošanas drošības pamati*. Krasnojarska:SFU 593.lpp.).
- 239.Ваштиев, В.К. (2011). Оценка воздействия опасных факторов взрыва и пожара на людей. *Безопасность в техносфере*. Ижевск. Выпуск 7. стр.72-78. (Vaštiev, V.K. 2011). *Bīstamo sprāzienu un ugunsgrēka faktoru iedarbība uz cilvēkiem. Tehnovides drošība*. Iževska. 7 izlaidums. 72-78 lpp.).
- 240.Вентцель, Е.С. (1980). *Исследование операций*. Москва: Наука. 205.стр. (Ventcel, E.S. (1980). *Operāciju pētījumi*. Maskava: Zinātne. 205.lpp.).
- 241.Ветошкин, А.Г. (2017). *Нормативное и техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности*. Часть 2. Издательство: Инфра-Инженерия. 652.стр. (Vetoškin, A.G. (2017). *Normatīvais un tehniskais dzīvesdrošības nodrošinājums*. 2. daļa. Izdevniecība: Infra-Inženierija 652.lpp.).
- 242.Вигдорович, В.И. (2004). Техногенный риск. Проблемы и решения. *Вестник ТГУ*, т.9, вып.4, стр. 405-419. (Vigdorovič, V.I. (2004). *Tehnovides risks. Problēmas un risinājumi*. TGU Vēstnesis, S.9. izl. 4, 405-419.lpp.).
- 243.Владимиров, В.А. (2012). Катастрофы и социально-экономическое развитие. *Стратегия гражданской защиты: Проблемы и исследования*. 1(8) том 5. стр.197-221. (Vladimirov, V.A. (2012). *Katastrofas un sociāli-ekonomiskā attīstība. Civilās aizsardzības stratēģija: Problēmas un pētījumi*. 1(8) S 5. 197-221 lpp.).
- 244.Владимиров, В.А., Измалков, В.И., Измалков, А.В. (2002). *Оценка риска и управление техногенной безопасностью*. Монография. Москва: Деловой экспресс. 184. стр. (Vladimirov, V.A., Izmalkov, V.I., Izmalkov, A.V. (2002). *Riska novērtēšana un tehnovides drošības vadība*. Monogrāfija. Maskava: Biznesa ekspresis 184.lpp.).
- 245.Гордиенко, Д.М., Шебеко, Ю.Н., Кириллов, Д.С., Трунева, В.А., Гилетич, А.Н., Комков, П.М. (2012). *Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов*. Москва: ФГБУ ВНИИПО. 242.стр. (Gordienko, D.M., Šebeko, J.N., Kirillov, D.S., Truneva, V.A., Giletič, A.N., Komkov, P.M. (2012). *Ražošanas objektu ugunsgrēka riska novērtēšana*.
- 246.Гордиенко, Д.М., Карпов, А.В. и др. (2009). Данные о частотах возникновения пожаров и пожароопасных ситуаций в общественных зданиях различного назначения и на производственных объектах. *Пожарная безопасность: научно-технический журнал*. № 2. - стр. 42-46. (Gordienko, D.M., Karpov, A.V. u.c. (2009). *Dati par ugunsgrēku biežumu un ugunbīstamo situāciju skaits sabiedriskās ēkas un ražošanas objektos. Ugundzēsības drošība: zinātniski-tehniskais žurnāls*. № 2. 42-46.lpp.).
- 247.Гражданкин, А.И., Лисанов, М.В., Печеркин, А.С. (2001). Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов. *Безопасность труда в промышленности*, №5. стр. 33-36. (Graždankin, A.I., Lisanov, M.V., Pečerkin, A.S. (2001), *Varbūtības atzīmju izmantošana analizējo*

- tdrošības situāciju ražošanas bīstamības objektos. *Darba aizsardzība ražotnē*. 33-36.lpp.).
- 248.Еналеев, Р.Ш., Теляков, Э.Ш., Качалкин, В.А., Чистов, Ю.С., Закиров, А.М. (2011). Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях. *Безопасность жизнедеятельности*. №1. стр. 36 – 41. (Enaleev, R.Š., Teljakov, E.Š., Kačalkin, V.A., Čistov, J.S., Zakirov, A.M. (2011). Sanitāro zaudējumu prognozēšana no siltumstarojuma iedarbības ārkārtējā situācijā. *Dzīvesveida drošība*. №1. 36 – 41.lpp.).
- 249.Еналеев, Р.Ш., Теляков Э.Ш., и др. (2014). Модели горения углеводородов. *Вестник Казанского технологического университета*. стр.123-128. (Enaleev, R.Š., Teljakov, E.Š., u.c. (2014). Oglūdeņražu degšanas modeļi. *Kazaņas tehnoloģiskās universitātes vēstnesis*. 123-128.lpp.).
- 250.Еналеев, Р.Ш., Теляков, Э.Ш., Чистов, Ю.С., Гасилов, В.С. (2014). Вероятностные модели термических поражений. *Вестник Казанского технологического университета*. 357-359. стр. (Enaleev, R.Š., Teljakov, E.Š., Čistov, J.S., Gasilov, V.S. (2014). Termisko bojājumu varbūtības modeļi. *Kazaņas tehnoloģiskās universitātes vēstnesis*. 357-359.lpp.).
- 251.Еналеев, Р.Ш., Теляков, Э.Ш., Красина, И.В., Гасилов, В.С., Тучкова, О.А. (2013). Системный подход в прогнозировании последствий воздействия опасных факторов пожара. *Вестник технологического университета*. т.15, в.8, стр.322-333. (Enaleev, R.Š., Teljakov, E.Š., Krasina, I.V., Gasilov, V.S., Tučkova, O.A. (2013). Sistēmu pieeja un zaudējumu prognozēšana no bīstamiem ugunsgrēka faktoriem. *Kazaņas tehnoloģiskās universitātes vēstnesis*. S 15, izl.8, 322-333.lpp.).
- 252.Жилинский, Г.В., Часнойть, Е.В., Алексеев, А.Ч., Дорошенко, С.А. (2014). Анализ летальности, основных прогностических факторов и осложнений среди пациентов с ожоговой травмой. №11. *Медицинские новости*. стр.87-91. (Žilinskis, G.V., Časnoit, E.V., Alekseev, A.Č., Dorošenko, S.A. (2014). Letalitātes analīze starp pacientiem ar apdegumiem. №11. *Medīcināsi ziņas*. 87-91.lpp.).
- 253.Закиров, А.М. (2011). Количественная оценка опасности поражения человека тепловым излучением при пожарах на химических и нефтехимических предприятиях. *Диссертация*. Казань: КГТУ. 107.стр. (Zakirov, A.M. (2011). Skaitliskais cilvēka traumēšanas bīstamības novērtējums no siltumstarojuma notiekot ugunsgrēkam ķīmijās uzņēmumos. *Disertācija*. Kazaņa: KGTU. 107. lpp.).
- 254.Замай, С.С., Якубайлик, О.Э. (1998). Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города. Красноярск: Красноярский Межвузовский центр информационных технологий в экологическом образовании. 109.стр. (Zamai, S.S., Jakubailik, O.E. (1998). *Atmosfēras piesārņojuma ar ražošanas izmešiem novērtējuma un prognozēšanas modeļi, kas saistīti ar informatīvi-analītisko sistēmu dabas aizsardzības dienestiem lielpilsētā*. 109,lpp.).
- 255.Зарипов, Ш.Х., Марданов, Р.Ф., Шарафутдинов, В. Ф., Гильфанов, А.К., Никоненкова, Т.В. (2018). Математические модели переноса загрязнений в окружающей среде, Казань: Казанский университет. 47. стр. (Zarinov, Š.H., Mardanov, R.F., Šarafutdinov, V.F., Giļfanov, A.K., Nikojnenkova T.V. (2018). *Piesārņojuma pārvietošanas modeļi apkārtējē vidē*. Kazaņa: Kazaņas universitāte. 47.lpp.).

- 256.Здановский, В.Г. (2014). Вероятностный анализ безопасности аэс. *Проблемы охорони праці в Україні: збірник наукових праць*. Киев. № 27. стр. 72–84. (Zdanovski, V.G. (2014) AES drošības varbūtības analīze. *Darba aizsardzības problēmas Ukrainā: Zinātnisko darbu krājums*. Kijeva, № 27. 72–84.lpp.).
- 257.Зубец, А.Н., Новиков, А.В., Сазанакowa, А.С. (2016). Оценка «стоимости» человеческой жизни с учетом морального ущерба. *Вестник Финансового университета* № 2(22). стр. 6-15. (Zubec, A.N., Novikov, A.V., Sazanakova, A.C. (2016). Cilvēka dzīvības “vērtības” novērtējums ņemot vērā morālo kaitējumu. *Finanšu universitātes vēstnesis*. № 2(22). 6-15.lpp.).
- 258.Измалков, В.И., Измалков, А.В. (1998). *Техногенная и экологическая безопасность и управление риском*. Издательство: СПб, НИЦЭБ РАН. 482.стр. (Izmalkov, V.I., Izmalkov, A.V. (1998). *Tehnogēna un ekoloģiskā darušība un riska vadība*. Izdevniecība :SPb, NIICEB, RAN. 482.lpp.).
- 259.Ильинская, Е.Г., Исаев, Ю.С. (2008). Особенности судебно-медицинской оценки степени тяжести вреда причиненного здоровью человека в случаях термической травмы. *Судебно-медицинский журнал* No. 14. стр.45-47. (Ijinska, E.G., Isaev, J.S. (2008). Tiesas medicīniskās ekspertīzes bīstamības pakāpes novērtējums cilvēka veselībai ,termiskās traumas gadījumos. *Tiesas medicīniskā žurnāls*. No. 14. 45-47.lpp.).
- 260.Кабанов, Л.П., Исламов, Р.Т., Деревянкин, А.А., Жуков, И.В., Берберова, М.А., Дядюра, С.С. (2011). Оценка риска для АЭС с ВВЭР. *Материалы 7 международной научно-технической конференции "Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР"*. ОКБ "Гидропресс". (Kabanov, L.P., Islamov, R.T., Derevjankin, A.A., Žukov, I.V., Berberova, M.A., Djadura, S.S. (2011). Riska novērtējums AES ar VVER. *7.straptautiskās zinātniski-tehniskās konferences materiāli "Drošības nodrošināšana AES ar VVER"*. ОКБ "Hidropress").
- 261.Калинникова, М.В. (2010). Социальные аспекты экологизации современного общества. *Известия Саратовского университета*. Т. 10. Сер. Социология, Политология. Вып. 4. стр. 11-13. (Kalinnikova, M.V. (2010). Mūsdienas sabiedrības ekoloģijas sociālie aspekti. *Saratovas universitātes vēstnesis*. S. 10. Ser. Socioloģija, politoloģija. Izl. 4, 11-13.lpp.).
- 262.Карабчук, Т., Моисеева, А., Соболева, Н. (2015). Исследование зарубежных методик и отечественных практик определения экономического ущерба, наносимого гибелью в результате ДТП. *Экономическая социология*. Т.16, № 5. стр.77–101. (Karabčuk, T, Moiseeva, A., Soboleva, N. (2015). Ārzemju un vietējo metodiku pētījums , kā novērtēt ekonomiskos zaudējumus no CSN. *Ekonomiskā socioloģijā*. S.16. № 5. 77–101.lpp.).
- 263.Карауш, С.А., Герасимова, О.О. (2010). Оценка поражения человека при пожарах проливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет. 22.стр. (Karauš, S.A., Gerasimova O.O. (2010). *Cilvēka bojāejas novērtējums notiekot viegli uzliesmojošo šķidrumu noplūdei*. Tomska: Tomskas valsts arhitektūras-celtniecības universitāte. 22.lpp.).
- 264.Каргаполова, Е.О., Храпский, С.Ф. (2015). *Физико-химические основы развития и тушения пожара*. Омск: издательство ОмГТУ, 46.стр. (Kargapolova, E.O, Hrapskis, S.F. (2015). *Fiziski- ķīmiskie ugunsgrēka attīstības un dzēšanas pamati*. Omska: izdevniecība OmGTU, 46.lpp.).

265. Касьяненко, А. А. (2008) *Современные методы оценки рисков в экологии*. Москва: Российский университет дружбы народов. 270.стр. (Kasjaņenko, A.A. (2008). *Mūsdienu ekoloģisko risku novērtēšanas metodes*. Maskava: Krievijas tautu darudzības universitāte. 270.lpp.).
266. Козлитин, А.М. (2005). Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска*. 16-43 стр. (Kozlitin, A.M. (2005). Sprādziena varbūtības seku analīzes metodes, cilvēkām, tehnoloģijām, celtnēm, notiekot avārijas situācijas naftas uzņēmumos. *Ražošanās un ekoloģiskās drošības vadība, pamatojoties uz risku*. 16-43.lpp.).
267. Козлитин, А.Н. (2006). Развитие теории и методов оценки рисков для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса. *Диссертация*. Уфа. стр.395. (Kozlitin, A.N. (2006). Riska novērtēšanas teorijas attīstība, lai nodrošināt ražošanas drošību naftas un gāzes kompleksā. *Disertācija*. Ufa. 395.lpp.).
268. Куземин, А.Я., Климов, И.Н. (2010). Модели и методы прогнозирования и оценки техногенных рисков функционирования производств. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. Издательство ХНУРЭ, Вып. 152. стр 54-58. Kuzemin, A.J., Klimov, I.N. (2010). Rzažošanas uzņēmumus tehnogēno risku prognozēšanas modeļi un metodes. *Automātizētās vadības sistēmas un automatizācijas iekārtas*. Izdevniecība HNURÉ, Izd.152. 54-58 lpp.).
269. Кузьмина, М.С. *Методы прогноза вероятности причинения ущерба человеческим и материальным ресурсам* [tiešsaiste]. Engjournal.ru [skatīts 2019. gada 16.augustā]. Pieejams: <http://engjournal.ru/articles/1328/html/files/assets/basic-html/page1.html> (Kuzmina M.S. Cilvēcisko un materiālo resursu zaudējumu prognozēšanas varbūtības metodes. tiešsaiste]. Engjournal.ru [skatīts 2019. gada 16.augustā]. Pieejams: <http://engjournal.ru/articles/1328/html/files/assets/basic-html/page1.html>).
270. Куликов, В.В., Гаврилин. И.И. (2014). *Огненный шар*. Екатеринбург: УрГУПС 24. стр. (Kulikov, V.V., Gavrilin, I.I. (2014), *Ugunslode*. Jekaterinburga: URGUPS 24.lpp.).
271. Лихачева, Э.А., Тимофеев, Д.А. (2009). *Очерки по геоморфологии урбосферы*. Москва: Медиа-ПРЕСС. 352.стр. (Lihačeva, E.A., Timofeev, D.A. (2009). *Urbosfēras geomorfoloģija*. Maskava: Media-Press. 352 lpp.).
272. Лозовский, В.Н., Бондал, Г.В., Каксис, А.О., Колтунов, А.Е. (1988). *Диагностика авиационных деталей*. Москва: Машиностроение, 280.стр. (Lozovskii, V.N., Bondal, G.V., Kaksis, A.O., Koltunov, A.E. (1988). *Aviācijas detaļu diagnostika*. Maskava: "Mašinstroenije, 280.lpp.).
273. Мандра, Ю.А., Кознеделева, Т. А., Зеленская, Т. Г., Еременко, Р. С., Васильева, Н. Н. (2015). *Учение о биосфере*. Ставрополь: Издательство: Ставропольский государственный аграрный университет. 116. стр. (Mandra, J.A., Koznedeleva, T.A., Zelenksaja, T.G., Eremenko, R.S., Vasiljeva, N.N. (2015). *Mācība par biosfēru*. Stavropole. Izdevniecība: Stavropoles valsts agrārā universitāte. 116.lpp.).

- 274.Мастрюков, Б.С. (2003). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях* Москва: Издательский центр "Академия", 336.стр. (Mastrjukov, B.S. (2003). *Drošība ārkārtējās situācijās*. Maskava:Izdevniecības centrs "Akadēmija". 336.lpp.).
- 275.Некрасова, Н.А., Некрасов, С.И. (2010). *Философия техники*. Учебник. Москва: МИИТ, 164.стр. (Nekrasova, N.A., Nekrasovs., S.I. (2010). *Tehnikas fizlozofija*. Mācību līdzeklis. Maskava:МИИТ, 164.lpp.).
- 276.Никитин, Н.А., Ивахнюк, Г.К., Трофимов, И.В. (2013). Основы обеспечения безопасности на потенциально опасных объектах обращения нефтепродуктов. *Научно-аналитический журнал*. Выпуск №3 стр.27-37. (Nikitin, N.A., Ivahnjuk, G.K., Trofimov, I.V. (2013). Drošības nodrošināšanas pamati potenciāli bīstamajos naftas produktu objektos. *Zinātniski-analitiskais žurnāls*. Izl. №3. 27-37.lpp).
- 277.Остапенко, Ю.Н., Дмитриев, А.В. (2008). *Медицинские аспекты ликвидации аварий, вызванных некоторыми химически опасными веществами*. Методические рекомендации Nr. 24. Москва 24.стр. (Ostapenko, J.N., Dmitriev, A.V. (2008). *Avāriju likvidācijas medīciniskie aspekti, kurus izsauc daudādās bīstamās ķīmiskās vielas*. Metodiskās rekomendācijas Nr. 24. Maskava. 24.lpp.).
- 278.Пекелис, В. (1986). *Твои возможности, человек!*. Москва: Издательство «Знание». 272.стр. (Pekelis, V. (1986). *Tavas iespējas cilvēks!*. Maskava: Izdevniecība "Znanije" 272.lpp.).
- 279.Перегудов, Ф. И., Тарасенко, Ф. П. (1989). *Введение в системный анализ*. Москва: Высшая школа. 360.стр. (Peregudov, F.I., Tarasenko, F.P. (1989). *Ievads sistēmu analizē*. Maskava: Augstskola. 360.lpp.).
- 280.Пичахчи, А.Г. (2015). Методика прогнозирования взрывопожарной опасности газовоздушных смесей. *Вестник Института гражданской защиты Донбасса*. Выпуск 1 (1). стр.26-35. (Pičahči, A.G. (2015). Sprādzinbīstamības prognozēšanas metodika. *Donbasa civilās aizsardzības institūta vēstnesis*. Izd.1(1). 26-35 lpp.).
- 281.Поболь, О.Н., Фирсов, Г.И. (2013). Техносфера, ноосфера и экологические проблемы современных техногенных систем. Томск: *Вестник ТГУ*, т.18, вып.3. стр. 1073-1076. (Pobol, O.N., Firsov, G.I. (2013). Tehnovide, noosfēra un ekoloģiskās problēmas. Tomska: *TGU vēstnesis*, S.18, izd. 3 1073-1076.lpp.).
- 282.Поникаров, С.И., Галеев, А.Д. (2017). *Анализ риска аварий на опасных производственных объектах*. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет. 152. стр. (Ponikarov, S.I., Galeev, A.D. (2017). *Riska analīze bīstamajos ražošanas objektos*. Kazanā: Kazanā nacionālais pētījumu tehnoloģiskā universitāte. 152.lpp).
- 283.Попова, Л.А. (1991). *Сроки восстановительного лечения и временной нетрудоспособности больных с переломами костейконечностей при реабилитации их методом чрескостного остеосинтеза по Илизарову*. Курган 21.стр. (Popova, L.A. (1991). *Ārstēšanas termiņi un pārejošas darbnespējas laiks slimajiem ar kaulu lūzumiem pēc Ilizarova*. Kurgana. 21.lpp.).
- 284.Потапов, Г.П. (2000). *Экологические основы техносферы*. Казань: Экоцентр. 181. стр. (Potapov, G.P. (2000). *Tehnovides ekoloģiskie pamati*. Kazana: Ekocentrs. 181.lpp).
- 285.Ройк, В.Д. (2017). *Досрочные пенсии за работу во вредных условиях труда от патерналистской к страховой модели*. Издательство: Проспект. 478.стр. (Roik, V.D. (2017). *Dosročas pensijas par darbu apdraudētos apstākļos no patērālisma pieeja uz drošības modeli*. Izdevniecība: Prospekt. 478.lpp.).

- V.D. (2017). *Priekšlaicīgas pensijas par darbu bīstamajos darba apstākļos*. Izdevniecība :Prospekts. 478 lpp.).
- 286.Романов, В.И. (2006). *Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу*. Москва: Физматкнига. 368.стр. (Romanov, V.I. (2006). *Viedoklis par avārijas izmešiem atmosfērā*. Maskava: Fizmatkniga. 368.lpp.).
- 287.Сергеев, С.Ф. (2008). *Инженерная психология и эргономика*. Москва: НИИ школьных технологий. 176.стр. (Sergejev, S.F. (2008). *Inženierpsiholoģija un ergonomika*. Maskava:NII skolās tehnoloģijās. 176.lpp.).
- 288.Старовойтова, Е. В., Галеев, А. Д., Поникаров, С. И. (2013). Оценка последствий аварийного выброса сжиженного аммиака с использованием вероятностного критерия поражения. *Вестник Казанского технологического университета*. стр.259-261. (Starovoitova , E.V., Galeev, A.D., Ponikarov, S.I. (2013). Sašķidrinātā amonjaka avārijas izmešu novērtējums izmantojot varbūtības kritērijus. *Kazaņas tehnoloģiskās universitātes vēstnesis*. 259-261 lpp.).
- 289.Тимофеева, С.С. (2015). *Методы и технологии оценки аварийных рисков*. Иркутск: Издательство ИрГТУ, 155.стр. (Timofeeva, S.S. (2015). *Avārijas risku novērtēšanas metodes un tehnoloģijas*. Irkutsk: Izdevniecība IrGTU, 155.lpp.).
- 290.Унижаева, А.Ю., Мартынчик, С.А. (2013). Медико-экономическая оценка затрат и качества стационарной помощи при ожоговой травме. *Социальные аспекты здоровья населения*. №ФС77-28654. стр.1-11. (Unižaeva, A.J., Martinčik, S.A. (2013). Medīciniski-ekonomisko ieguldījumu novērtējums un stacionārās palīdzības kvalitāte termisko apdegumu gadījumā. *Sociālie iedzīvotāju veselības aspekti*. №ФС77-28654 1-11 lpp.).
- 291.Фалеев, М.И., Измалков. В.И. (2013). Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. 2 (9) том 5. стр. 4-12. (Faleev, M.I., Izmalkov, V.I. (2013).Zaudējumu novērtēšanas metodiskie aspekti notiekot avārijai kritiski svarīgajos un potenciāli bīstamajos objektos. *Civilās aizsardzības stratēģija problēmas un pētījumi*. 2(9) S 5. 4-12 lpp.).
- 292.Федоров, А.В., Кузьмин, А.А., Романов, Н.Н., Минкин, Д.А. (2018). Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара. *Научно-аналитический журнал «вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России»* 34-43 стр. (Fedorov, A.V., Kuzmin, A.A., Romanov, N.N., Minkin, D.A. (2018). Dzelzs konstrukciju uguns aizsardzības efektivitātes novērtēšanas metodes, naftas un gāzes objektos notiekot ugunsgrēkam. *Zinātniski-analītiskais žurnāls "Sankt-Pēterburgas universitātes valsts pret uguns aizsardzības dienesta MČS Rossii"* 34-43 lpp.).
- 293.Хамидуллина, Е.А., Тарасова, М.Н. (2017) Оценка риска последствий аварийной разгерметизации цистерны с опасным химическим веществом на железной дороге. *XXI век. Техносферная безопасность*. стр. 104-118. (Hamidullina, E.A., Tarasova, M.N. (2017). Dzelzceļa cisternas avārijas riska novērtēšana ar bīstamo ķīmisko vielu. *XXI. gadsimts. Tehnosfēras drošība*. 104-118 lpp.).
- 294.Харисов, Г.Х., Бирюков, Р.Н., Сидоренко, Г.Г., Мирзаянц, А.В. (2012). *Надежность технических систем и техногенный риск*. Москва: Академия Государственной противопожарной службы. 167.стр. (Harisov, G.H., Birjukov,

- R.N., Sidorenko, G.G., Mirzajanc, A.V. (2012). *Tehnisko sistēmu drošība un tehnogēnais risks*. Maskava: Valsts ugunsdzēsības dienesta akadēmija. 167.lpp.).
295. Чернышов, В.Н., Чернышов, А.В. (2008). *Теория систем и системный анализ*. Тамбов: Издательство ТГТУ. 96. стр. (Černišov, V.N., Černišov, A.V. (2008). *Sistēmu teorija un sistēmu analīze*. Tambova: Izdevniecība TGTU. 96 lpp.).
296. Шантала, В.Г., Радоуцкий, В.Ю., Шантала, В.В. (2010). *Основы моделирования чрезвычайных ситуаций*. Белгород: Белгородский государственный технологический университет. 165.стр. (Šantala, V.G., Radouckis, V.J., Šantala, V.V. (2010). *Ārkārtējo situāciju modelēšanas pamati*. Belgoroda: belgorodas valsts tehniskā universitāte. 165.lpp.).
297. Швыряев, А.А., Меньшиков, В.В. (2004). *Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе*. Москва: МГУ. 124.стр. (Švirjaev, A.A., Menšikov, V.V. (2004). *Atmosfēras piesārņojuma ietekmes riska novērtēšana*. Maskava: MGU. 124 lpp.).
298. Шубин, Р.А. (2012). *Надёжность технических систем и техногенный риск*. Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 80. стр. (Šubin, R.A. (2012). *Tehnogēnais risks un tehnisko sistēmu uzticamība*. Tambova: izdevniecība FGBOU VPO "TGTU" 80.lpp.).
299. Щербаков, А.С., Савельев, А.В. (2013). Определение экономического ущерба от аварий и стихийных бедствий на промышленных предприятиях лесного комплекса. *Лесной вестник* 2/2013. стр.126-129. (Šerbakov, A.S., Saveljev, A.V. (2013). *Ekonomisko zaudējumu noteikšana no avārijas un stihijas meža ražošanās uzņēmumos*. *Meža vēstnesis* 2/2013. 126-129.lpp.).
300. *Экологический словарь* [tiešsaiste]. Академик. [skatīts 2018. gada 18. janvārī].
Pieejams:
<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/515/%D0%98%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%94%D0%95%D0%9D%D0%A2> (Ekoloģiskā vārdnīca[tiešsaiste]. Akadēmiks.
[skatīts 2018. gada 18. janvārī]. Pieejams:
<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/515/%D0%98%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%94%D0%95%D0%9D%D0%A2>).

PIELIKUMI

1. pielikums

Apdegumu pakāpes klasifikācija

Apdeguma pakāpe	Definīcija	Siltumstarojuma intensitāte, ^{413 414} kWt/m ²	Ilgums, sekundes	Siltumstarojuma deva, ⁴¹⁵ Dž/m ²
1	2	3	4	5
I	Ādas apsārtums: ādas kapilāri paplašinās, un audos izplūst plazma – āda kļūst sārta un pietūkst. Šīs izpausmes pazūd pēc 2–4 dienām un beidzas ar pigmentāciju un ādas lobīšanos.	7,0	15–20	1,2*10 ⁵
		10,5	6–8	
		20	2	
		30	1	
II	Pūšļu veidošanās: plazma atslāņo ādas raga kārtu, un rodas pūšļi. Dažu dienu laikā tie uzsūcas vai plīst, reizēm sastruto. Pēc pūšļa pārplīšanas paliek jēlums, kas sadzīst 1–2 nedēļu laikā (ja nesāk strutot). Kādu laiku uz ādas ir pigmentācija, kas parasti pazūd 6–12 mēnešu laikā.	7,0	30–40	2,2*10 ⁵
		10,5	12–16	
		20	3	
		30	2	
		40	>1	
III	Brūču veidošanās: sākumā var līdzināties II pakāpes apdegumam. 3.–5. dienā pēc apdeguma kļūst redzams, vai iespējama ādas pašatjaunošanās (A grupa) vai bojā gājuši visi audi (B grupa). A grupas gadījumā parasti nav nepieciešama ādas pārstādīšana (B grupas apdeguma gadījumā jāveic ādas pārstādīšana). Izņēmums ir nelielas apdeguma brūces, kurām ādas epitēlijs pāraug pāri no brūces malām. Kad šis apdegums pilnīgi sadzīst, paliek rētas. Kad uz ādas ir pigmentācija – jaunā āda vietām ir tumšāka, citur – zaudējusi pigmentu un ir bāla.			3,2*10 ⁵
IV	Audu pārogļošanās: bojātā āda sākumā parasti ir nespodri bālgani pelēka, līdzīga pergamentam, vēlāk kļūst brūna vai pat melna. Audi ir cieti, no ievainojuma neasiņo. Ja apdegums ir visapkārt loceklim (cirkulārs), elastību zaudējušie audi var saņņaut locekli, traucēt tajā asinsriti un radīt nekrozi. Pirmajās stundās pēc apdeguma sāpju kairinājuma, kā arī plazmas zaudējuma dēļ rodas vispārējas pārmaiņas organismā – paātrināts pulss, slāpes, nemiers. Vēlāk, kad sāk uzsūkties bojā gājušie audi, un, ja brūce sastruto, zūd ēstgriba, paaugstinās ķermeņa temperatūra, rodas nespēks, novāješana, tiek traucēta aknu, nieru, sirds un asinsvadu, kā arī gremošanas orgānu darbība.			3,2*10 ^{5>}

⁴¹³ Васильев, С.И., Горбунова, Л.Н. (2012). *Основы промышленной безопасности*. Красноярск: СФУ 445.стр.

⁴¹⁴ Шантала, В.Г., Радоуцкий, В.Ю., Шантала, В.В. (2010). *Основы моделирования чрезвычайных ситуаций*. Белгород: Белгородский государственный технологический университет. 92.стр.

⁴¹⁵ Карауш, С.А., Герасимова, О.О. (2010). *Оценка поражения человека при пожарах проливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей*. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет. 9. Стр.

2. pielikums

Vidēja IKP Latvijā, ņemot vērā cenas 2018. gadā. (Avots: autora veidots).

Gads	Novērtējuma IKP vērtība, EUR	2,5 %	Gads	Novērtējuma IKP vērtība, EUR	2,5 %
2018	14 704	367,6	2036	22 932,28	573,31
2019	15 071,6	376,79	2037	23 505,59	587,64
2020	15 448,39	386,21	2038	24 093,23	602,33
2021	15 834,60	395,87	2039	24 695,56	617,39
2022	16 230,47	405,76	2040	25 312,95	632,39
2023	16 636,23	415,21	2041	25 945,34	648,63
2024	17 051,44	426,29	2042	26 593,97	664,85
2025	17 477,73	436,94	2043	27 258,82	681,47
2026	17 914,67	447,87	2044	27 940,29	698,51
2027	18 362,54	459,06	2045	28 638,80	715,97
2028	18 821,60	470,54	2046	29 354,77	733,87
2029	19 292,14	482,30	2047	30 088,64	752,22
2030	19 774,44	494,36	2048	30 840,86	771,17
2031	20 268,80	506,72	2049	31 612,03	790,30
2032	20 775,52	519,39	2050	32 402,33	810,06
2033	21 294,91	532,37	2051	33 212,39	830,31
2034	21 827,28	545,68	2052	34 042,7	851,07
2035	22 372,96	559,32			
			Kopā: 2020–2052	77 7854,3	2,5 % = konst.

IKG10_070. Iekšzemes kopprodukta un nacionālā kopienākuma saistība
2018. gadā, faktiskajās cenās, tūkstošos EUR⁴¹⁶

	2018. gads
IEKŠZEMES KOPPRODUKTS	29 523 664
PLUS: No ārvalstīm saņemtā neto atlīdzība nodarbinātajiem	478 818
No ārvalstīm saņemtā atlīdzība nodarbinātajiem (+)	545 367
Ārvalstīm samaksātā atlīdzība nodarbinātajiem (-)	66 549
MĪNUS: Ārvalstīm samaksātie nodokļi par ražojumiem (-)	59 881
PLUS: No ārvalstīm saņemtās subsīdijas par ražojumiem (+)	432 700
PLUS: No ārvalstīm saņemtie neto īpašuma ieņēmumi	-1 234 071
No ārvalstīm saņemtie īpašuma ieņēmumi (+)	465 210
No ārvalstīm saņemtie procenti	336 008
Ārvalstīm samaksātie īpašuma ieņēmumi (-)	1 699 281
Ārvalstīm samaksātie procenti	283 095
IR: NACIONĀLAIS KOPIENĀKUMS	

⁴¹⁶Iekšzemes kopprodukta un nacionālā kopienākuma saistība 2018. gadā (2019). [tiešsaiste]. Centrālā statistiskās pārvalde. [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: https://data1.csb.gov.lv/pxweb/lv/ekfin/ekfin_ikp_IKP_ikgad/IKG10_070.px/table/table_ViewLayout1/

4. pielikums

Zaudējumi no cilvēka paliekošas darbaspējas zaudējuma⁴¹⁷

Nr.	Darbaspējas zaudēšanas iemesls	Pakāpe, %	Zaudējumi, cilvēkdienas
1.	Letāls iznākums (nāve)	100	7500
2.	Pastāvīga invaliditāte	100	8750
	Daļējs zaudējums		
3.	Visas rokas zaudējums	35	2600
4.	Apakšdelma zaudējums	30	2250
5.	Plaukstas zaudējums	25	1860
6.	Kājas zaudējums	20	1500
7.	Acs zaudējums	15	1125

⁴¹⁷ Белов, П.Г. (1999), *Моделирование опасных процессов в техносфере*. Москва: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ. 79.стр

Miesas bojājumu apraksts atkarībā no traumas pakāpes

Miesas bojājumu pakāpe	Veida Nr.	Bojājuma apraksts
Vidēji smagi miesas bojājumi	1.	Galvaskausa ārējās plātnītes izolēti lūzumi, sietīņkaula acs dobuma daļas lūzumi un izolēti pakauša kaula ārējā locītavpaugura lūzumi bez simptomiem, kas liecina par dzīvības apdraudējumu.
	2.	Krūškaula, vienas ribas vai vairāku ribu lūzumi bez iekšējo orgānu bojājumiem.
	3.	Atsevišķu stobrkaulu nepilni vai nekomplīcēti lūzumi.
	4.	Sejas skeleta lūzumi, izņemot - nekomplīcētus deguna kaula lūzumus.
	5.	Mēles kaula ķermeņa vai radziņu lūzumi bez asfiksijas pazīmēm.
	6.	Balsenes skrimšļu lūzumi bez simptomiem, kas liecina par dzīvības apdraudējumu.
	7.	Lielo locītavu vai locītavu saišu, vai skrimšļu izolēti bojājumi – gūžas, ceļa, pleca izmežģījumi, kā arī citu locītavu izmežģījumi, ja ir locītavas somiņas bojājumi vai saišu plīsumi.
	8.	Galvas smadzeņu un smadzeņu apvalka trauma, kas izraisa apziņas traucējumus (9–12 balles pēc Glāzgovas skalas) un nerada draudošu smadzeņu dislokāciju un kompresiju.
	9.	Ilgstošs veselības traucējums, kas ilgāks par 21 dienu.
	10.	Paliekošs veselības traucējums 10–30 % apmērā.
	11.	Psihisks traucējums vai psihiska trauma, kas ilgstoši ietekmē personas sociālo adaptāciju.
Viegli miesas bojājumi	1.	Miesas bojājumi, kas radījuši īslaicīgus veselības traucējumus no 7 dienām līdz 21 dienai, vai tādi, kas tiesu medicīnas ekspertīzē atzīti par paliekošu veselības traucējumu mazāk nekā 10 % apmērā.

6. pielikums

Pārspiediens, kas atbilst bojājumu pakāpei, kPa⁴¹⁸

Objekts		Apzīmējums	Bojājums			
			Pilnīgs	Smags	Vidējs	Vājš
Koeficients, a_1			1,0	0,5	0,3–0,4	0,1–0,15
Dzīvojamās ēkas						
Ķieģeļu daudzstāvu ēka		Dz–1	30–40	20–30	10–20	8–10
Ķieģeļu mazstāvu ēka		Dz–2	35–45	25–35	15–25	8–15
Koka ēka		Dz–3	20–30	12–20	8–12	6–8
Ražošanas ēkas						
Ar smagu metālisko vai dzelzsbetona karkasu		R–1	60–100	50–60	40–50	20–40
Ar vieglu metālisko karkasu vai bez karkasa		R–2	60–80	40–50	30–50	20–30
Ar metālisko karkasu un betona aizpildījumu ar stiklojumu laukumu 30 %		R–3	40–50	30–40	20–30	10–20
Ķieģeļu bez karkasa ražošanas nodrošināšanas ēkas ar dzelzsbetona pārsegumu		R–4	45–60	35–45	20–35	10–20
Noliktavu ķieģeļu ēkas		R–5	40–50	30–40	20–30	10–20
Administrācijas ķieģeļu ēkas	1–3 stāvi	R–6	50–60	40–50	30–40	20–30
	4–6 stāvi	R–7	45–55	35–45	25–35	15–25
Ražošanas objekti						
TEC		RO–1	25–40	20–25	15–22	10–15
Katlumājas		RO–2	35–45	25–35	15–25	10–15
Virszemes cauruļvadi		RO–3	130	50	20	–
Cauruļvadi uz estakādes		RO–4	40–50	30–40	20–30	–
Transformatoru apakšstacijas		RO–5	100	40–60	20–40	10–20
Elektrolīnijas		RO–6	120–200	80–120	50–70	20–40
Ūdenstorņi		RO–7	70	40–60	20–40	10–20
Rezervuāri						
Tērauda virszemes		RE–1	90	80	55	35
Gāzes tvertnes un tvertnes ar ķīmiskām vielām		RE–2	40	35	25	20
Daļēji pazemē glabāti naftas produkti		RE–3	100	75	40	20
Apakšzemes glabātavas		RE–4	200	150	75	40
Citi objekti						
Dzelzsbetona un metāliskie tilti		C–1	250–300	200–300	150–200	100–150
Dzelzceļa ceļi		C–2	400	250	175	125
Lokomotīves masa līdz 50 t		C–3	90	70	50	40
Cisternas		C–4	80	70	50	30
Metāliskie dzelzceļa vagoni		C–5	150	90	60	30
Kravas (koka) dzelzceļa vagoni		C–6	40	35	30	15
Kravas automašīnas		C–7	70	50	35	10

⁴¹⁸ Матрьюков, Б.С. (2003). *Безопасность в чрезвычайных ситуациях* Москва: Издательский центр "Академия", 26-27.стр.

8. pielikums

	a_l koeficients	Bojājuma pakāpe	Ēkas bojājums, %	Nepieciešamā remonta apmērs	kPa	Sekas cilvēkiem:				
						atkarībā no ēkas bojājuma pakāpes; zaudējumi (%)		letāls iznākums bojājuma zonā		
						letālie	sanitārie	Administrācijas ēkas	Ražošanas ēkas	Atklāts laukums
1.	1,0	Pilnīgi bojājumi	60–100	Atjaunošana nav iespējama	65–105	0,95	0,05	0,7	0,99	0,5
2.	1,0	Stipri bojājumi	50–60		50–65	0,4	0,2	0,15	0,99	0,1
3.	0,5	Vidēji bojājumi	30–50	Atbilst kapitālajam remontam	30–50	0,05	0,15	0,06	0,6	0,01
4.	0,3 – 0,4	Vāji bojājumi	10–30	Atbilst vidējam remontam	10–30	0	0,05	0,02	0,1	0
5.	0,1 – 0,15	Viegli bojājumi	<10	Atbilst standarta remontam	3–10	0	0	0	0	0

9. pielikums

Stacijas novērtējuma dati. (Avots: autora veidots).

Nozīmīgākie objekti avārijas vietas tuvumā (Nr, nosaukums):  		Numurs uz kartes		Attālu ms, m	Adrese	Kadastrālā vērtība, EUR	Ēkas, infrastruktur as un citu būvju raksturojums	Platība, m ²	Darbinieku skaits		
									Telpās	Teritorijā	Kopā
1		2		3	4	5	6	7	8	9	10
1.	SIA <i>Osta LejasVoleri</i>		1.	523,99	Zilā iela 11	485 357	R-2	3010	7	2	16
2.	SIA <i>Osta LejasVoleri</i>		2.	738	Zilā iela 11	604 205	R-2	3480	7		
3.	Augstsprieguma līnija		3.	400	b/n	–	RO-6	–	–	–	–
4.	SIA <i>Rīgas Centrālais termināls</i>		4.	211,36	b/n	–	R-2, C-4, C-5	–	5	2	7
5.	SIA <i>STREK</i>		5.	352,41	Zilā iela 18	195 894	R-2, C-4, C-5	2963	5	5	20
6.	SIA <i>STREK</i>		6.	717	Zilā iela 23a	215 693	R-2	880	5	5	
7.	SIA <i>Krievu salas termināls</i>		7.	477,21	Zilā iela 22	105 616	R-2	4766	2	0	**(2)
8.	SIA <i>LPG</i>		8.	240,27	Zilā iela 20	12878	R-5	400	3	0	*(3)
9.	SIA <i>Krievu salas termināls</i>		9.	164,06	Zilā iela 22	Nav attiecināms	Kokmateriāli	2474	0	2	**(2)
10.	A/S <i>Lindeks</i>		10.	253,43	Zilā iela 22	667184	R-2	3818	8	2	30**(2+2)
11.	A/S <i>Lindeks</i>		11.	334,73	Zilā iela 22	667987	R-2	3823	5	1	
12.	SIA <i>Krievu salas termināls</i>		12.	181,52	Zilā iela 22	89335	R-2	1327	6	0	
13.	SIA <i>Krievu salas termināls</i>		13.	182,97	Zilā iela 22	128522	R-6	708	2	0	

9. pielikuma turpinājums

1		2		3	4	5	6	7	8	9	10
14.	SIA <i>Krievu salas termināls</i>		14.	132,81	Zilā iela 22	neattiecās	Kokmateriāli	2480	0	2	
15.	SIA <i>LPG</i>		15.	154,19	Zilā iela 20	33251	R-5	773	15	7	55*(3)
16.	SIA <i>LPG</i>		16.	168,58	Zilā iela 20	131846	R-6	725,6	10		
17.	SIA <i>LPG</i>		17.	172,28	Zilā iela 20	3128	R-2	284,60	1		
18.	SIA <i>LPG</i>		18.	51,71	Zilā iela 20	13960	RO-2	625	0		
19.	SIA <i>LPG</i>		19.	94,15	Zilā iela 20	58871	R-4	792	15		
20.	SIA <i>LPG</i>		20.	41,64	Zilā iela 20	9008	R-4	564	4		
21.	SIA <i>LPG</i>		21.	94,68	Zilā iela 20	Nav attiecināms	RO-4	100	–		

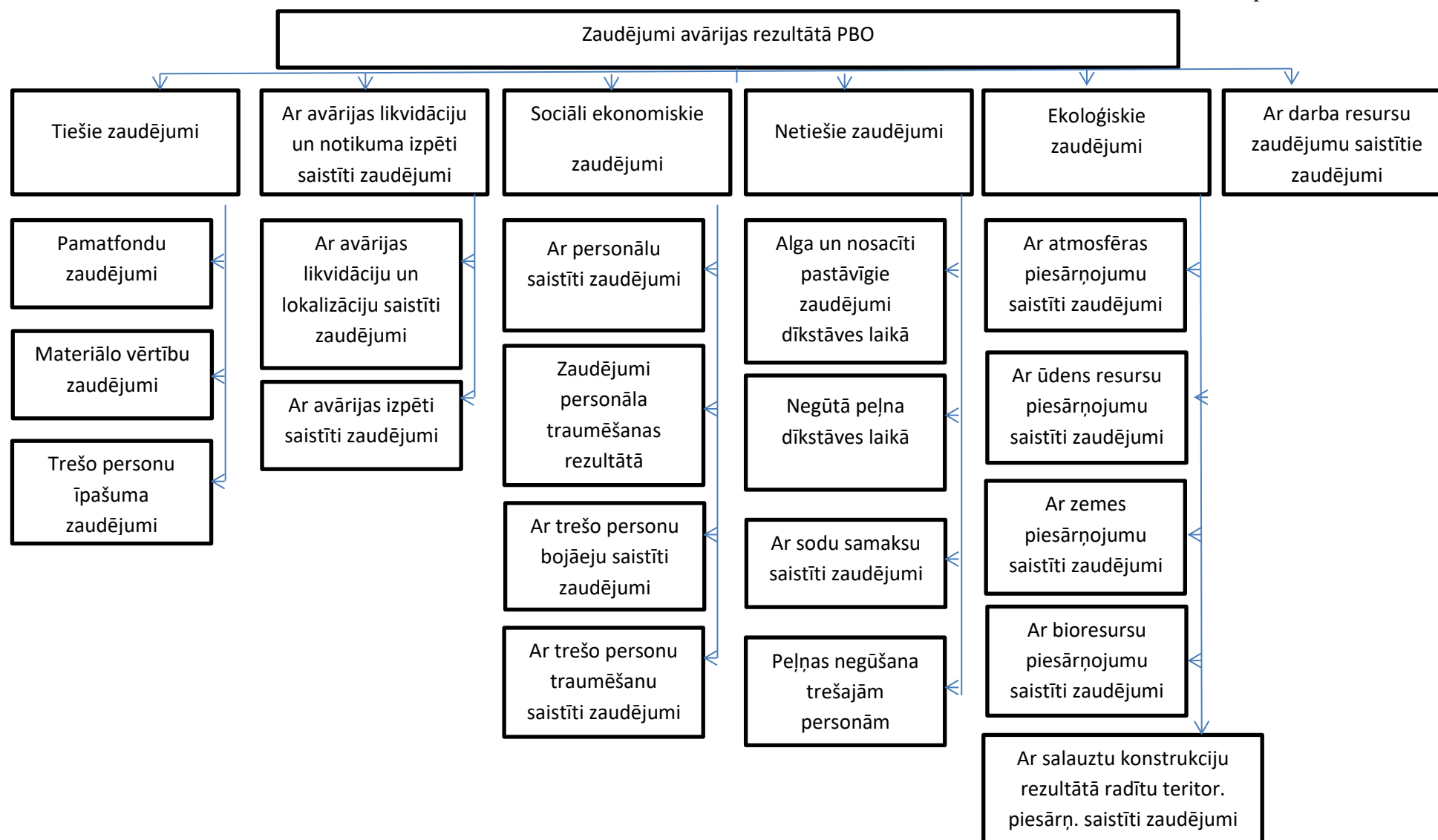
10. pielikums

Bīstamības novērtējuma rezultātā iegūtie dati. (Avots: autora veidots).

Nozīmīgākie objekti avārijas vietas tuvumā:		Numurs uz kartes	Attālums , m	Adrese	Kadastr ālā vērtība, EUR	Ēkas, infrastr uktūras un citu būvju rakstur ojums	Platība, m ²		Darbinieku skaits			Siltumstarojuma zonas	
								Kopā	Telpās	Teritorijā	Kopā		
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pārspiediena iedarbības 1. zona (attālums: 0–226 m, 200 kPa >)												37	I
1.	SIA Krievu salas termināls		12.	181,52	Zilā iela 22	89 335	R–2	1327	1611	6	–	6	71
2.	SIA LPG		17.	172,28	Zilā iela 20	3128	R–2	284,60		1	2	3	
3.	SIA Krievu salas termināls		13.	182,97	Zilā iela 22	128 522	R–6	708	1427	2	–	2	
4.	SIA LPG		16.	168,58	Zilā iela 20	131 846	R–6	725,6		10	5	49	
5.	SIA LPG		15.	154,19	Zilā iela 20	33 251	R–5	773	773	15			
6.	SIA LPG		19.	94,15	Zilā iela 20	58 871	R–4	792	1356	15			
7.	SIA LPG		20.	41,64	Zilā iela 20	9008	R–4	564		4			
8.	SIA LPG		18.	51,71	Zilā iela 20	139 60	RO–2	625	625	0			
9.	SIA Krievu salas termināls		14.	132,81	Zilā iela 22	–	Kokm ateriāli	2480	4956	0	2	2	
10.	SIA Krievu salas termināls		9.	164,06	Zilā iela 22	–	Kokm ateriāli	2474		0	2	2	
11.	SIA Rīgas Centrālais termināls		4.	211,36	b/n	–	R–2, C–4, C–5	–	–	5	2	7	

10. pielikuma turpinājums

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Pārspiediena iedarbības 2. zona (attālums: 226–331 m, 50–200 kPa)															
12.	A/S Lindeks		10.	253,43	Zilā iela 22	667 184	R–2	3818	3818	8	2			10	13
13.	SIA LPG		8.	240,27	Zilā iela 20	12 878	R–5	400	400	3	0			3	
Pārspiediena iedarbības 3. zona (attālums: 311–451 m, 20–50 kPa)															
14.	SIA STREK		5.	352,41	Zilā iela 18	195 894	R–2, C–4, C–5	2963	2963	5	5	10	16	17	II
15.	A/S Lindeks		11.	334,73	Zilā iela 22	667 987	R–2	3823	3823	5	1	6			
16.	Augstsprieguma līnija		3.	400	b/n	–	RO–6	–	–	–	–				
Pārspiediena iedarbības 4. zona (attālums: 451–1000 m, 5–20 kPa)															
17.	SIA Osta LejasVoleri		1.	523,99	Zilā iela 11	485 357	R–2	3010	12136	7	2	16	28	10,5	IV
18.	SIA Osta LejasVoleri		2.	738	Zilā iela 11	604 205	R–2	3480		7				4,2	V
19.	SIA STREK		6.	717	Zilā iela 23a	215 693	R–2	880		5	5	10			
20.	SIA Krievu salas termināls		7.	477,21	Zilā iela 22	105 616	R–2	4766		2	0	2		12,9	III



⁴¹⁹ Безбородова, О. Е. (2014). *Оценка экономического ущерба от аварий на опасном производственном объекте*. Пенза. 24.стр.

KVP lēmumi, kas pieņemti no 2012. gada janvāra līdz 2019. gada janvārim⁴²⁰

KVP sēžu protokola datums	Negadījuma apraksts	Vai negadījums tika definēts kā katastrofa?	Izsludināta ĀS	Pieprasīta starptautiskā palīdzība
1	2	3	4	5
23.07.2018.	Lielsalas purva ugunsgrēks	Nē	Nē	Jā
26.06.2018.	Ilgstošs pavasara sausums	Valsts mēroga dabas katastrofa lauksaimniecībā	Nē	Nē
28.12.2017.	Rudens lietavas un to izraisītie plūdi lielā daļā valsts teritorijas	Valsts mēroga dabas katastrofa mežsaimniecībā	Nē	Nē
14.11.2017.	Rudens lietavas un to izraisītie plūdi lielā daļā valsts teritorijas	Valsts mēroga dabas katastrofa lauksaimniecībā	Nē	Nē
29.08.2017.	Āfrikas cūku mēra izplatība 27 Latvijas novados	Nē	27 novados	Nē
16.01.2017.	Āfrikas cūku mēra izplatība 3 Pierīgas novados	Nē	3 novados	Nē
Bez izskatīšanas KVP	Āfrikas cūku mēra izplatība 73 Latgales un Vidzemes novados	Nē	73 novados	Nē
22.11.2013.	Lielveikala <i>Maxima</i> Rīgā sagrūšana 2013. gada 21. novembrī. Dzīvību zaudēja 54 cilvēki (to skaitā 3 glābēji, vairāki veikala darbinieki un citi cilvēki), vairāki desmiti cilvēku tika ievainoti. Kopējā sagrūvusī platība bija apmēram 1500 m ² . Bojāgājušo skaita ziņā tas bija lielākais negadījums Latvijā kopš Latvijas neatkarības atjaunošanas.	Nē	Nē	Nē
22.04.2013.	Strauja ūdens līmeņa celšanās Daugavā un mazākās Latgales upēs, kas veicināja lauksaimniecības zemju, dārziņu kooperatīvu un autoceļu applūšanu.	Nē	Daugavpilī un Daugavpils novadā	Nē
09.07.2012.	Nacionāla mēroga plūdu draudu situācija saistībā ar Lubānas ezera dienvidaustrumu dambi	Nē	Nē	Nē

⁴²⁰ Krīzes vadības padomes sekretariāts [tiešsaiste]. Valsts ugunsdzēsības un glābšanas dienesta mājas lapa[skatīts 2019. gada 30.aprīlī]. Pieejams: http://vugd.gov.lv/lat/par_vugd/darbibas_sferas/krizes_vadibas_padomes_sekretariats

Ugunsloides parametri (Avots: autora veidots).

Aprēķina modelis	Ugunsloides diametrs				Ugunsloides pastāvēšanas ilgums					
	Koeficienti		Masa, kg	Metri	Koeficienti		Sek.	Attālums, metri	Ef, Ep	q kWt/m2
	a1	b1			a2	b2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gayle 1	3,68	0,325	82 300	145,66	0,245	0,356	13,77	262	670,63	28,11
Gayle 2	6,14	0,325	82 300	243,03	0,41	0,34	19,23	262	172,53	16,02
Brasle	3,8	0,333	82300	164,66	0,3	0,333	13,00	262	555,99	28,65
Marshall	5,5	0,333	82 300	238,33	0,38	0,333	16,46	262	209,53	18,94
Roberts	5,8	0,333	82 300	251,33	0,45	0,333	19,50	262	159,10	15,45
SRD	6	0,333	82 300	260,00	0,005		411,5	262	7,045	0,71
Fay&Lewis	6,36	0,333	82 300	275,60	2,57	0,167	17,01	262	151,65	16,57
Hardee	6,24	0,333	82 300	270,40	1,11	0,167	7,34	262	364,77	38,93
Hasegawa (1)	5,28	0,277	82 300	121,39	1,099	0,097	3,29	262	4036,92	122,81

13. pielikuma turpinājums

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Hasegawa (2)</i>	5,25	0,314	82 300	183,48	1,07	0,181	8,29	262	701,42	43,05
<i>Moorhouse</i>	5,33	0,327	82 300	215,808	0,923	0,303	28,48	262	147,75	11,60
<i>TNO</i>	6,48	0,325	82 300	256,49	0,852	0,26	16,16	262	184,34	18,39
<i>Maurer</i>	3,51	0,333	82 300	152,10	0,32	0,333	13,86	262	610,93	27,57
<i>High</i>	6,2	0,32	82 300	231,91	0,49	0,32	18,32	262	198,82	17,30
<i>HSCC</i>	6,45	0,333	82 300	279,50	5,53	0,333	239,63	262	10,46	1,16
<i>Api</i>	5,33	0,327	82 300	215,80	1,089	0,327	44,09		95,44	7,49
<i>Aloha</i>			82 300	244			15			37
<i>Куликов</i>	5,33	0,327	82 300	215,80	0,92	0,303	23,8		450	25,57
<i>Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов</i>	6,48	0,325	82 300	256,49	0,852	0,26	13,88		350	36,23

Apskatāmā objekta raksturojums un bīstamības videi aprēķins

Šajā pielikumā aplūkots piedāvātās metodoloģijas pielietojums, izmantojot konkrētu Paaugstinātās bīstamības objekta (turpmāk–PBO) piemēru. Ekonomisko zaudējumu novērtēšanai izmantotas iepriekš tekstā aprakstītās novērtēšanas metodes bīstamības novērtēšanai konkrētā PBO.

Saskaņā ar promocijas darba (turpmāk–PD)

2.1. attēlā un 15.pielikumā ilustrēto tehnogēnā riska novērtēšanas modeļa pirmo bloku ir jāveic PBO teritorijas un apkārtnes izpēte, lai noskaidrotu, kādi objekti tur atrodas, kāds ir to attālums līdz notikuma vietai un cik cilvēku atrodas teritorijā un telpās.

Apskatāmais objekts ir SIA *Latvijas propāna gāze* Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacija (turpmāk tekstā–Stacija). Stacijas adrese: Zilā iela 20, Rīgā, LV-1007. Stacija atrodas Daugavas lejteces kreisajā krastā, Rīgas brīvostas teritorijā, Rīgas ziemeļrietumu daļā. Stacija izvietota pilsētas rūpnieciskajā rajonā, kopējā Stacijas ražošanas platība ir 13,8 ha. Stacijas teritorija sadalīta trīs daļās, atsevišķi dienvidrietumu daļā iežogotā teritorijā atrodas katlu māja, bet rietumu daļā–neizmantota teritorija. Stacija ir gāzes pieņemšanas, nosūtīšanas, uzglabāšanas un realizācijas ražotne. Tajā gāzi nogādā pa dzelzceļu cisternās, kā arī ar tankkuģiem vai autocisternām.

Lai noteiktu vides un ekonomiskos zaudējumus, jānovērtē apkārtējo objektu attālums līdz modelētās avārijas vietai Stacijas teritorijā, ko ļoti ērti var izdarīt ar *Google Earth* kartogrāfisko programmu. 1.1. attēlā parādīti tuvākie nozīmīgākie objekti, izmērīts attālums un identificētas konstrukcijas atkarībā no to izturības pakāpes. Šie objekti ir apkopotī PD 9. pielikumā un aprakstīti atbilstoši izbūves konstrukcijas raksturojumam.

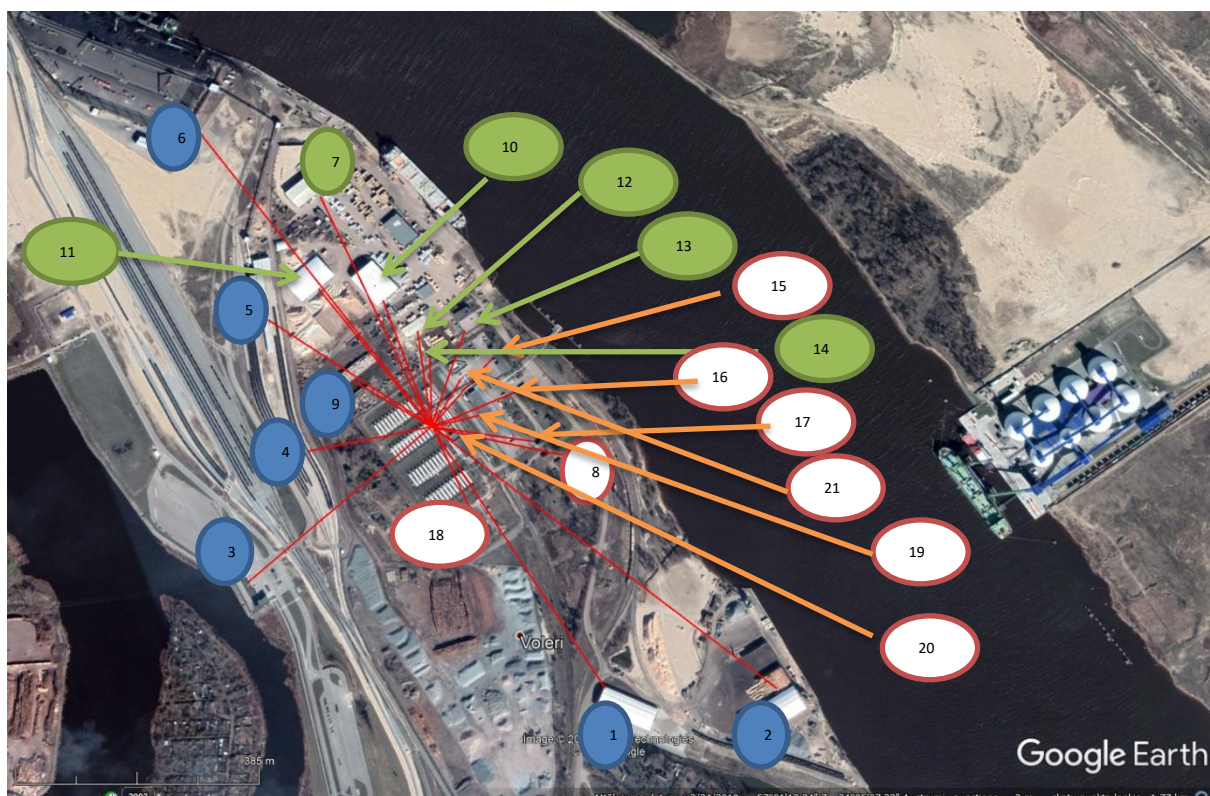
Ziemeļu virzienā blakus Stacijas teritorijai atrodas SIA *Krievu salas termināls* – kokmateriālu un šķeldas pārkraušanas ražotne. Hapaka grāvja otrā pusē 900 m attālumā atrodas A/S *Latvijas Finieris* rūpnīca *Lignums*, kas nodarbojas ar fenola–formaldehīda sveķu sintēzi, kā arī saplākšņa un laminētā saplākšņa izgatavošanu. Apmēram 680 m attālumā atrodas SIA *Osta Lejasvoleri*. Stacijas pamatdarbība notiek vienā maiņā no plkst. 7.30–16.00, kad stacijā atrodas 55 darbinieki.⁴²¹

Ziemeļrietumu virzienā uzreiz aiz Stacijas teritorijas atrodas A/S *Lindeks*⁴²² kokmateriālu apstrādes ražotne. Atbilstoši Stacijas drošības pārskatam (turpmāk–DP), sprāgstot spiedieniekārtai, $V = 175 \text{ m}^3$, ar spiedieniekārtu saistītie zaudējumi Stacijai būtu apmēram 230 000 EUR, bet ar Sašķidrinātās oglekļa gāzes (turpmāk–SOG) saistītas avārijas gadījumā – 32 500 EUR. Šo avāriju gadījumā varētu tikt bojāta administratīvā ēka un citas būves, un sprādziena gadījumā dzīvību varētu zaudēt aptuveni 50 cilvēku.⁴²³ Šādu vissliktāko gadījuma scenāriju ar iespējamiem zaudējumiem ir paredzējis pats uzņēmums. Izmantojot PD izstrādāto metodiku, novērtētas iespējamās sekas videi un ekonomikai.

⁴²¹ *Latvijas propāna gāze, SIA, Civilās aizsardzības plāns* (2017). Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacijas Civilās aizsardzības plāna materiāli. 9-13 lpp.

⁴²² *Latvijas propāna gāze, SIA, Drošības pārskats* (2017). Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacijas Drošības pārskats. 9 lpp.

⁴²³ *Latvijas propāna gāze, SIA, Drošības pārskats* (2017). Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacijas Drošības pārskats. 6-10, 178-179 lpp.

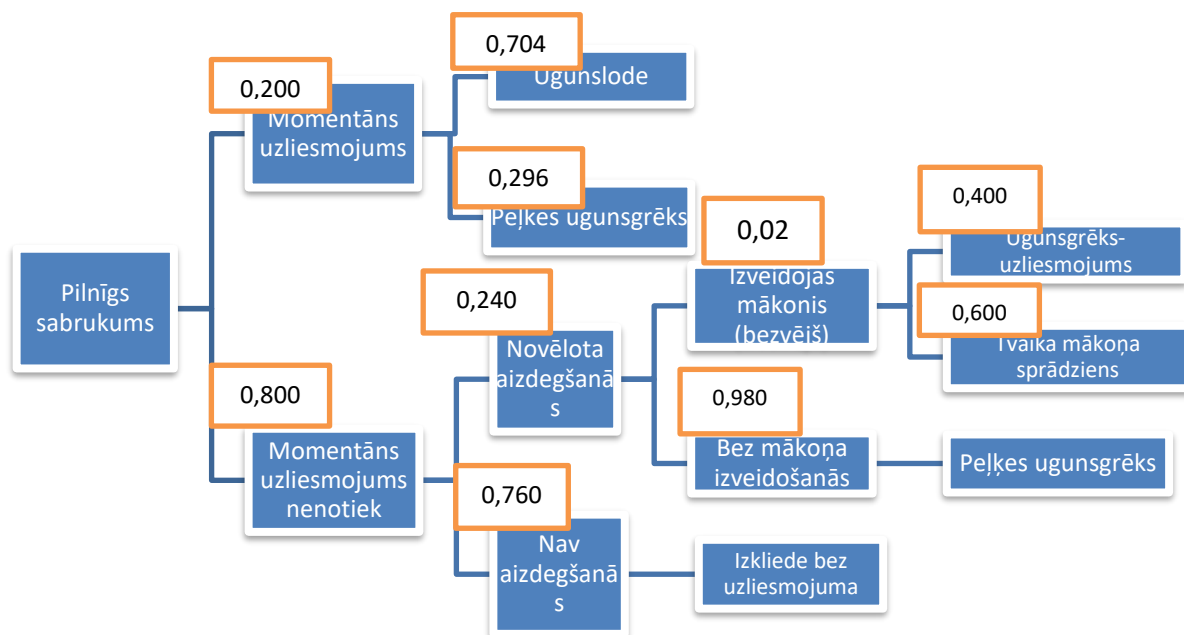


1.1. att. Tuvāko objektu izvietojums. (Avots: autora veidots).

Otrais bloks – situācijas modelēšanas posms – paredz meteoroloģiskās informācijas apkopošanu, iekļaujot vēja virzienu, gaisa temperatūru un atmosfēras stabilitātes klasi, ko pēc tam izmanto, modelējot avārijas scenāriju. Aprēķina nolūkā tika pieņemts, ka apkārtējā temperatūra un aprīkojumā esošās vielas temperatūra ir $+20^{\circ}\text{C}$. Aprēķins tika veikts pašiem sliktākajiem laika apstākļiem, pieņemot, ka vēja ātrums ir 1 m/s. Atmosfēras stratifikācijas klase – F, vēja ātrums: 1 m/s, kā arī noteikta bezvēja varbūtība Rīgā, kas ir 2 %.⁴²⁴

Trešais bloks paredz noteikt iespējamās avārijas bīstamības scenārijus un aprēķināt riska varbūtību ar notikumu koka metodi. Sašķidrinātas naftas gāzes noplūdes modelēšanai tika izmantoti šie parametri: bīstamā viela – propāns CAS Nr. 74-98-6, ANO Nr. 1965, ko uzglabā rezervuārā, kura tilpums ir 175 m^3 , spiediens aprīkojumā: 2 mPa un uzpildīšanas koeficients: 85 %. Noplūde notiek uz betona, noplūdes vieta – brīvs horizontāls laukums. Avārijas likvidācijas un noplūdes ilgums: 3600 sekundes. SOG avārijas platība, kur gāze izplūst no cisternām un rezervuāriem, var būt līdz pat 2500 m^2 , sasniedzot pat 250 m attālumu, tomēr Stacijas rezervuāru parku iekļauj aizsargvalnis, kas ierobežo vielas noplūdi noteiktā platībā. Avārijas situācijas scenāriju identifikācijai tika izveidoti divi notikumu koki, kas parādīti 1.2. attēlā – pilnīgs rezervuāra sabrukums, un 1.3. attēlā – rezervuāra bojājums, kura diametrs ir 50 mm.

⁴²⁴ *Baltijas jūras locija. Latvijas piekraste* (2014). Trešais izdevums Rīga: Latvijas Jūras administrācija Hidrogrāfijas dienests. Sadaļa B12.2.



1.2. att. Avārijas situācijas notikumu koks „Pilnīgs šķidrumu zem spiediena saturoša rezervuāra sabrukums”. (Avots: autora veidots).

Veicot sākotnējos attālumu mērījumus un aprēķinus no iespējamās notikuma vietas, ieteicams noskaidrot arī attiecīgo iekārtu nolietojumu, lai zinātu, vai nepastāv iekārtas paaugstināta avārijas varbūtība; no nolietojuma pakāpes ir atkarīga arī iekārtas atlikusī vērtība. Novērtējot stacijas rezervuāru nolietojumu un DP sniegtā informācija, konstatēts, ka stacijas rezervuāru parks nodots ekspluatācijā 1967. gada⁴²⁵ beigās, tātad, ražotāja noteiktais 35 gadu SOG rezervuāru kalpošanas laiks beidzās 2002. gadā. Līdz 2019. gadam rezervuāri ekspluatēti jau 52 gadus, kas atbilst kritiskajam rezervuāru ekspluatācijas termiņam. Tas nozīmē, ka Stacijā ir paaugstināta avārijas varbūtība, jo nolietojums ir vairāk kā 130 %, un līdz ar to kopējā avārijas varbūtība palielinās par 50 %.

Avārijas scenāriju realizācijas varbūtība atbilstoši notikumu kokam „Pilnīgs šķidrumu zem spiediena saturoša rezervuāra sabrukums” un scenāriju numerācija ir sniegta 1.1. tabulā. Šajā modelētajā situācijā ir paredzēta produkta noplūde rezervuāra pilnīga sabrukuma rezultātā, pieņemot, ka sabrukums noticis cilvēka kļūdas (piemēram, pārpildīts rezervuārs, nav atvērti aizbīdņi, nav pārbaudīti savienojumi vai citas kļūdas) rezultātā, vai ka to izraisīja rezervuāra apkalpojošo cauruļvadu sabrukums mehānisku defektu vai metāla noguruma dēļ. Analizējot noplūdi rezervuāra sabrukuma rezultātā, ņem vērā spiedtvertnes sabrukuma realizācijas varbūtību, kas sniegta PD 2.17. tabulā un kas vienāda ar $5,0 \cdot 10^{-7}$ gadā⁻¹.

Varbūtība realizēties sākotnējai avārijas situācijai gadā λ_{A_i} vismaz vienā no apskatāmajiem aprīkojuma elementiem tika noteikta, izmantojot 2.17. tabulas datus. Konstatēts, ka zem spiediena esošu rezervuāru pilnīga sabrukuma varbūtība ir $5,0 \cdot 10^{-7}$ gadā⁻¹, bet tad, ja bojājuma diametrs ir 50 mm, šī varbūtība ir $3,8 \cdot 10^{-6}$ gadā⁻¹. Tā kā objekta nolietojums ir 50 %, varbūtība palielinās par 50 %, tātad kopējā pilnīga sabrukuma pamatvarbūtība pieaug, sasniedzot $4,5 \cdot 10^{-7}$ gadā⁻¹, bet gadījumā, ja bojājuma diametrs ir 50 mm, pamatvarbūtība ir $5,7 \cdot 10^{-6}$ gadā⁻¹.

Objektā atrodas 53 rezervuāri, kas darbojas 24 h diennaktī, tāpēc iepriekšminēto pamatvarbūtību aprēķinam jāizmanto 2.50. formula vai noteiktās varbūtības jāreizina ar 53, tad $Q_1 = 4,5 \cdot 10^{-7} \cdot 53 = 2,3 \cdot 10^{-5}$ gadā⁻¹, bet $Q_2 = 5,7 \cdot 10^{-6} \cdot 53 = 3,0 \cdot 10^{-4}$ gadā⁻¹. Izmantojot

⁴²⁵ Latvijas propāna gāze, SIA, Drošības pārskats (2017). Rīgas eksporta gāzes uzpildes stacijas Drošības pārskats. 84. lpp.

2.50. formulu un šo aprēķinu iegūtie rezultāti ir vienādi, jo Stacijas rezervuāru darba laiks ir 24 stundas diennaktī.

1.1. tabula

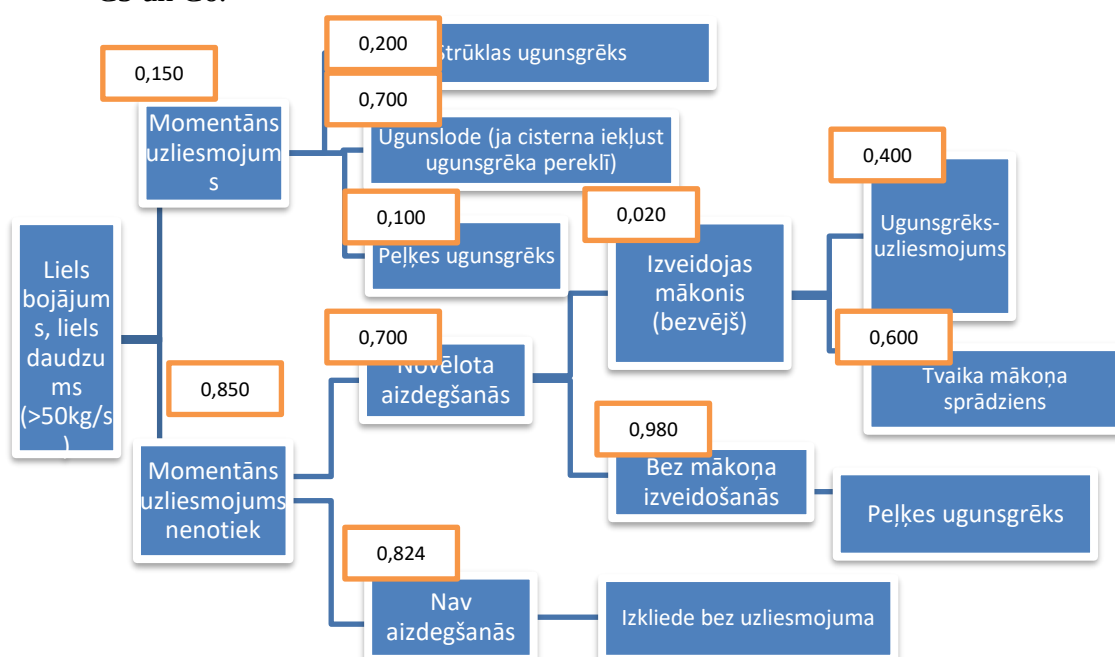
Notikumu koka realizācijas varbūtība „Pilnīgs rezervuāra sabrukums”. (Avots: autora veidots).

Scenārija Nr.	Pilnīgs rezervuāra sabrukums	Rezervuārs ar pārspiedienu		
		P – varbūtība	Z – zara varbūtība (kopā), 3.2. attēls	Q(A _i) Kopējā realizācijas varbūtība, (P*Z) gads ⁻¹
C1	Bīstamās vielas noplūde norobežotā platībā, izkliede bez uzliesmojuma	2,3*10 ⁻⁵ gads ⁻¹	0,608	1,39*10 ⁻⁵
C2	Peļķes ugunsgrēks		0,0592	1,36*10 ⁻⁶
C3	Teritorijā izveidojas tvaika mākonis, toksiskais apdraudējums		0,608	1,39*10 ⁻⁵
C4	Ugunsgrēks-uzliesmojums		0,001536	2,3*10 ⁻⁸
C5	Tvaika mākoņa sprādziens		0,002304	5,2*10 ⁻⁸
C6	Ugunslode		0,1408	3,2*10 ⁻⁶
C7	Peļķes ugunsgrēks, novēlota aizdegšanās, bez tvaika mākoņa		0,18816	4,3*10 ⁻⁶

SOG saturoša rezervuāra pilnīga sabrukuma gadījumā (visbīstamākais scenārijs) iespējamā turpmākā avārijas situācijas eskalācija noteikta, izmantojot šos pamatscenārijus:

- SOG noplūdes uzliesmojums ar ugunslodes izveidošanos vai peļķes ugunsgrēks;
- sprādzienbīstama tvaika mākoņa izveidošanās (bezvēja gadījumā), kam seko sprādziens vai ugunsgrēks-uzliesmojums;
- mākoņa izkliede (vēja rezultātā) bez uzliesmojuma.

Vislielākā ir C1, C2 un C3 avārijas scenārija varbūtība, bet visbīstamākie scenāriji ir C5 un C6.



1.3. att. Avārijas situācijas notikumu koks „Daļējs šķidrumu zem spiediena saturoša rezervuāra sabrukums”. (Avots: autora veidots).

Avārijas scenāriju realizācijas varbūtība atbilstoši notikumu kokam „Daļējs šķidrumu zem spiediena saturoša rezervuāra sabrukums” un scenāriju numerācija ir sniegta 1.2. tabulā.

1.2. tabula

Notikumu koka realizācijas varbūtība „Daļējs rezervuāra sabrukums”. (Avots: autora veidots).

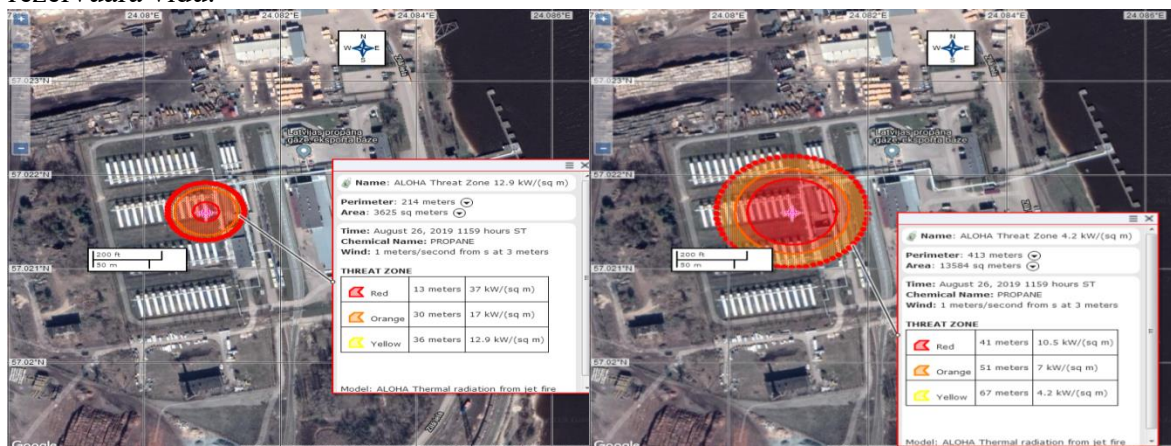
Scenārijs Ilglaicīga izlīšana no rezervuāra bojājuma vietā, kura diametrs ir 50 mm		Reservuārs ar pārspiedienu		
		P – varbūtība	Z – zara varbūtība (kopā); 1.3. attēls	Q(A _i) Kopēja realizācijas varbūtība, (P*Z) gads ⁻¹
C8	Strūklas ugunsgrēks	3,0*10 ⁻⁴ gads ⁻¹	0,03	9,0*10 ⁻⁶
C9	Peļķes ugunsgrēks, momentāns uzliesmojums		0,015	4,5*10 ⁻⁶
C10	Teritorijā izveidojas tvaika mākonis, toksiskais apdraudējums		0,7004	2,1*10 ⁻⁴
C11	Ugunsgrēks-uzliesmojums		0,001198	3,5*10 ⁻⁷
C12	Tvaika mākoņa sprādziens		0,0017952	5,3*10 ⁻⁷
C13	Ugunslode		0,105	3,1*10 ⁻⁵
C14	Peļķes ugunsgrēks, novēlota uzliesmošana		0,1466	4,3*10 ⁻⁵

Daļēja rezervuāra sabrukuma scenārijā parādās variācija ar iespējamu strūklas ugunsgrēku, kas ir otrs nozīmīgākais scenārijs pēc izklīdes bez uzliesmojuma. Šādā gadījumā palielinās strūklas ugunsgrēka iespējamība. Tādējādi, ja sākotnējā noplūde ir mazāka par 1 kg sekundē, nosacītā varbūtība būs 0,005, bet noplūdes apjomam palielinoties līdz 50 kg sekundē, nosacītā strūklas ugunsgrēka varbūtība palielināsies līdz 0,20.

Avārijas seku iedarbības novērtējumā izskatīti galvenokārt avārijas scenāriji ar plašāko avārijas seku nelabvēlīgās iedarbības izplatību.

Ceturtais bloks – notikuma modelēšana ar ALOHA programmu, lai paātrinātu aprēķina laiku un apdraudējuma zonas noteikšanu, taču var izmantot arī matemātisko modelēšanu, aprēķiniem izmantojot promocijas darba 2. daļā sniegtās formulas un vienādojumus, un zīmējot laukumus uz kartes, lai pēc ietekmes scenārija noteiktu apdraudējuma ietekmi un izplatību. Piektais bloks apvienots ar ceturto bloku, jo sekas videi var parādīt kopā ar modelējuma rezultātiem.

Pirmās situācijas modelēšanai izmantots C8 scenārijs. Šī scenārija sekas parādītas 1.4. attēlā, kur modelēta propāna gāzes noplūde, izveidojoties strūklas ugunsgrēkam. Modelēšanas nolūkā tiek pieņemts, ka bojājuma diametrs ir 50 mm, un ka noplūde notikusi rezervuāra vidū.



1.4. att. Strūklas ugunsgrēks (C8 scenārijs). (Avots: autora veidots).

Novērtējot domino efekta iespējamību jāņem vērā, ka pārējos SOG rezervuāros, kas atrodas rezervuāra ar SOG strūklas ugunsgrēku ietekmes zonā un kas sākotnējā notikuma rezultātā nav bojāti, strauji paaugstināsies iekšējais spiediens, drošības vārsti nebūs spējīgi izvadīt visu gāzi, un paredzams, ka pēc 16–25 minūtēm notiks citu bīstamai ietekmei pakļauto rezervuāru pilnīgs sabrukums, veidojot sprādzienu un izmetot liesmas līdz 150 metru attālumā. Rezultātā veidosies jauni degšanas perēkļi 150 metru rādiusā un būs liela ugunsloides izveidošanās varbūtība. Tātad, laicīgi nelikvidējot strūklas ugunsgrēku, veidosies domino efekts, kura sekas ir C6 scenārijs. Uzsprāgušā rezervuāra daļas var tikt izmētātas līdz 150 metru attālumā, bet atsevišķos gadījumos - līdz pat 450 metru attālumā, kas var mehāniski ietekmēt pārējos rezervuārus un cilvēkus. Dažreiz sprādziena rezultātā rezervuārs vai cisterna var tikt atrauti no rāmja un pārvietoti spiediena ietekmē. Vienas ar SOG pildītas dzelzceļa cisternas sprādziens palielina ugunsgrēka laukumu līdz 160 m² atkarībā no notikuma vietas reljefa.

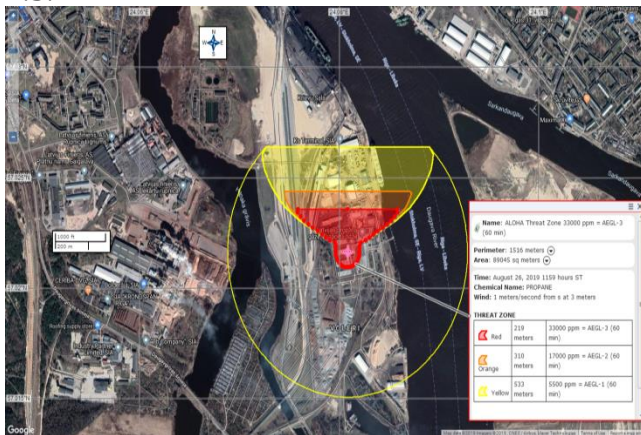
Siltumstarojuma attālums strūklas ugunsgrēka gadījumā parādīts 1.3. tabulā. Cilvēka traumēšanas iespējamība siltumstarojuma ietekmē saistīta ar atrašanos kādā no norādītajām zonām, bet apdeguma apmērs ir atkarīgs no konkrētajā vietā pavadītā laika.

1.3. tabula

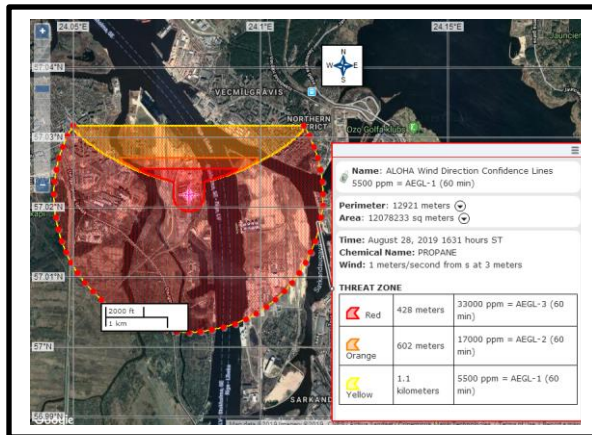
Strūklas ugunsgrēks. (Avots: autora veidots).

Attālums, m	Siltumstarojums, kWt/m ²						
	37	17	12,9	10,5	7	4,2	1,4
	13	30	36	41	51	67	116

Toksisko vielu izplatības apgabals propāna noplūdes gadījumā bez aizdegšanās, notiekot avārijas C10 scenārijam, grafiski attēlots 1.5. attēlā. C3 scenārijs parādīts 1.6. attēlā, zonu skaidrojums ir aprakstīts 1.4. tabulā, bet koncentrācijai atbilstošie attālumi apkopoti 1.5. tabulā.



1.5. att. Toksisko vielu izplatības apgabals, notiekot SOG noplūdei, bojājuma diametrs: 50 mm (C10 scenārijs). (Avots: autora veidots).



1.6. att. Toksisko vielu izplatības apgabals, notiekot rezervuāra sabrukumam (C3 scenārijs). (Avots: autora veidots)

SOG avārijas gadījumā uzvārās pārsildīts šķidrums un veidojas atdzesēti aerosola pilieni, šķidrās fāzes noplūde uz zemes, noplūde, vārīšanās un iztvaikošana no noplūdes vietas. Intensīvi sajaucoties ar gaisu, iespējama SOG pilienu mākoņa izklīde, kā arī sākotnējā un sekundārā gāzes mākoņa veidošanās. Ja noplūdes ietekmes zonā atrodas aizdegšanās avots, tur var aizdegties gāzes mākonis un/vai var izcelties peļķes ugunsgrēks (C7 vai C14 scenārijs) vai ugunslode, ja ietekmēts pārsildītais šķidrums vai ja noplūdes masa ir lielāka par 1 tonnu (C13 vai C6 scenārijs). Šādā gadījumā mākonis, kas piesātināts ar SOG tvaikiem, nespēj detonēt plašā apgabalā, tas deg pa perimetru un izplatās uz augšu. Izplatoties uz augšu,

veidojas tvaika mākonis sēnes formā, “sēnes” pamatnē notiek stipri konvekcijas procesi un mākonī var tikt ievilkta dažādi priekšmeti, kas var aizdegties un ko var izmētāt lielā apgabalā, tādejādi palielinot traumu gūšanas risku no lidojošiem priekšmetiem.

Tvaika mākoņa sprādziens (C12 vai C5 scenārijs) iespējams tad, ja nenotiek momentāna aizdegšanās un SOG paspēj sajaukties ar skābekli. Tādā gadījumā veidojas pārspiediens, siltumstarojuma ietekme uz cilvēkiem un citiem objektiem vai ugunsgrēks-uzliesmojums (C11 vai C4 scenārijs). Visās situācijās galvenā bīstamība tuvākajā apgabalā ir iespēja avārijas rezultātā izveidoties ugunslodei, bet tālākā apgabalā iespējama tvaika mākoņa sadegšana ar pārspiediena izveidošanos, domino efekta gadījumā izraisot C12 vai C5 scenāriju.

Stacijas darbinieku un cilvēku, kas atrodas blakus esošos objektos, toksiskā saindēšanās var notikt tikai tad, ja šie cilvēki nekavējoties nedodas prom no saindēšanās zonas vai pavada šajā zonā 3600 sekundes, jo tad var tikt sasniegta toksiskā deva. Šo zonu apraksts ir sniegts 1.4. tabulā. Stacijā apkārt rezervuāru parkam ir izbūvēts aizsargvalnis, kas neļauj SOG tvaikiem izplatīties ārpus konkrētas teritorijas robežām, līdz ar to C3 scenārija avārija, kas parādīta 1.6. attēlā, var notikt tikai aizsargvalņa bojājuma gadījumā. Īstenojoties šim scenārijam, toksiskā zona izplatīsies uz tuvākajiem objektiem un apdzīvotiem apgabaliem, kuros -atkarībā no vēja virziena - tas var apdraudēt iedzīvotājus.

1.4. tabula

Toksisko zonu skaidrojumi⁴²⁶

Akūtais avārijas vadlīniju līmenis (angliski – <i>Acute Emergency Guideline Levels</i> jeb <i>AEGL</i>)	Sliekšņa robežvērtības, kas raksturo ķīmiskās vielas ietekmi uz sabiedrības veselību un kas ir piemērojamas ārkārtējām situācijām. Trīs līmeņu: <i>AEGL-1</i> , <i>AEGL-2</i> , <i>AEGL-3</i> tiek piemērota 1 stundas <i>AEGL</i> vērtībai. <i>AEGL</i> līmeņus raksturo tāpat kā <i>TEEL</i> limitus.
Pagaidu avārijas ietekmes limits (angliski – <i>Temporary Emergency Exposure Limits</i> jeb <i>TEEL</i>)	<i>TEEL-3</i> ir vielas koncentrācija gaisā (izsaka kā ppm vai mg/m ³), kuru pārsniedzot, iedzīvotājiem, -tai skaitā jutīgiem indivīdiem - var rasties dzīvībai bīstamas un veselībai nelabvēlīgas sekas, vai pat iestāties nāve.
	<i>TEEL-2</i> ir vielas koncentrācija gaisā (izsaka kā ppm vai mg/m ³), kuru pārsniedzot, iedzīvotājiem - tai skaitā jutīgiem indivīdiem - var rasties neatgriezeniskas vai citas smagas, ilgstošas, negatīvas sekas uz veselību, vai var samazināties iespēja no tām izvairīties.
	<i>TEEL-1</i> ir vielas koncentrācija gaisā (izsaka kā ppm vai mg/m ³), kuru pārsniedzot, iedzīvotājiem- tai skaitā jutīgiem indivīdiem - var rasties liels diskomforts, kairinājums vai dažādi simptomi, kas nav saistīti ar ietekmi uz maņu orgāniem. Tomēr šī iedarbība nerada nespēju, tā ir pārejoša un atgriezeniska.
	<i>TEEL-0</i> ir vielas koncentrācija gaisā (izsaka kā ppm vai mg/m ³), kas uzskatāma par vielas aroda eksponēcijas robežvērtību (AER).
Tūlītēja bīstamība dzīvībai un veselībai (angliski – <i>Immediately Dangerous to Life or Health</i> jeb <i>IDLH</i>)	Kaitīgas vielas koncentrācija gaisā, kas var izraisīt nāvi, tūlītēju vai vēlāku pastāvīgu nelabvēlīgu ietekmi uz veselību, vai kas samazina personas iespēju izkļūt no bīstamās vides.

⁴²⁶Neste Latvija, SIA, *Civilās aizsardzības plāns* (2018). Neste Latvija Civilās aizsardzības plāns, 50-51pp.

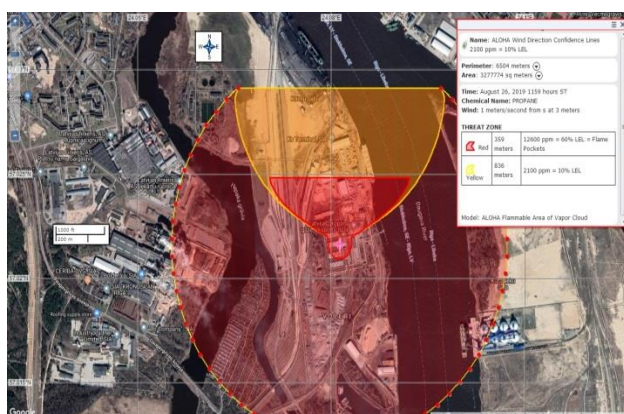
1.5. tabula

AEGL zonas, propāna noplūdes gadījumā. (Avots: autora veidots).

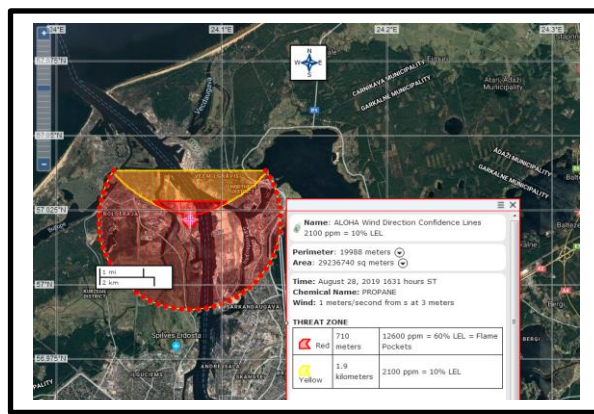
Noplūdes apjoms no rezervuāra, m ³	Bojājums	Toksisko vielu koncentrācijas izplatības zonas, 1 m/sek. (m)				Sprādzienbīstamo vielu koncentrācijas izplatības zonas, 1 m/sek. (m)			
		AEGL-1, 5500 pp m	AEGL-2, 17 000 pp m	AEGL-3, 33000 p pm	IDLH 2100 pp m	10 %	2100 ppm	60 %	12600 p pm
165,97	50 mm	553	310	219	836	836		359	
	Sabrukums	1100	602	428	1900	1900		710	

Potenciālā aizdegšanās zona SOG noplūdes gadījumā ar ugunsgrēku-uzliesmojumu (C11, C4 scenārijs) vai tvaika mākoņa sprādzienu (C12, C5 scenārijs) parādīta 1.7. attēlā, vai bez tiem – C10 scenārijs, kad veidojas toksiskais mākonis un izkliedējas atmosfērā. Ar ALOHA programmu aprēķināts, ka iztvaikošanas ilgums būs 1 stunda. Ja bojājuma diametrs ir 50 mm, zemākā propāna koncentrācija 10 % apmērā atrodas 836 metru attālumā, bet rezervuāra sabrukuma gadījumā – 710 metru attālumā. Ja bojājuma diametrs ir 50 mm, 60 % koncentrācijas robeža atrodas 359 metru attālumā, laukums $S = 3277774 \text{ m}^2$, bet rezervuāra sabrukuma gadījumā – 1900 metru attālumā, laukums $S = 29236740 \text{ m}^2$.

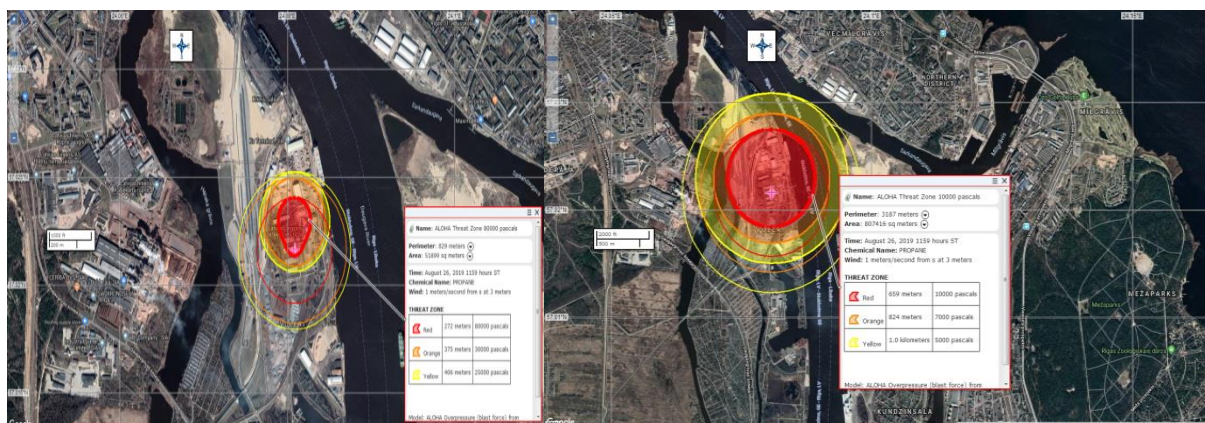
Šis scenārijs veidojas kopā ar toksisko apdraudējumu C10 vai C3 scenārijā, domino efekta gadījumā sākas C12 vai C13 scenārijs, bet C3 scenārijs pāriet C4 vai C5 scenārijā. Tvaika mākoņa sprādziena zonas ar noteikto pārspiedienu parādītas 1.9. un 1.10. attēlā.



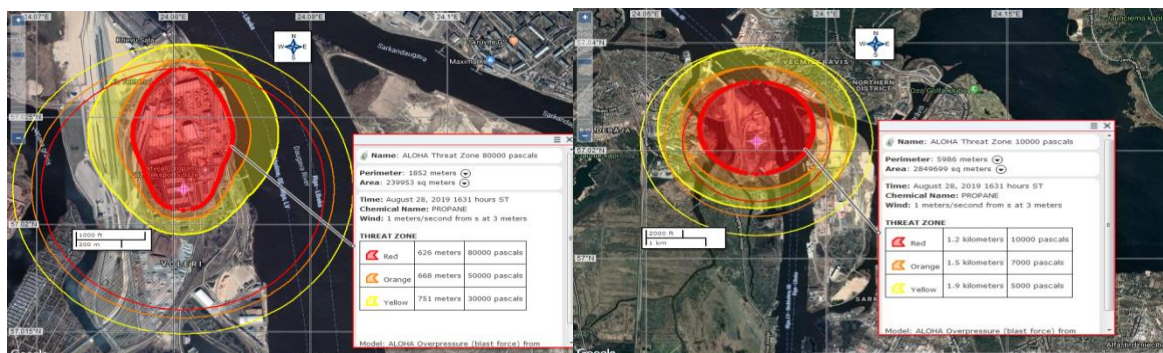
1.7. att. Potenciālā SOG aizdegšanās zona (C11 vai C12 scenārijs). (Avots: autora veidots)



1.8. att. Potenciālā SOG aizdegšanās zona (C4 vai C5 scenārijs). (Avots: autora veidots)



1.9. att. Tvaika mākoņa sprādziena zonas, ja bojājuma diametrs ir 50 mm (C12 scenārijs).
(Avots: autora veidots).



1.10. att. Tvaika mākoņa sprādziena zonas rezervuāra sabrukuma gadījumā (C5 scenārijs).
(Avots: autora veidots).

SOG tvaika mākoņa sprādziena attālumi pārspiediena gadījumā, kas attīstās detonācijas veidā, C12 un C5 scenāriji parādīti 7. pielikumā. Cilvēku traumēšanas iespējamība saistīta ar atrašanos attiecīgajā zonā. Saspiešanas impulsu I^+ propānam aprēķina, izmantojot PD 2.26. formulu, ņemot vērā rezervuāra uzpildījumu, propāna veidu un blīvumu 530 kg/m^3 , pieņemot, ka nosacītais sadegšanas siltums ir vienāds ar $4,6 \cdot 10^7 \text{ Dž/kg}$. Reducēto propāna masu nosaka, izmantojot (1.1.)⁴²⁷ formulu:

$$M_{pi} = (Q_{sd}/Q_n)m_{tv}Z, \quad (1.1.)$$

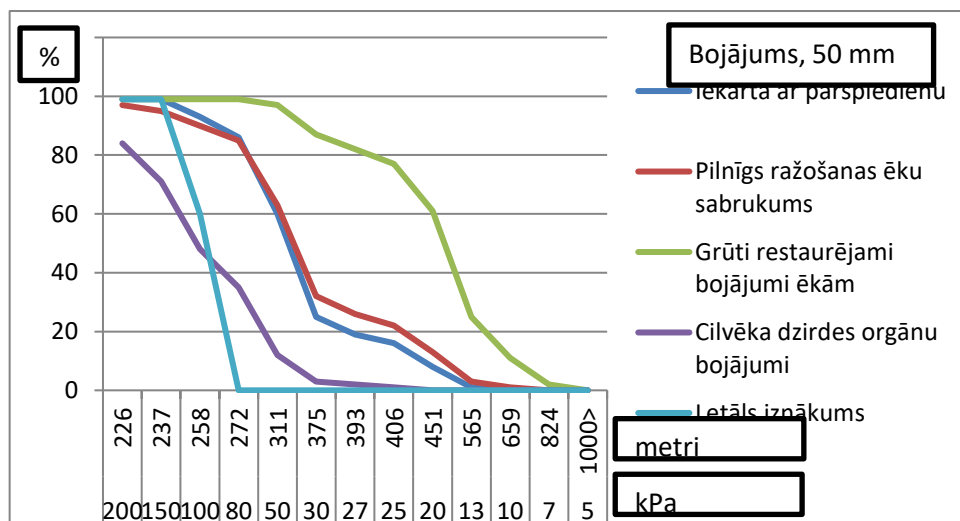
kur Q_{sd} – gāzes sadegšanas īpatnējais siltums;

Z – degošo gāzu un tvaiku līdzdalības degšanā koeficients, kuru pieļaujams pieņemt vienādu ar 0,1;

Q_n – konstante, kas vienāda ar $4,52 \cdot 10^6 \text{ Dž/kg}$;

m_{tv} – degošās gāzes vai tvaika masa, kas izplatās apkārtējā vidē, kg.

Ēku un iekārtu bojājumu un cilvēka traumēšanas varbūtību C12 scenārija gadījumā sprādziena zonā aprēķina, izmantojot *probit* modeli. Aprēķinu rezultāti apkopoti 7. pielikumā, bet grafiskā veidā bojājumu varbūtība, kā arī atkarība no pārspiediena (kPa) un attāluma (m), parādīta 1.11. un 1.12. attēlā. Izmantojot varbūtības principu, iespējams novērtēt dažādu apdraudējumu sekas, ko var apvienot vienā grafikā. C12 scenārija seku izklāstu skatīt turpmāk tekstā.



⁴²⁷ Jemelajanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība 2007, 125.lpp.

1.11. att. Pārspiediena iedarbība rezervuāra bojājuma (Ø 50 mm) gadījumā. (Avots: autora veidots)

200 kPa pārspiediena zonā 226 metru attālumā no notikuma epicentra atrodas 10 nozīmīgas ēkas, līdz ar to šajā zonā gandrīz visi varbūtības rādītāji paredz 97–99 % zaudējumus. Tātad negadījuma rezultātā pastāv 99 % varbūtība, ka šajā zonā visa infrastruktūra un visi darbinieki ies bojā, un ka konstrukcijas tiks pilnīgi sabojātas, turklāt pastāv 99 % varbūtība, ka šajā zonā notiks domino efekts, kas palielinās negadījuma apmēru.

150 kPa zona (11 metru) aptver apgabalu no 226 līdz 237 m attālumā no epicentra – tur letāla iznākuma varbūtība samazinās līdz 60 %, bet pārējo tehnoloģisko iekārtu un celtņu kritisko bojājumu varbūtība joprojām ir 95–99 %, t.i., bīstamība gandrīz nesamazinās.

100 kPa zona (21 metrs) aptver apgabalu no 237 līdz 258 m attālumā no epicentra, tātad spiediens ir divreiz mazāks nekā 150 kPa zonā. Šajā zonā letāla gadījuma varbūtība samazinās līdz 0 %, taču pastāv 48 % varbūtība cilvēkiem gūt dzirdes orgānu bojājumus, piemēram, auss bungādiņas plīsumu, kā arī izmežģījumus, kontūziju vai kaulu lūzumus. Atbilstoši *probit* aprēķinam šo attālumu var uzskatīt par tādu, kurā letāli gadījumi nav paredzami, tomēr - saskaņā ar A.Kozlitina (*A. Козлитин*) izvirzīto viedokli - par 50 % letāla iznākuma varbūtības apgabalu uzskatāma zona ar 55 kPa pārspiedienu, tai pat laikā A. Kozlitins (*A. Козлитин*) apgalvo, ka letāls rezultāts iespējams 100>kPa zonā. Kā redzams no iepriekš teiktā, letāla iznākuma varbūtības aprēķināšanai ar dažādām metodēm, letāla iznākuma iespējamības apgabals var atšķirties. Ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir 90–93 %; bojājumu varbūtība parasti samazinās uz pilnīga ražošanas ēku sabrukuma rēķina, bet kopumā konstrukcijas ir grūti atjaunot.

80 kPa zona atrodas 258–272 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 85 līdz 86 %; 99 % gadījumu konstrukcijas ir grūti atjaunot.

50 kPa zona atrodas 311–272 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 60 līdz 63 %; 97 % gadījumu konstrukcijas ir grūti atjaunot. Šajā zonā 50 % > konstrukciju būtu pilnīgi sagruvušas, un to atjaunošana gandrīz nav iespējama. Šajā zonā pārspiedienu var izturēt ēkas, kas būvētas tā, lai izturētu paaugstinātu antiseismisko ietekmi. 311–226 m rādiusā atrodas divas ēkas, bet kopā ar iepriekšējo zonu – 12 ēku.

30 kPa zona atrodas 311–375 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 25 līdz 32 %, bet grūti remontējamu konstrukciju bojājumu varbūtība samazinās līdz 87 %. Pilnīgi bojātu ēku, kas sagruvušas 30–60 kPa ietekmes zonā, atjaunošana nav lietderīga. Zaudējumi ēkām: 100–150 % no kopējām izmaksām, savukārt sekas cilvēkiem: 5–10 % īpaši smagu traumu, 15–20 % smagu traumu un 40–60 % vidēji smagu traumu.

27 kPa zona atrodas 375–393 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 19 līdz 26 %, bet grūti remontējamu konstrukciju bojājumu varbūtība samazinās līdz 82 %. Tas saistīts ar to, ka pārspiedienu līdz 30 kPa spēj izturēt ēkas ar smagu karkasu un ceļamkrānu aprikojums, bet dzelzsbetona ēkas šādu pārspiedienu nespēj izturēt.

25 kPa zona atrodas 393–406 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 16 līdz 22 %, bet grūti remontējamu konstrukciju bojājumu varbūtība samazinās līdz pat 8–13 %.

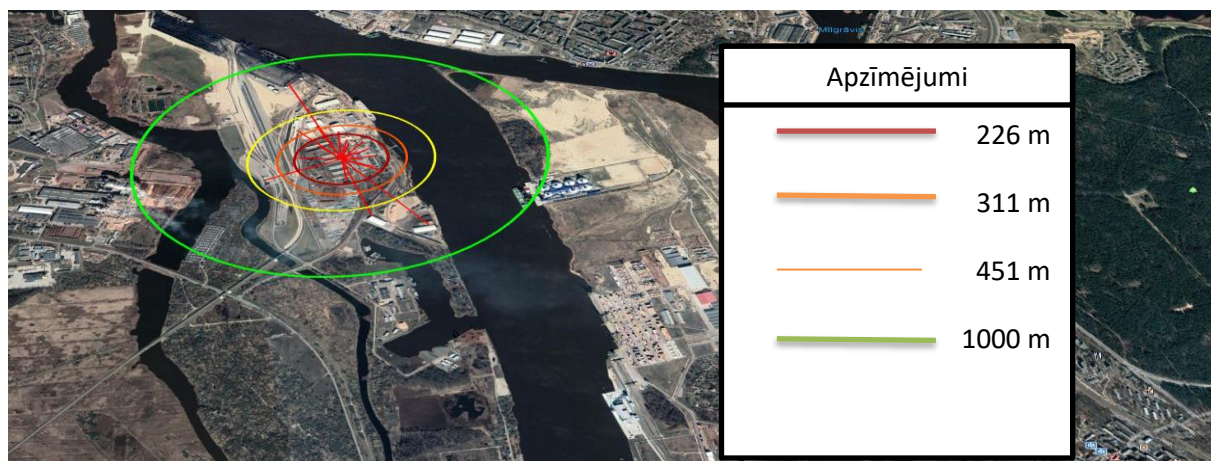
20 kPa zona atrodas 406–451 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 16 līdz 22 %, bet grūti remontējamu konstrukciju bojājumu varbūtība samazinās līdz 61 %.

13 kPa zona atrodas 451–565 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtņu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 1 līdz 3 %, bet grūti remontējamu konstrukciju

bojājumu varbūtība samazinās līdz 25 %. 451–311 m zonā atrodas divas ēkas, kopā ar iepriekšējo zonu - 14 ēku.

10 kPa zona atrodas 565–659 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtnu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 0 līdz 1 %, bet grūti remontējamu konstrukciju bojājumu varbūtība samazinās līdz 11 %. 10–30 kPa zonā raksturīgi vidēji smagi ēku un celtnu bojājumi bez konstrukciju sagruvumiem, kuru dēļ būtu jāveic kapitālais remonts, bet rezervuāri un cisternas, kas varētu atrasties šajā zonā, joprojām ir apdraudēti, un pastāv domino efekta iespējamība.

5–9 kPa zona atrodas 659–1000 m attālumā no epicentra. Šajā zonā ēku, celtnu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir 0 %, bet grūti remontējamu konstrukciju bojājumu varbūtība samazinās līdz 0 %. Šajā zonā raksturīgi viegli ēku un būvju bojājumi, kuru rezultātā ēkām var saplīst stikli. Cilvēka traumatisma robežvērtība ir 3 kPa. Par cilvēkam drošu zonu uzskatāms apgabals vairāk nekā 1000 metru attālumā no notikuma vietas. 0–1000 m zonā atrodas 19 nozīmīgākie objekti. Izvietojumu uz kartes atkarībā no pārspiediena attāluma skatīt 3.12. attēlā, bet objektu iedalījums atkarībā no cilvēku skaita katrā zonā sniegts 10. pielikumā.



1.12. att. C12 scenārijs – pārspiediena iedarbības apgabali. (Avots: autora veidots).

Sestajā blokā novērtē avārijas rezultātā radušos ekonomiskos zaudējumus. C12 scenārija varbūtības seku grafiskais attēlojums atkarībā no attāluma un pārspiediena sniegts 1.12. attēlā. Iespējamās iedarbības rezultātā radušos zaudējumus naudas izteiksmē var noteikt, izmantojot 10. pielikuma datus. Kopējos zaudējumus aprēķina, summējot visu pakāpju sanitāros un letālos zaudējumus visās zonās, un aprēķinā izmanto varbūtības teorēmu par nesavienojamiem notikumiem.

1. zonā strādā 71 cilvēks, un pastāv 99 % varbūtība, ka šie cilvēki nav glābjami, tātad vidēji 70,29 cilvēki pieskaitāmi letāliem zaudējumiem. Pieņemot, ka objektos strādā vidēji statistiskie darbinieki, 70 darbinieku dzīvības vērtību var izteikt šādi: $70 \cdot 774\,854,3 = 54\,239\,801$ EUR. Lai gan pastāv varbūtība, ka 1 cilvēks izdzīvos, visticamāk, šajā zonā gūtās traumas izraisīs pastāvīgu invaliditāti, un zaudējums būs 280 385 EUR. Tātad kopā ar letālo gadījumu skaita aprēķinu cilvēka dzīvības vērtība 1. zonā avārijas gadījumā būs 54 520 186 EUR. Šajā zonā atrodas 11 objektu, tātad, izmantojot 2.31. vienādojumu, zaudējumi naudas izteiksmē būs: $Y_{lk} = 11 \cdot obj = 467\,921 \cdot 1 = 467\,921$ EUR.

Attiecībā uz 2. zonu, kur strādā 13 cilvēku, zaudējumus nosaka, izmantojot *probit* modeli. Letāla iznākuma varbūtība ir no 0 līdz 60 % Ir konkrēti jāpārzina cilvēku un ēku novietojums zonā, jo pārspiediena diapazons šajā zonā ir no 50 līdz 200 kPa. Viena ēka atrodas 150 kPa zonā, bet otra – 100 kPa iedarbības zonā, tātad pastāv 90–95 % varbūtība, ka abas ēkas būs pilnīgi iznīcinātas, un 99 % varbūtība, ka ēkām būs grūti restaurējami bojājumi. Atbilstoši PD 10. pielikumā sniegtajiem datiem, 2. zonā telpās strādā 11 cilvēku, bet 2 cilvēki

strādā ārā. Izmantojot *probit* modeļa datus, letāla iznākuma varbūtība cilvēkiem ir 60 %, bet, izmantojot PD 3.22 tabulas datus, sekas būtu smagākas, un letālo iznākumu varbūtība telpās būtu 0,95, bet sanitārie zaudējumi - 0,05. Noapaļojot 10,45 cilvēkus no 11, sagaidāmi 10 letāli iznākumi, un pastāv varbūtība, ka 1 cilvēks izdzīvos, taču, visticamāk, gūtās traumas izraisīs pastāvīgu invaliditāti, tātad zaudējums vienam cilvēkam būtu 280 385 EUR, bet 10 letāliem iznākumiem: $10 \cdot 774\,854,3 = 7\,748\,543$ EUR, kopā: 8 028 928 EUR.

Letāla iznākuma varbūtību diviem darbiniekiem, kas strādā ārā, brīvā laukumā, var noteikt ar *probit* modeli, un šī varbūtība ir 60 %. Tā kā ir tikai divi darbinieki, iespējams, ka uz vienu darbinieku attiecināms letāls iznākums, bet uz otru darbinieku – smagas traumas, kas izraisīs invaliditāti. Tādā gadījumā zaudējumus aprēķina šādi: $774\,854,3 + 280\,385 = 1\,055\,239,3$ EUR. Kopā 2. zonā zaudējumi būtu šādi: $8\,028\,928 + 1\,055\,239,3 = 9\,084\,167$ EUR. Šajā zonā atrodas 2 objekti, kuru zaudējumi naudas izteiksmē, aprēķinot tos ar 2.31. vienādojumu, būtu šādi: $Y_{lk} = 2obj = 680\,062 \cdot 1 = 680\,062$ EUR.

Attiecībā uz zaudējumiem 3. zonā, kur strādā 16 cilvēku (10 no viņiem strādā telpās, bet seši cilvēki strādā ārā, brīvā laukumā), izmantojot *probit* modeli, šādā attālumā letālu iznākumu paredzēt nav iespējams, tāpēc tiek izmantoti 2.6. tabulas dati un konstatēts, ka iespējamo ar cilvēkiem saistīto zaudējumu varbūtība ir 20 %, no kuriem 5 % ir letālu gadījumu, bet 15 % - sanitāro zaudējumu. Tātad iespējams, ka no 16 cilvēkiem letāls iznākums būs tikai ~1 cilvēkam, un ~2 cilvēki varētu gūt traumas - vieglu organisma kontūziju vai roku un kāju izmežģījumus. Letāla iznākuma zaudējumi vienam cilvēkam būtu 774 854,3 EUR. Aprēķinot ārstēšanas izmaksas stacionārā vieglu traumu gadījumā, atbilstoši PD 3.3. tabulas datiem, ārstēšanas periods būtu no 7 līdz 21 dienai. Izmantojot PD 3.4. tabulas datus par izmaksām stacionārā par vienu dienu, var noteikt maksimālo izdevumu summu, kas nepieciešama šādu traumu ārstēšanai. $2 \text{ cilvēki} \cdot 21 \text{ diena} = 42 \text{ dienas}$, ko kopumā stacionārā pavadīs divi cietušie. Pēc tam dienu skaitu sareizina ar vienas dienas izmaksām stacionārā: $42 \cdot 103 \text{ EUR} = 4326 \text{ EUR}$. Kopējie zaudējumi 3. zonā: $774\,854,3 + 4326 = 779\,180,30$ EUR. Šajā zonā atrodas 3 objekti, ar kuriem saistītos zaudējumus naudas izteiksmē var izteikt ar 2.31. vienādojuma palīdzību: $Y_{lk} = 3obj = 863\,881 \cdot 0,35 = 302\,358$ EUR.

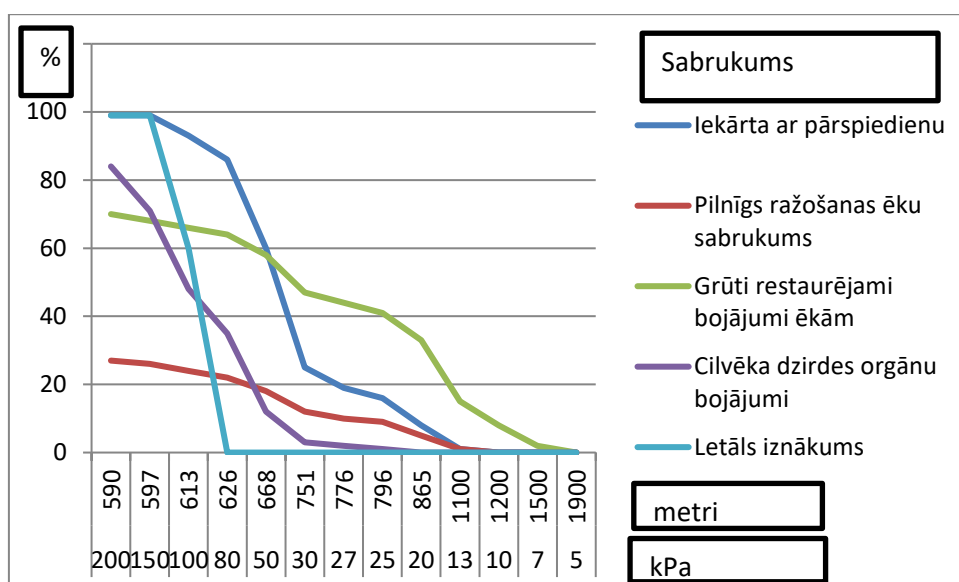
Kopējie tiešie ekonomiskie zaudējumi C12 scenārija gadījumā ir apkopoti 1.6. tabulā. Vislielākie zaudējumi iespējami 2. zonā, jo blakus Stacijas teritorijai atrodas citi objekti, kas ir būvēti diezgan nesen, tiem ir liela kadastrālā vērtība, turklāt šajos objektos strādā daudz cilvēku, kas ir pakļauti nelabvēlīgai iedarbībai Stacijas avārijas gadījumā.

1.7. tabula

Zaudējumi. (Avots: autora veidots).

Kopējie zaudējumi 1.–3. zonā			
	Novērtēšanas objekts	Zaudējumi, EUR	Kopā, EUR
1. zona	cilvēki	5423 980	6104 042
	būves	680 062	
2. zona	cilvēki	1055 239,3	1735 301,3
	būves	680 062	
3. zona	cilvēki	779 180,3	1081 538,65
	būves	303 358,35	
1.–3. zona kopā, EUR:		–	8920 881,3

Attiecībā uz zaudējumiem 4. zonā, kur strādā 28 cilvēki, no kuriem 19 strādā telpās un 7 strādā ārā, brīvā laukumā, konstatējams, ka 314 metru attālumā šajā zonā nav darbinieku. Tātad avārijas rezultātā letāli gadījumi nav paredzēti, un, visticamāk, tiktu gūtas tikai pirmās pakāpes traumas, piemēram, no saplīsušo logu stikliem. Šajā zonā pārspiediens objektam neradīs jūtamas sekas, tāpēc tās šajā darbā netiks izskatītas. Iespējamās sekas parādītas 1.6. tabulā.



1.13. att. Pārspiediena iedarbība rezervuāra bojājuma (Ø 50 mm) gadījumā. (Avots: autora veidots)

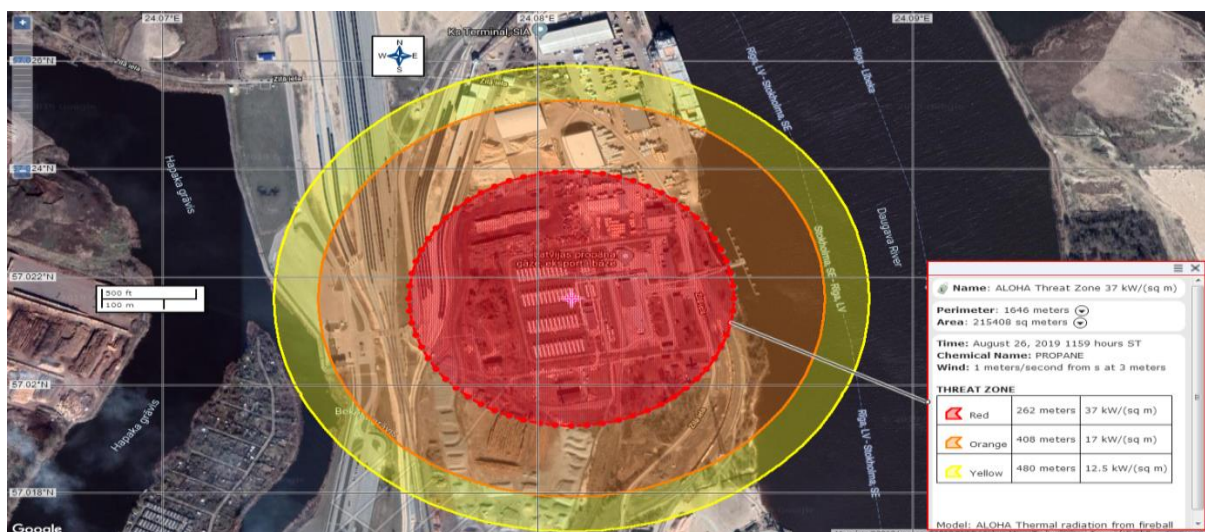
Kopumā C5 un C12 scenāriji ir ļoti līdzīgi, tomēr pastāv dažas atšķirības, piemēram, C5 scenārijā cilvēkiem drošs attālums ir 1900 metri, 200 kPa pārspiediena attālums ir 590 metri, tomēr šajā gadījumā bojājumi ir mazāki, kas ir saistīts ar saspiešanas impulsa samazinājumu. Ne visos avotos var izmantot tabulas, kas neietver impulsa datus.

C5 scenārijā, 200 kPa pārspiediena zonā 590 metru attālumā no notikuma epicentra atrodas 15 nozīmīgas ēkas. Šajā zonā pārspiediena izraisītu iekārtu bojājumu varbūtība ir 99 %, bet ražošanas ēkām – tikai 27 %; grūti remontējamo konstrukciju bojājumu varbūtība ir 70 %, bet letāla iznākuma varbūtība ir 99 %. Pastāv 99 % varbūtība, ka šajā zonā notiks domino efekts, kas palielinās avārijas apmēru.

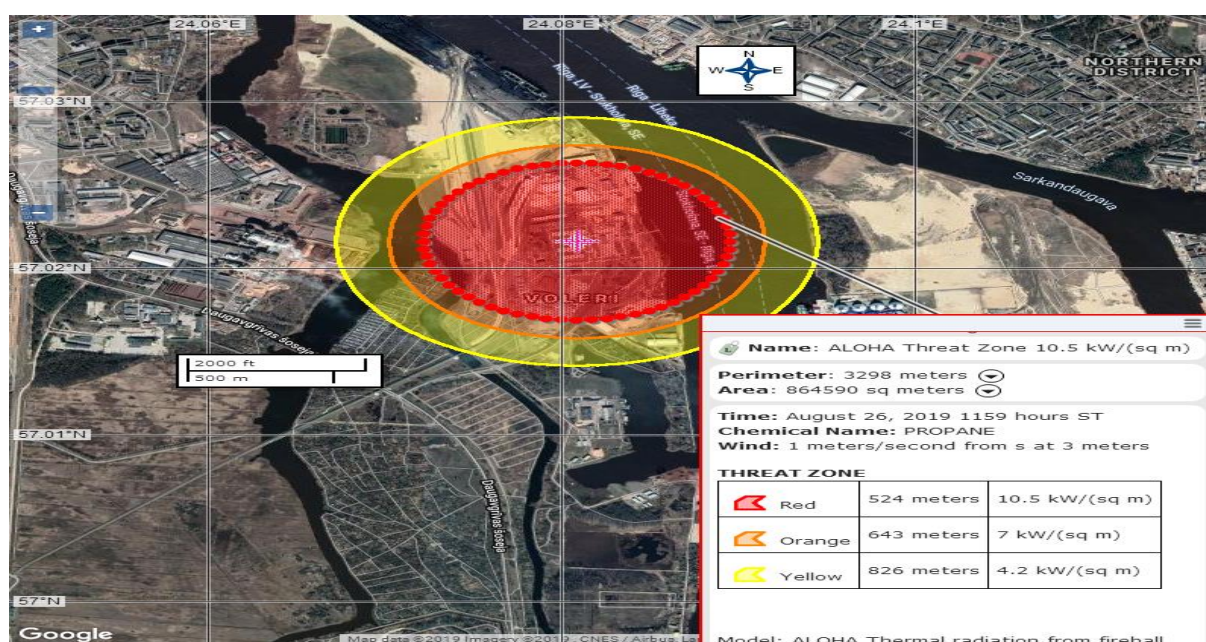
150 kPa zona atrodas 597–590 m attālumā no epicentra, un tur letāla iznākuma varbūtība samazinās līdz 60 %. Pārspiediena izraisītu tehnoloģisko iekārtu bojājumu varbūtība ir 99 %, ēku konstrukciju bojājumu varbūtība ir 26 %, bet letāla iznākuma varbūtība ir 60 %.

100 kPa zona (16 metru) atrodas 613–597 m attālumā no epicentra, un tas nozīmē, ka spiediens šajā zonā būtu divreiz mazāks nekā 150 kPa zonā. Šajā zonā letāla gadījuma varbūtība samazinās līdz 0 %, taču pastāv 48 % varbūtība cilvēkiem gūt dzirdes orgānu bojājumus, piemēram, auss bungādiņas plīsumu, kā arī izmežģījumus, kontūziju vai kaulu lūzumus. Tātad, atbilstoši *probit* aprēķinam, šo attālumu var uzskatīt par tādu, kur letāli gadījumi nav paredzami, tomēr - saskaņā ar M. Gusa teoriju - par 50 % letāla iznākuma varbūtības apgabalu uzskatāma zona ar 55 kPa pārspiedienu. Tostarp A. Kozlitins apgalvo, ka letāls rezultāts iespējams 100>kPa zonā. Tātad, letāla iznākuma varbūtības aprēķināšanai izmantojot dažādas metodes, letāla iznākuma iespējamības apgabals var atšķirties. Ēku, celtnu un konstrukciju bojājumu varbūtība ir no 90 līdz 93 %, un bojājumu varbūtība parasti samazinās uz pilnīga ražošanas ēku sabrukuma rēķina, bet kopumā konstrukcijas ir grūti atjaunot. Kā redzams, rezervuāra pilnīga sabrukuma gadījumā attālumi ir lielāki, bet zaudējumu līmenis, notiekot bojājumam, kura diametrs ir 50 mm, atšķirsies. Tā kā šādas avārijas varbūtība ir zemāka, promocijas darbā iespējamās sekas nav aprakstītas, jo dati dublējas. Skatīt 9. pielikumu.

Ugunsloides siltumstarojums, kas izplatās rezervuāra momentāna sprādziena rezultātā, parādīts 1.14. un 1.15. attēlā, kur ugunsloides diametrs ir 244 metri, pastāvēšanas ilgums: 15 sekunžu. Pēc 60 sekunžu ilgas apstāšanās 524 metru attālumā siltumstarojums būtu 10 kW/m², taču ugunsloides starojuma periods ir īsāks par aprēķināto ekspozīcijas ilgumu, tāpēc, lai noteiktu apdegumu pakāpes varbūtību cilvēkiem, kas atrodas ārā, izmantots *probit* modelis. Rezultātus skatīt 1.7. tabulā.



1.14. att. Ugunsloides siltumstarojuma zonas. (Avots: autora veidots).



1.15. att. Ugunsloides siltumstarojuma zonas. (Avots: autora veidots).

Atkarībā no siltumstarojuma ilguma un intensitātes, izmantojot *probit* modeli, var aprēķināt procentuālo varbūtību cilvēkiem gūt I, II vai III pakāpes apdegumus un noteikt letālo iznākumu varbūtību. Propānu saturoša rezervuāra sabrukuma gadījumā, kad avārijas rezultātā izveidojusies ugunslode, siltumstarojuma rezultāti apkopotā 1.7. tabulā. Vislielākā varbūtība gūt apdegumus ir 37 kWt/m² zonā, kas atrodas 262 metru attālumā no notikuma epicentra, un ir paredzams, ka 100 % cilvēku, kas atradīsies šajā zonā, gūs I un II pakāpes apdegumus, 92 % gūs III pakāpes apdegumus, bet 25 % cilvēku šādas siltumstarojuma intensitātes ietekmē paredzams letāls iznākums. 17 kWt/m² siltumstarojuma zona atrodas 408 metru attālumā no notikuma epicentra, un šajā zonā siltumstarojuma ietekme samazinās, letāli gadījumi nav paredzami, I un II pakāpes apdegumi ir 100 % vai 99 % gadījumu, III pakāpes apdegumi - tikai 5 % gadījumu, bet letāli iznākumi nav paredzami. Šajā zonā ar ugunsloidi saistīts apdraudējums stipri samazinās, ja attālums līdz epicentram ir lielāks, un, pat atrodoties zem ugunsloides, tikai ļoti retos gadījumos letāla iznākuma varbūtība ir 100 %.

Lai noskaidrotu letāla iznākuma un apdegumu varbūtību cilvēkiem, kas atrodas ietekmes zonās, izmantotas 2.4. tabulā sniegtās formulas (2.11., 2.13., 2.14., 2.15., 2.16.).

1.7. tabula

Traumu varbūtība cilvēkiem, kas pakļauti ugunsloides siltumstarojumam. (Avots: autora veidots).

Traumu varbūtība, %	Probit modeļa vērtība	Siltumstarojums, kWt/m ²							Ekspozīcija s ilgums, sek.
		37	17	12,9	10,5	7	4,2	1,4	
Attālums, m		262	408	480	524	643	826	1400	–
I pakāpes apdegumi		100	100	100	100	94	30	0	15
	Pr.	13,11	10,02	8,92	8,10	6,49	4,46	0,09	
II pakāpes apdegumi		100	99	97	80	29	0	0	15
	Pr.	11,05	7,96	6,86	6,04	4,43	2,40	–1,96	
III pakāpes apdegumi		92	5	0	0	0	0	0	15
	Pr.	6,45	3,36	2,26	1,44	–0,16	–2,19	–6,56	
Bojājuma robežvērtība		100	100	100	100	100	52	0	15
	Pr.	13,71	10,62	9,52	8,70	7,09	5,06	0,69	
Letāla iznākuma varbūtība		25	0	0	0	0	0	0	15
	Pr.	4,32	1,67	0,73	0,03	–1,34	–3,08	–6,82	

Iegūtie parametri ir neviennozīmīgi, jo tie ir atkarīgi gan no attāluma līdz notikuma vietai, gan no citiem faktoriem ekspozīcijas laikā. Katra parametra lielumi aprēķināti, balstoties uz aprēķinā pieņemtajiem lielumiem. Atkarībā no laikapstākļiem un rezervuāra uzpildījuma sekas var mainīties, turklāt šos datus ietekmē ļoti straujas kādu aprēķina komponentu izmaiņas, tomēr *probit* modeļa lielumus var izmantot visos gadījumos, ja ir zināms siltumstarojums un attālums līdz notikuma vietai. Katrs gadījums ir atšķirīgs, un daudzas situācijas var būt neprognozējamas.

Prognozējot termiskos zaudējumus $n_{m,n}$ cilvēkiem, izmanto šo vienādojums (1.2.):

$$N_{m,n} = \frac{N_l \cdot \Pi_{m,n}}{100}, \quad (1.2.)^{428}$$

kur N_l – to cilvēku skaits, kas atrodas noteiktā attālumā no ugunsloides uz zemes, zem ugunsloides centrā, cilvēks;

$\Pi_{m,n}$ – prognozējamo tehnisko zaudējumu procentuālā daļa, ko izsaka, izmantojot *probit* modeli, %.

Izmantojot apdegumu ārstēšanai nepieciešamo summu, 1.2. vienādojumu, 1.7. tabulu un PD 10. pielikuma datus par cilvēku atrašanos noteiktā vietā brīvā laukumā zem ugunsloides, 1.8. tabulā apkopoti zaudējumi, kas var rasties siltumstarojuma ietekmē.

1.8. tabula

Zaudējumu novērtējums. (Avots: autora veidots).

Kopējais zaudējumu novērtējums 1.–5. zonā						
	Novērtēšanas objekts: cilvēki		Cilvēku skaits		Zaudējumi, EUR	Kopā, EUR
			Aprēķins	Reāli		
1. zona	Letāli zaudējumi		3,75	4	3099 417,2 322 003	3421 420,2
	Sanitārie zaudējumi	III pakāpes apdegumi	13,8	11		

⁴²⁸ Пичахчи, А.Г. (2015). Методика прогнозирования взрывопожарной опасности газовоздушных смесей. Вестник Института гражданской защиты Донбасса Выпуск 1 (1). стр.26-35.

2. zona	Sanitārie zaudējumi	III pakāpes apdegumi	0,3	0	6	175 638	175 638
		II pakāpes apdegumi	5,94	6			
3. zona	Sanitārie zaudējumi	II pakāpes apdegumi	1,94	2	2	58 546	58 546
4. zona	Sanitārie zaudējumi	II pakāpes apdegumi	1,6	2	2	58 546	58 546
5. zona	Sanitārie zaudējumi	I pakāpes apdegumi	0,3	0	1	0	0
1.–5. zona kopā, EUR	–	–				–	3 714 150,2

Ņemot vērā šos datus, apdegumus varētu gūt darbinieki, kas atrodas ārā, brīvā laukumā. Kopējie zaudējumi letālu gadījumu rezultātā un sanitārie zaudējumi ir 3 714 150,2 EUR.

Zaudējumus, kas saistīti ar gāzes kā izejvielas zaudējumu objektā, var aprēķināt, ja ir zināma mazumtirdzniecības vērtība 1 m³. Atbilstoši SIA *Circle K* tīmekļa vietnē publicētajai informācijai 1 litra cena 2019. gada 25. septembrī bija 0,565 EUR.⁴²⁹ Ja Stacijas parka rezervuāri ir uzpildīti līdz 85 %, kopējais tilpums ir 7883,75 m³, tātad naudas izteiksmē produkta vērtība ir 4 454 318,55 EUR. Visu ar SOG pildīto rezervuāru bojājuma gadījumā zaudējumi Stacijā būtu 4 454 318,55 EUR. Atbilstoši Stacijas DP sniegtajai informācijai, rezervuāru vērtība ir 230 000 EUR, bet, tā kā rezervuāru nolietojums ir kritisks, šī vērtība nebūtu jāņem vērā, jo Stacijai rezervuāri jāutilizē, un to faktiskā vērtība ir 0 EUR.

Kopējās riska situācijas raksturošanai iekļauts objekta individuālā riska novērtējums. Bīstamo objektu individuālā riska rezultāti ir piemērojami objekta kopējā riska līmeņa un apdraudējuma zonas raksturošanai, kā arī teritorijas attīstības plānošanai. Individuālā riska novērtējumā analizēta objektā iespējamo avārijas scenāriju kopējā varbūtība izraisīt cilvēka bojāeju, atrodoties noteiktā vietā objektā vai tā tuvumā.

Darbinieku letāla iznākuma individuālo risku nosaka, izmantojot formulu (2.51.) un pieņemot, ka darbinieki darbā atrodas 8 stundas diennaktī. Cilvēka individuālo risku aprēķina tikai sliktākajos notikumu scenārijos – C5, C6, C12 un C13 scenārijā. Riska novērtējuma rezultātus skatīt 1.9. tabulā.

1.9. tabula

Individuālā riska aprēķins. (Avots: autora veidots).

Scenārija Nr.	Attālums, m	kPa	kWt/m ²	Q(A _i)	Q _p	f _k	Individuālais risks, R gads ⁻¹
							Kopējā varbūtība
C5	590	>200	–	2,3*10 ⁻⁸	0,072*	0,22	8,2*10 ⁻¹⁰
	668	~55	–		0,5	0,22	5,7*10 ⁻⁹
	1100	~14	–		0,01	0,22	1,1*10 ⁻¹⁰
	1500	~7	–		0	0	0
C6	262	–	37	3,2*10 ⁻⁶	0,25	0,22	1,76*10 ⁻⁷
C12	226	>200	–	5,3*10 ⁻⁷	0,072*	0,22	8,3*10 ⁻⁹
	311	~55	–		0,5	0,22	5,8*10 ⁻⁸
	565	~14	–		0,01	0,22	1,1*10 ⁻⁹
	1000	~7	–		0	0	0
C13	262	–	37	3,1*10 ⁻⁵	0,25	0,22	1,7*10 ⁻⁶

⁴²⁹ Degvielas cenas (2019). [tiešsaiste] Circle K SIA, mājas lapa [skatīts 2019. gada 25. septembrī]. Pieejams: <https://www.circlek.lv/lv/pg1334072578525/private/Degviela/Cenas.html>

* Dati iegūti, izmantojot *probit* modeli.

Analizējot 1.9. tabulas rādītājus, redzams, ka, attālinoties no avārijas epicentra, R_i līmenis samazinās, un, ka dažādu letālo gadījumu, kur pārspiediena ietekmē cilvēkam var tikt nodarīti zaudējumi, rezultāti atšķiras, tomēr pārspiediena iedarbība cilvēku var ietekmēt lielākā attālumā nekā siltumstarojums. Tātad individuālais risks visos apskatītajos scenārijos visiem uzņēmumu darbiniekiem iekļaujas pieļaujamā riska robežās. Tomēr, notiekot konkrēta veida negadījumam, jārēķinās ar atbilstošām izmaksām naudas izteiksmē.

Kopējo zaudējumu apmērs tiek noteikts, izmantojot visu zaudējumu apkopošanu. Katra apdraudējuma zonā nepieciešams apkopot visu zaudējumus summu.

Domino efekta novērtējums

Domino efekts blakus esošajos objektos iespējams tikai siltumstarojuma rezultātā, kas ietekmē šajos objektos esošos kokmateriālus. Pārspiediena rezultātā domino efekts nav paredzams, jo pārspiediena rezultātā kokmateriālu fiziskās īpašības nemainās.

Domino efekta aprēķinam izmantots Gausa turbulentās difūzijas modelis, lai noteiktu iespējamo degošo vielu ietekmi uz cilvēkiem, kas veidosies siltumstarojuma rezultātā, notiekot avārijai Stacijas teritorijā un ietekmējot SIA *Krievu salas termināls* teritorijā esošos kokmateriālus.

Kokmateriāli SIA *Krievu salas termināls* teritorijā glabājas 6 m augstās pakās, kur kokmateriālu daudzums $6*6*6$ pakā ir 200–250 m³. Pakas ir apvienotas divās lielās grupās - 2474 m² un 2480 m², un degšanas materiāla slodze ir 1500–2000 kg/m².

Izmešu avots tika modelēts, pieņemot, ka uzņēmuma teritorijā glabājas dažādi kokmateriāli dēļu veidā, tāpēc aprēķiniem izmantoti dati, kas attiecināmi uz dažādu veidu kokmateriālu degšanu: izdegšanas ātrums – 0,0143 kg/m²s, siltumstarojums – 18200 kDž/kg. Iespējamās bīstamākās vielas, kas varētu izdalīties kokmateriālu degšanas procesā, ir CO – 170 g/kg un akroleīns – 2,6 g/kg.

Kokmateriālu kopējo siltuma slodzi, sadegot visiem kokmateriāliem katrā glabāšanas vietā, nosaka ar formulu (2.19).

Atklāta laukuma ugunsgrēkiem siltuma daļa, kas izdalās degšanas zonās ar starojumu un konvekciju, ir 40–50 %. Atlikusī daļa uzsilda pārējos degšanas produktus, bet vidēji cietu organisks izcelsmes materiālu degšanas temperatūra ir 1100–1250 °C.

Kopējais siltuma potenciāls, ko aprēķina ar PD (2.19) formulu, apkopots 1.10. tabulā, kā arī kopējais kokmateriālu sadegšanas ilgums, kas atkarīgs no produkta masas katrā glabāšanas vietā.

Izdegšanas ilgumu aprēķina, izmantojot (1.3) formulu. Rezultāti apkopoti 1.10. tabulā.

$$t = \frac{m}{t_m * S}, \quad (1.3)$$

kur m – materiāla masa, kg;

t_m – materiāla izdegšanas ātrums, kg/m²*min;

S – glabāšanas vieta, laukums, m².

1.10.tabula

Siltuma potenciāls (Avots: autora veidots).

Nr.	Noliktavas platība, m ²	Kopējais daudzums, kg	Zemākais koka sadegšanas siltums, kDž/kg	g_{RH} – siltuma daudzums, MDž/m ²	Izdegšanas ilgums (t), h	Izdegšanas viela, gramī/sek.
1.	2474	3711 000	18 200	27 300 000	1748	35 370
2.	2480	3720 000	18 200	27 300 000	1548	35 450

Ugunsgrēka siltumstarojumu, kas izdalās degšanas vietā, ja $q = 15147 \text{ kWt}$ noteiktā laikposmā $t = 1 \text{ min}$, aprēķina ar formulu PD (2.20), kur: β – pilnīgas sadegšanas koeficients ir 0,97; Q_H – kokmateriālu sadegšanas siltums ir $18\,200 \text{ kDž/kg}$. Izmantojot datus ar piesārņojuma apmēru un maksu par piesārņojumu, ir iespējams aprēķināt videi nodarītā kaitējuma ekonomiskos zaudējumus.

Var secināt, ka objektā glabājas liels daudzums kokmateriālu, kas degšanas gadījumā radīs lielu siltumstarojumu un kaitīgas vielas. Samazināt ugunsgrēka apdraudējumu un iespējamo domino efektu starp Staciju un SIA *Krievu salas termināls* var, glabājot kokmateriālus noslēgtās noliktavās.

Aprēķins par oglekļa monoksīda un akroleīna izplatīšanos atmosfērā (grami minūtē), degot kokmateriāliem visā platībā, apkopots 1.11. tabulā.

1.11. tabula

Oglekļa monoksīda un akroleīna izplatīšanās. (Avots: autora veidots).

Nr.	Noliktavas platība, m^2	Oglekļa monoksīds, g/min.	Akroleīns, g/min.
1.	2474	6206,1	91,78
2.	2480	6206,5	91,80

Bīstamās oglekļa dioksīda koncentrācijas, degot kokmateriāliem visā 6. noliktavas platībā, aprēķināšanai izmantotas Paskvila–Giforda nomogrammas, kas veidotas atbilstoši Brigs modelim. Meteoroloģiskie apstākļi var nemainīties 2–3 stundas, tātad, ja vēja ātrums ir 2–3 m/s, bīstamās vielas var nokļūt pat 20–30 km attālumā no notikuma vietas. Aprēķiniem izmanto šādus parametrus: atmosfēras stabilitātes klase – F, vēja ātrums – 2 m/s. Tā kā vidē jāņem vērā tādi parametri kā augstums, garums un platums, bīstamās CO koncentrācijas noteikšanai konkrētā attālumā un augstumā var izmantot Gausa difūzijas modeļa un Paskvila–Giforda modeļa PD (2.2.) vienādojumu. Aprēķina rezultātus skatīt 1.12. tabulā.

Izmantojot PD (2.2.) formulu, 1.12. tabulā sniegts CO koncentrācijas apmērs noteiktā attālumā no 1. noliktavas, degot kokmateriāliem visā platībā. Šajā nolūkā ir modelēta situācija 3 metru augstumā virs zemes līmeņa (Z ass), konkrētajā attālumā (X ass) no notikuma vietas vēja virzienā (Y ass), aprēķinot koncentrāciju no centrālās ass. Gausa koncentrācijas izplatības shēma (koncentrācijas izplatība un ass) sniegta PD 2.4. attēlā.

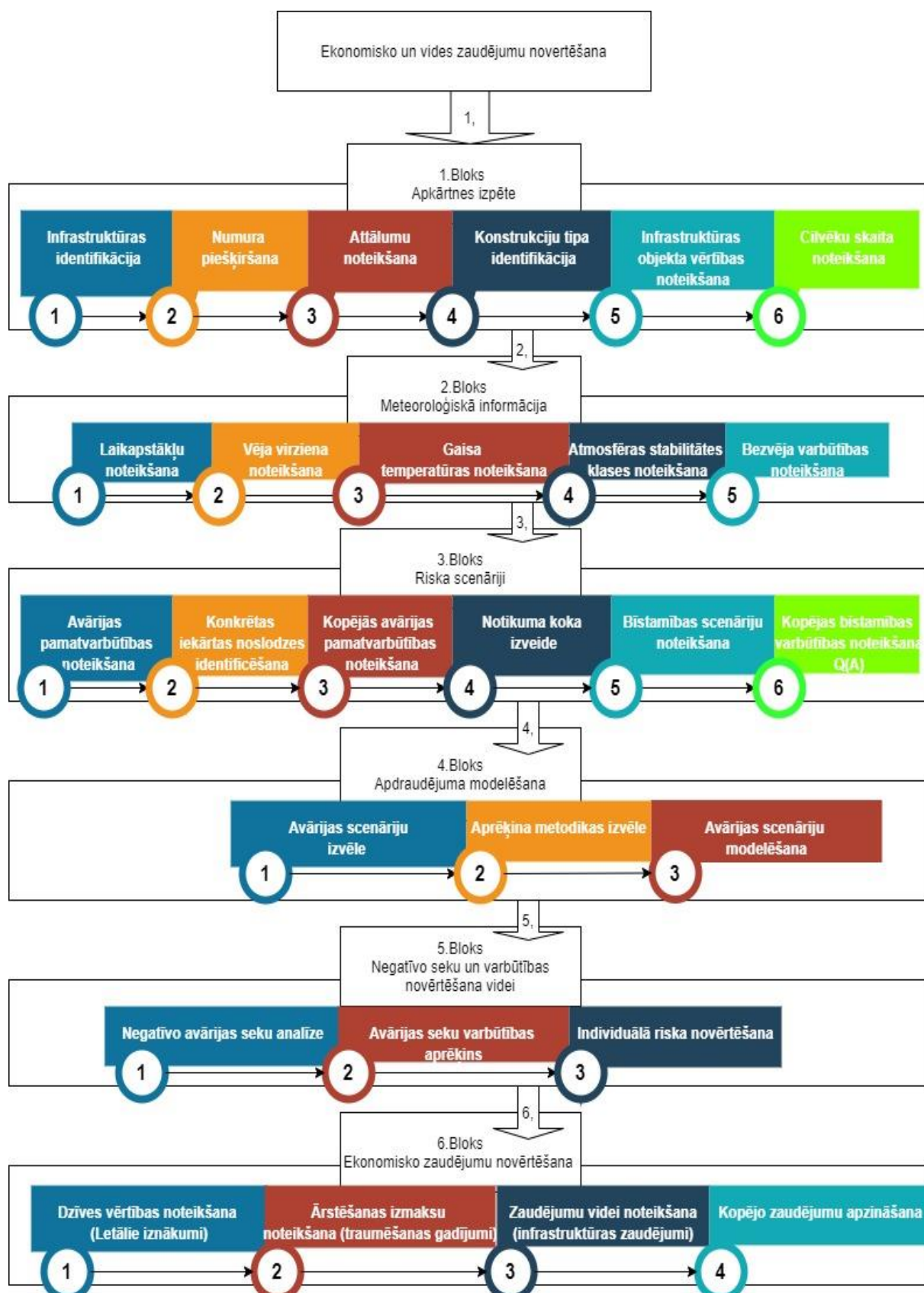
Modelējot situāciju, ka kokmateriālu ugunsgrēks notiek visā noliktavas 2474 m^2 platībā vienlaikus, konstatēts, ka 1 sekundes laikā izdalās $6,201 \text{ kg CO}$, bet 100 metru attālumā no notikuma vietas, 3 m augstumā un 10 metru attālumā no X ass, CO koncentrācija ir $0,006\,887 \text{ g/m}^3$, ko aprēķina ar 2.2. formulu. Pieļaujamā koncentrācija, kas nerada redzamas veselības problēmas, ir $0,02 \text{ g/m}^3$. Šādā gadījumā akroleīna koncentrācija ir $0,1018 \text{ mg/m}^3$, bet pieļaujamā koncentrācija: $-0,7 \text{ mg/m}^3$. Aprēķinu rezultāti sniegti 1.12. tabulā.

1.12. tabula

Attālums m		Koncentrācija (Avots: autora veidots).													
m attālums	f(A)	Q	3.14	U	y	Q(y)	Q(z)	z	h	1	exp1	exp2	exp3	kopā	
100	1	0.9178	3.14		2	10	10.7863874	7.460038	3	3	0.000908	0.65067	1	0.723657185	0.001018
200	1	0.9178	3.14		2	10	21.1695099	14.03293	3	3	0.000246	0.894429	1	0.912646873	0.000421
500	1	0.9178	3.14		2	10	50.2079011	30.23716	3	3	4.81E-05	0.980361	1	0.980505033	9.35E-05
1000	1	0.9178	3.14		2	10	92.966968	50.59644	3	3	1.55E-05	0.994232	1	0.992993411	3.08E-05
2000	1	0.9178	3.14		2	10	163.978318	80	3	3	5.57E-06	0.998142	1	0.997191451	1.11E-05
3000	1	0.9178	3.14		2	10	222.485955	102.3363	3	3	3.21E-06	0.99899	1	0.998282726	6.41E-06
5000	1	0.9178	3.14		2	10	317.542648	137.1989	3	3	1.68E-06	0.999504	1	0.999044207	3.35E-06
10000	1	0.9178	3.14		2	10	491.934955	200	3	3	7.43E-07	0.999793	1	0.999550101	1.48E-06

Tātad ugunslozes siltumstarojuma izraisīts domino efekts būs kokmateriālu aizdegšanās, tomēr tas nenodarīs kaitējumu cilvēku veselībai.

Iegūtie rezultāti apliecina, ka piedāvātā metodoloģija palīdz noteikt bīstamības līmeni, risku un iespējamus zaudējumus PBO.



(Avots: autora veidots).