



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Mihails Urbans

EKONOMISKO UN VIDES ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJA PAAUGSTINĀTAS BĪSTAMĪBAS OBJEKTOŠ

Promocijas darba kopsavilkums

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 darba kopsavilkums

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

RTU Izdevniecība

Rīga 2021

Urbans, M. Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija paaugstinātas bīstamības objektos. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 48 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU IEVF Darba un civilās aizsardzības institūta Padomes sēdes 2021. gada 30. jūnija lēmumu, protokols Nr. 22200-4.1/12.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda projekta “Rīgas Tehniskās universitātes akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” 8.2.2.0/18/A/017 atbalstu.

<https://doi.org/10.7250/9789934226564>

ISBN 978-9934-22-656-4 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2021. gada 10. septembrī plkst. 10.00 tiešsaistē platformā *Microsoft Teams*.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesore *Dr. oec.* Maija Šenfelde,
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Asociētā profesore *Dr. sc. admin.* Daina Vasiļevska,
Biznesa augstskola Turība, Latvija

Profesore *Dr. sc. ing.* Piia Tint,
Tallinas Tehnoloģiju universitāte, Igaunija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Mihails Urbans (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 39 attēli, 52 tabulas, 15 pielikumu, kopā 153 lappuses, neieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 300 nosaukumu.

SATURS

IEVADS	5
1. TEHNOGĒNĀS VIDES STĀVOKLIS UN NOZĪMĪGUMS	11
1.1. Tehnogēnās vides būtība	11
1.2. Paaugstinātas bīstamības objektu bīstamības aktualitāte	13
1.3. Paaugstinātas bīstamības objektu izveide.....	14
1.4. Mūsdienu negadījumu statistiskais apskats	15
1.5. Iespējamie ārējie un iekšējie apdraudējumi.....	18
1.6. Drošības sistēmas vispārējs normatīvais regulējums pasaulē un Latvijā	20
Pirmās nodaļas kopsavilkums un secinājumi	21
2. MŪSDIENU TEHNOGĒNĀS VIDES AVĀRIJU ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS ANALĪZE.....	24
2.1. Vides zaudējumu un gaisa piesārņojuma zaudējumu novērtēšanas metodes	24
2.2. Ar ugunsbīstamību un sprādzienbīstamību saistīto zaudējumu novērtēšanas metodes.....	28
2.3. Tehnogēnā riska novērtēšanas metodes.....	29
Otrās nodaļas kopsavilkums un secinājumi.....	31
3. EKONOMISKO UN VIDES ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE	33
3.1. Cilvēka veselībai nodarītā kaitējuma novērtēšanas metode	33
3.2. Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija	37
Trešās nodaļas kopsavilkums un secinājumi	40
NOBEIGUMS	43
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS UN AVOTU SARAKSTS	45

IEVADS

Eiropas Savienībā (ES) un Latvijā ir spēkā stingri nosacījumi drošības sistēmas darbības jomā, lai saglabātu stabilitāti un aizsargātu valsts tautsaimniecību un sabiedrību no tehnogēniem negadījumiem. 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 tehnogēnām avārijām un nosaka prasības attiecībā uz drošības līmeņa paaugstināšanu. Lai saglabātu valsts efektīvu darbību, neatkarīgu sabiedrības attīstību ārkārtējās situācijas (ĀS) vai katastrofas gadījumā, ir nepieciešama efektīva drošības sistēma un pienākumu kvalitatīva izpilde, lai apdraudējumu novērstu, izmantojot plānotus resursus, un lai būtiski samazinātu kļūdainu lēmumu pieņemšanas varbūtību. Šo pasākumu lietderību vēlreiz pierādīja negadījums 2020. gada 4. augustā Libānā, kur nekontrolēts amonija nitrāta sprādziens radīja ievērojamus zaudējumus pilsētas infrastruktūrai un iedzīvotājiem.

Stabilitāte valstī nav iespējama bez skaidra un konkrēta regulējuma. Tas attiecas gan uz paaugstinātas bīstamības objektu (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 sekū radīto zaudējumu teorētisko analīzi, turklāt valsts līmenī nav izveidota vienota metodoloģija informēšanai par iespējamām ekonomiskām sekām tautsaimniecībai un sabiedrībai PBO avārijas gadījumā.

Pašreiz saskaņā ar Vides pārraudzības valsts biroja datiem Latvijā ir reģistrēti 69 valsts un reģionālās nozīmes PBO, kuru avārijas gadījumā sekas var pārsniegt šo objektu fiziskās robežas un radīt būtiskus ekonomiskus zaudējumus valsts un reģionālā mērogā,¹ tādējādi ietekmējot citus tautsaimniecības objektus un sabiedrību, radot iekšēju valsts drošības apdraudējumu. Šobrīd PBO vadītāji var izvēlēties, kādu programmatūru un riska novērtēšanas metodi izmantot iespējamo sekū apmēra noteikšanai un modelēšanai, piemēram, *ALOHA* (angļu val. – *Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) 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 PBO avārijas gadījumā. Tāpēc ir svarīgi aprēķināt ekonomiskus un vides zaudējumus, apzināt aktuālo situāciju, lai nodrošinātu visas tautsaimniecības plānveida attīstību, jo tikai ar metodoloģijas instrumentiem var plānot nepieciešamos resursus, kā arī noteikt sanācijas pasākumu lietderību un iespējamo zaudējumu apmēru. Promocijas darbā autora piedāvātā metodoloģija izstrādāta pēc lietderības principa, 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 PBO avārijas gadījumā darbā netiek izskatīts.

¹ Malahova, J., Urbans, M., Kiseļovs, G. (2017). Studiju priekšmeta Objekta risku novērtēšana kvalitātes nodrošināšanā. *Akadēmiskās konferences "Mācību metodiskā un zinātniskā darba integrācija studiju procesā"*. Rīga: RTU izdevniecība, 75.–77. lpp.

Ņemot vērā iepriekš tekstā uzskaitītos iemeslus, PBO uzraudzības institūcijām un atbildīgajām personām būtu jāspēj veikt situācijas novērtējums, definēt preventīvos 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.

Promocijas darbā veikta avārijas situāciju izraisīto apdraudējumu modelēšana un apkopota ārkārtējo situāciju statistika pasaulē. Autors izstrādājis lietderīgu, inovatīvu vides un ekonomisko zaudējumu aprēķina metodoloģiju, lai jebkurš interesents, neieguldot lielus laika resursus, varētu iegūt ticamu un pamatotu rezultātu. Darbā apkopotas arī pašreizējās riska novērtēšanas metodes, 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 darbā *probit* modeļa konstantes pārbaudītas, aprēķinos izmantojot dažādus iespējamo avāriju scenārijus.

Pētījuma mērķis, uzdevumi un jautājumi

Pētījuma mērķis ir izstrādāt zinātniski pamatotu metodoloģiju ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanai PBO avārijas gadījumā. Promocijas darba mērķa sasniegšanai tika definēti vairāki 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 mūsdienu 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**: PBO kā tehnogēnās vides elements kopējā drošības sistēmā.

Pētījuma **priekšmets**: ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija PBO.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, tika definēti vairāki **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 pasaulē pastāv riska un zaudējumu novērtēšanas jomā tehnogēnās avārijas gadījumā?
4. Kādu ekonomisko zaudējumu novērtēšanas modeli var izmantot Latvijā iespējamās PBO avārijas gadījumā?

Hipotēze

Pētījuma hipotēze definēta, 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.

Tēzes aizstāvēšanai

- Izstrādātā metodoloģija ļauj novērtēt tehnogēno risku PBO.
- Izstrādātais metodoloģijas ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas algoritmam ir seši pamatblokiem, kas iekļauti viena 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.

Darba aprobācija

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

Promocijas darba struktūra

Lai izpildītu darba uzdevumus un sasniegtu darba mērķi, promocijas darbā ir anotācija, ievads, iztirzājums, kas iedalīts trīs nodaļās. Katrā nodaļā ir vairākas apakšnodaļas un nobeigums.

Pirmajā nodaļā “Tehnogēnās vides stāvoklis un nozīmīgums” pētīta un atspoguļota mūsdienu tehnogēnās vides drošības sistēma Latvijā un pasaulē, kā arī ar to saistītā terminoloģija. Šajā nodaļā ir analizēti arī plānošanas dokumenti tehnogēnās vides drošības jomā, 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. Pirmajā nodaļā ir sešas apakšnodaļas un secinājumi.

Otrajā nodaļā “Mūsdienu tehnogēnās vides avāriju zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas analīze” 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. Otrajā nodaļā ir trīs apakšnodaļas un secinājumi. Katrā apakšnodaļā pētīta un analizēta attiecīgā sistēma un tās trūkumi, kā arī ir sniegti priekšlikumi.

Trešajā nodaļā “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas izstrāde” izveidota PBO ekonomisko un vides zaudējumu metodoloģija, kā arī veikts praktiskais bīstamības, riska pakāpes ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas aprēķins. Trešajā

daļā ir divas nodaļas, kurās izstrādāts metodoloģiskais algoritms PBO ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanai. Katrā nodaļā autors 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.

Noslēgumā apkopoti promocijas darba rezultāti.

Promocijas darbam ir 15 pielikumu. 1. pielikumā apskatīta apdegumu pakāpes klasifikācija; 2. pielikumā aprēķināts vidējais iekšzemes kopprodukta Latvijā pieaugums līdz 2052. gadam, ņemot vērā cenas 2018. gadā, kas tiek izmantots algoritma darbības izveidei; 3. pielikumā sniegta informācija par iekšzemes kopprodukta un nacionālā kopienākuma saistību 2018. gadā faktiskajās cenās, tūkstošos EUR; 4. pielikumā sniegts piemērs, kas pamatots ar zaudējumiem, kas pamatojas uz cilvēkstundām ņemot vērā paliekošu cilvēka darbaspēju zaudējumu; 5. pielikumā sniegts miesas bojājumu apraksts atkarībā no traumas pakāpes cilvēkam; 6. pielikumā sniegta informācija, kas piemērojama bojājumu pakāpes novērtēšanai ēkā un būvēm, kas saistīta ar pārspiedienu; 7. pielikumā sniegta informācija par zaudējumu lielumu novērtēšanas rezultātiem; 8. pielikumā sniegts apraksts par iespējamo zaudējumu lielumu ēkā un būvēm, kā arī cilvēkiem; 9. pielikumā apkopota informācija par darbā izskatītā PBO teritorijas un blakusesošo objektu raksturojumu, aprēķināti attālumi un noteikta kadastrālā vērtība; 10. pielikumā apkopoti PBO bīstamības novērtējuma rezultātā iegūtie dati; 11. pielikumā sniegta informācija par iespējamajiem zaudējumiem PBO avārijas gadījumā; 12. pielikumā sniegta informācija par Krīzes vadības padomes lēmumiem no 2012. līdz 2019. gadam; 13. pielikumā sniegta ugunsloides siltumstarojuma metodiku salīdzinājuma rezultāti; 14. pielikumā veikta autora piedāvātās metodoloģijas aprobācija, veicot praktisko pētījumu, lai PBO avārijas gadījumā novērtētu zaudējumu apmēru; 15. pielikumā sniegta shematiska informācija par autora izstrādātās metodoloģijas veikšanas algoritmiem.

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.

Promocijas 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>.

1. TEHNOĢĒNĀS 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, un tās ir izveidojis cilvēks, lai pasargātu sevi no dabas parādību nelabvēlīgās ietekmes, piemēram, 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 gan mazā, gan lielā apjomā. Bīstamo vielu aprites apmērs un pārstrādes rūpniecības preču daudzums katru gadu pieaug, 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), 2050. gadā šī attiecība pārsniegs 65 %. Pilsētās saražo vairāk nekā 50 % no pasaules IKP, aizņemot tikai 3 % no zemes platības.²

Tehnovide ir visu funkcionējošo un veco, nestrādājošo objektu un to blakusproduktu kopums, kas parādījušies 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 laicīga sistēma, kas ir sociāli organizēta tehniskās matērijās.³

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;

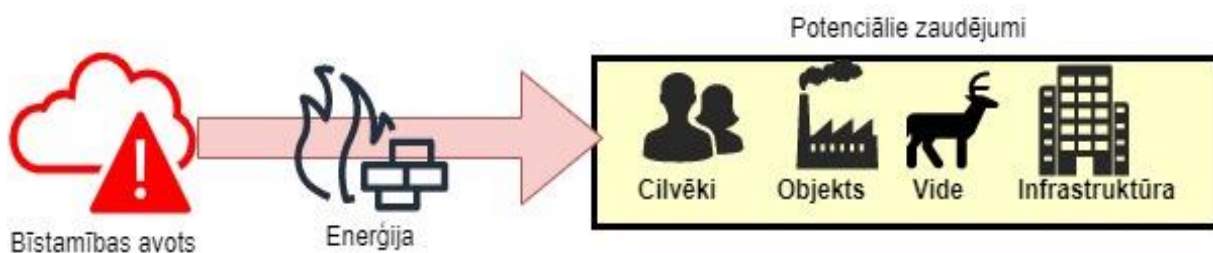
² Kobza, N., Hermanowicz, M. (2018). How to use technology in the service of mankind? Sustainable development in the city. *IFAC Papers On Line*. Vol. (51–30), pp. 340–345.

³ Некрасова, Н. А., Некрасов, С. И. (2010). *Философия техники*. Учебник. Москва: МИИТ. 18. стр.

- sociālie institūti, tehniski organizatoriskie sakari, ar kuru palīdzību cilvēki izveido tehnovides funkcionālās nozares, kas nodrošina tās darbību un attīstību.⁴

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.

Tehnovide ietekmē biosfēru, un šajā darbā uzmanība galvenokārt vērsta uz drošības problēmām, konkrēti – 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 1.1. attēlā.



1.1. att. Bīstamības ilustrācija. Avots: autora veidots.

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 eskalāciju⁵ un lai, plānojot budžetu, būtu gatavi izmaksāt ārstniecības pakalpojumu izmaksas un kompensācijas cietušajiem. Ekonomiskie zaudējumu rādītāji 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 zaudējumi⁶. 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.

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

⁵ 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.

⁶ 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”*.

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. Šajā promocijas darbā 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.⁷ Šie 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.⁸ Saskaņā ar termodinamikas otro likumu nedzīvajā dabā visu laiku paaugstinās entropija, tātad palielinās haoss un dezorganizācija,⁹ 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, taču ne savādāk, tādējādi pašplūsmā entropijas samazināšanas procesi nenotiek.

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.¹⁰ Tātad ar sarežģītām tehnoloģijām un lieliem kapitālieguldījumiem saistītas problēmas pastāv arī attīstītajās valstīs.

⁷ 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.

⁸ 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.

⁹ Пекелис, В. (1986). *Твои возможности, человек!*. Москва: Издательство "Знание", 27. стр.

¹⁰ 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.

1.3. Paaugstinātas bīstamības objektu izveide

Informācija par iepriekšējiem incidentiem un katastrofām ir noderīga, lai analizētu līdzšinējos negadījumus, kas ir viena no jebkura drošības procesa nozīmīgākajām komponentēm un palīdz samazināt turpmāko negadījumu iespējamību.¹¹ Tāpēc šajā darbā analizēti industrializācijas posmi pasaulē, pētīta to savstarpējā saistība, ieguvumi un apdraudējums sabiedrībai.

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 norāda 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 ir cieši saistīta ar tehnoloģiskiem jauninājumiem.¹² Līdzīgs šī termina skaidrojums ir aprakstīts tīmekļa vietnē *www.vesture.lv*: “Industrializācija (angļu val. – *industrialization*) – mašīnizētas lielražošanas attīstīšana ekonomikā.”¹³ 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, 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,¹⁴ lai izskaidrotu industrializācijas procesa pakāpenisko attīstību un ietekmi uz sabiedrību.

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 tās 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, 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 apkopota 1.1. tabulā.

¹¹ 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.

¹² Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept – a historical perspective. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. Vol. (110), pp. 738–746.

¹³ *Industrializācija* [tiešsaite]. Vēstures enciklopēdiskā vārdnīca [skatīts 2018. gada 5. februārī]. Pieejams: <http://vesture.eu/index.php/Industrializ%C4%81cija>.

¹⁴ O'Brien, P. K. (2001). Industrialization, Typologies and History of. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. pp. 7360–7367.

Avāriju situāciju veidi un PBO aizsardzības pakāpe¹⁵

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

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.

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 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.¹⁶

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.¹⁷ 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 to nozīmīgumu, tāpēc jāizvērtē pastāvošie rīki, lai sniegtu pamatotus rezultātus. Dažādiem ĀS scenārijiem zaudējumu apmērs

¹⁵ Багров, А. И., Муртазов, А. К. (2010). *Техногенные системы и теория риска*. Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. 29. стр.

¹⁶ 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.

¹⁷ Jemeļajanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība, 33. lpp.

var atšķirties atkarībā no ietekmējošiem faktoriem. Prognozējot zaudējumus (W), jāņem vērā zaudējumu varbūtība, kas atkarīga no sadales funkcijas (1.1. vienādojums):¹⁸

$$F(w) = P(W < w). \quad (1.1.)$$

Matemātiski novērstos zaudējumus var izteikt ar 1.2. vienādojumu:¹⁹

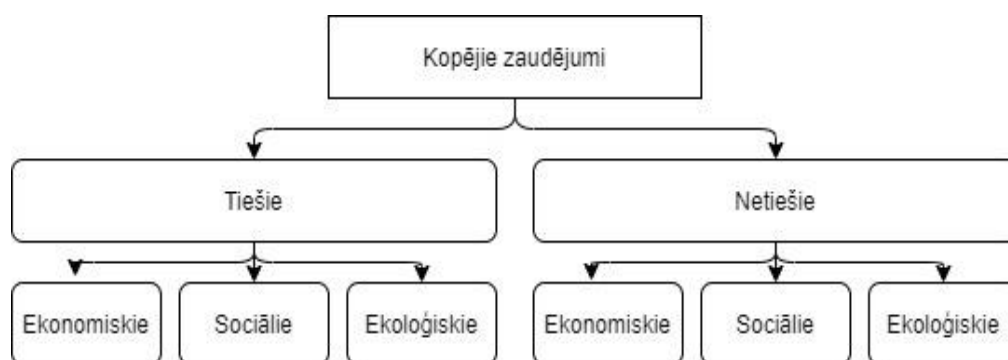
$$\Delta W = W_0 - W_1, \quad (1.2.)$$

kur (1.1. un 1.2. vienādojumā) W_0 un W_1 – zaudējumi pirms un pēc aizsardzības pasākumu veikšanas.

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

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 1.2. attēlā. Veicot aprioru novērtējumu, var aprēķināt risku un iespējamus sociāli ekonomiskos zaudējumus, ņemot vērā iespējamās ietekmes varbūtību.



1.2. att. Pilno zaudējumu struktūra.²⁰

Par tiešiem zaudējumiem avāriju rezultātā 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 iespējamus tehnogēnās vides zaudējumus. Risku matemātiski var izteikt ar 1.3. vienādojumu:²¹

$$R = QP, \quad (1.3.)$$

¹⁸ Беляев, Г. Н. (2008). Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций. *Известия Томского политехнического университета*. Т. 312. № 5, стр. 150–152.

¹⁹ Беляев, Г. Н. (2008). Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций. *Известия Томского политехнического университета*. Т. 312. № 5, стр. 150–152.

²⁰ Вигдорович, В. И. (2004). Техногенный риск. проблемы и решения. *Вестник ТГУ*, т. 9, вып. 4, стр. 405–415.

²¹ Jemeļajanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība. 7. lpp.

kur Q – iespējamība (negadījuma varbūtība); P – sekas (zaudējumu apmērs).

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. Dekkers (*S. Dekker*) un K. Picers (*C. Pitzer*), apgalvo, ka pastāv noteiktas aktuālas problēmas, lai uzlabotu drošības sistēmas un līdz minimumam samazinātu nevēlamas blakusparādības drošības jomā.²² T. Šulers (*T. Schuller*) apgalvo, ka nākotnē valdības lēmumi būs jāpamato ar pierādījumiem.²³ Statistikas dati ir viens no labākajiem pierādījumiem, ko izmantot pamatotu lēmumu pieņemšanā.

Ārkārtas gadījumu datubāzē (*EM-DAT*) pieejamā informācija par Latvijā notikušām katastrofām apkopota 1.2. tabulā.

1.2. tabula

Informācija par Latvijā notikušām katastrofām

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	–	–

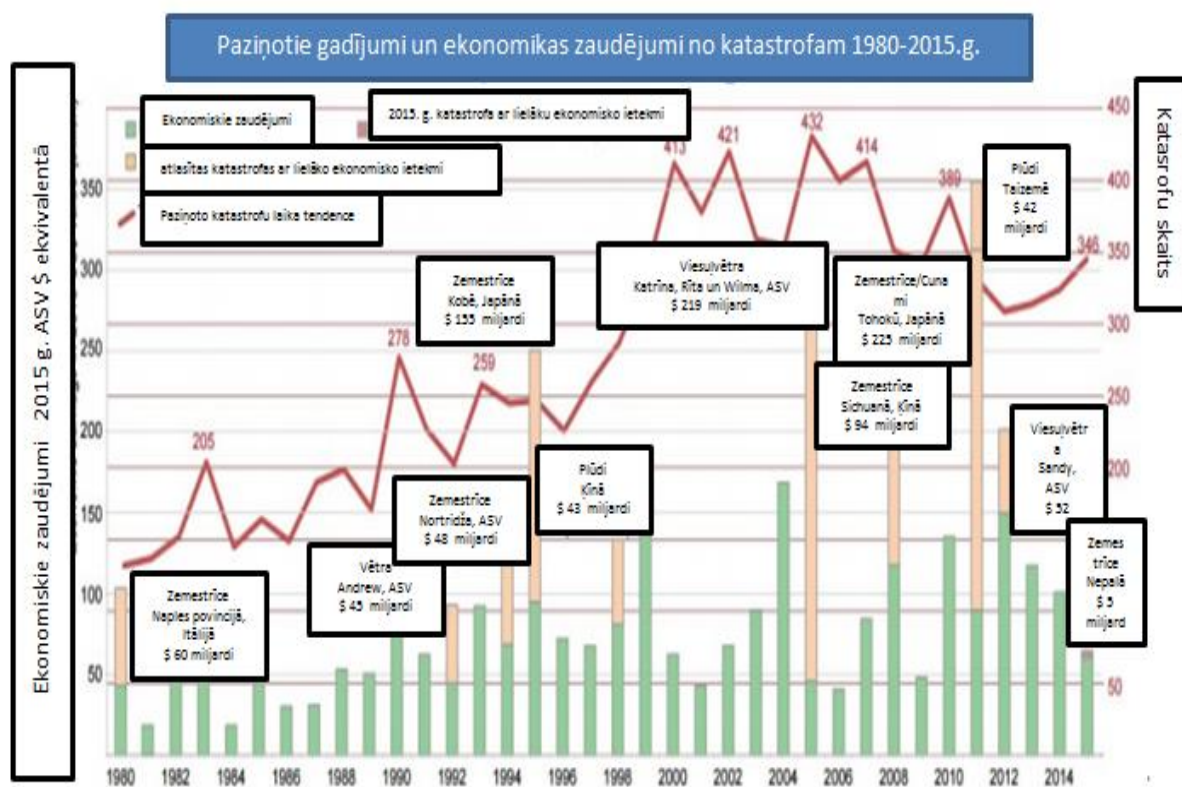
Pašlaik Latvijā ir sarežģīti iegūt statistikas datus par katru katastrofu vai negadījumu, jo Latvijā nav efektīvas šo datu apkopošanas sistēmas un datu ieguve nav automatizēta. Noderīgs tehnogēnās vides un dabas ietekmes risku pārvaldības instruments būtu detalizēta un viegli pielāgojama datubāze, kurā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

Dabas stihiju izraisīto negadījumu radītie ekonomiskie zaudējumi laikposmā no 1980. līdz 2015. gadam apkopoti 1.3. attēla grafikā, kur redzami kopējie pasaulē radītie ekonomiskie zaudējumi. Grafikā izcelti vērienīgākie un smagākie negadījumi gadu griezumā un norādīta valsts, kurā tie notikuši. Pie dzeltenās atzīmes norādīts viena ekonomisko zaudējumu ziņā lielākā negadījuma zaudējumu apmērs konkrētajā gadā. Pēdējie apkopotie dati *EM-DAT* datubāzē apkopoti 2016. gadā, taču katru gadu ir iespējams sekot datiem, kas apkopoti pārskata veidā, piemēram, 2019. gadā notika 396 dabas katastrofas, ietekmēti vairāk nekā 95 miljoni cilvēku, un zaudējumi veido 130 miljardi ASV dolāru²⁴.

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

²³ Schuller, T. (2006). Evidence and policy research. *European Educational Research Journal*, Volume 5 (1), pp. 57–70.

²⁴ 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.



1.3. att. Ikgadējie notikumi un ziņojumi par katastrofu izraisītiem ekonomiskiem zaudējumiem laikposmā no 1980. līdz 2015. gadam.²⁵

Atbilstoši Apvienoto Nāciju Organizācijas datiem biežākais dabas stihiju izraisīto negadījumu cēlonis pasaulē faktiskā un cietušo skaita ziņā ir plūdi un cunami. Otrs biežākais cēlonis ir zemestrīces, vulkānu izvirdumi, trešais – tehnogēnās katastrofas. Kopumā sniegtie dati apliecina, ka, lai gan tehnoloģiju drošību līmenis ir paaugstinājies, negadījumu skaits nav samazinājies, taču 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.²⁶ Katastrofu epidemioloģijas pētījumu centrs tehnogēnās katastrofas iedala trīs grupās: ražošanas (ķīmiskais piesārņojums, sprādzieni, radiācijas piesārņojums, sabrukumi); transporta (avārijas gaisā, jūrā, uz dzelzceļa sliežu un citur); jaukta veida katastrofas (notiek citos, neklasificētos objektos).

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,

²⁵ 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.

²⁶ Sychev, Y. V. (2012). Risks of the man-made disasters of modern times. *Интернет-журнал “Технологии техноферной безопасности”*. Выпуск № 1 (41). стр. 1–9.

kodolenerģiju un lauksaimniecību saistītiem riskiem un cita veida apdraudējumu. Ciktāl reaģēšana uz reālām katastrofām Eiropā ir saistīta ar Civilās aizsardzības (CA) dienestu darbībām, ir skaidrs, ka šādi riski ir jāsamazina un jāizveido atbilstoši atgriezeniskās saites mehānismi, lai pēc iespējas novērstu katastrofas un mazinātu to ietekmi.

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 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.²⁷ Vairākās datubāzēs pasaulē ir reģistrēti un apkopoti negadījumi ķīmiskās rūpniecības nozarē. Šī statistika un tās nozīme ir apskatīta šī darba iepriekšējā nodaļā.

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, kā arī 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 pieļāvušas vai novedušas 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, ko 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 novecojušu tehnoloģiju nomaiņa;
- 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 nepietiekama vai vāja uzraudzība;
- 8) tehniskās kontroles iekārtu zema efektivitāte, procesu bezavārijas apstādināšanas ierīču vājš tehniskais stāvoklis;
- 9) personāla nepietiekama gatavība rīcībai avārijas gadījumā;
- 10) neefektīva lokālo un centralizēto vides monitoringa, kontroles, identifikācijas iekārtu izmantošana.

²⁷ 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.

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.

1.6. Drošības sistēmas vispārējs normatīvais regulējums pasaulē un Latvijā

Latvijas nacionālā drošības sistēmā ir vairāki tiesību akti, kuru mērķis ir garantēt valsts drošību, neatkarību, kā arī labklājību un stabilitāti un veikt atbilstošus pasākumus, lai sekmētu drošu plānotu, ilgtspējīgu 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, savukārt 5. panta 1. daļā noteikts, ka “ikvienam ir tiesības uz personisko brīvību un drošību”.²⁸ Tādējādi šis dokuments paredz cilvēktiesību un pamatbrīvību aizsardzību un nosaka, ka valstu pienākums ir garantēt drošus dzīves apstākļus. Zinātnieks E. Zjo (*E. Zio*) uzskata, ka drošība ir brīvība – brīvība no iespējamā 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.²⁹

Nacionālās drošības likums ir viens no svarīgākajiem tiesību aktiem nacionālās drošības jomā, kas, cita starpā, nosaka Ministru kabinetam (MK) sagatavot Nacionālās drošības koncepciju, kuras pamatā ir valsts apdraudējuma analīze un kurā noteikti valsts apdraudējuma novēršanas stratēģiskie pamatprincipi, prioritātes un pasākumi.³⁰ 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 atspoguļota 1.4. attēlā, kurā parādīts, ka efektīvai nacionālās drošības sistēmas darbībai ir būtiski visu šajā nodaļā 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 un nodrošināt precīzu informāciju

²⁸ *Cilvēktiesību un pamatbrīvību aizsardzības konvencija* (1950). Eiropas padome [tiešsaite] “Latvijas Vēstnesis”, 143/144 [skatīts 2019. gada 8. janvārī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/lv/starptautiskieligumi/id/649>.

²⁹ Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 177. pp. 176–190.

³⁰ *Delfi.lv* (2012). [tiešsaite]. 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>.

un kvantitatīvos datus, kas jāņem vērā valstu amatpersonām, pieņemot politiskus lēmumus.³¹ Lai iepriekš tekstā minētos normatīvos aktus varētu efektīvi īstenot, ir jābūt pieejamiem pamatotiem zinātniskiem modeļiem, jo tikai tā var sasniegt labākos rādītājus un pārvarēt iespējamās krīzes situācijas.



1.4. att. Nacionālās drošības sistēma.³²

Daudzi normatīvie akti apliecina, ka Latvijā ir ļoti sarežģīta drošības sistēma, kuras pārvaldībai jāizmanto dažādi 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, kurā 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 nodaļas kopsavilkums un secinājumi

Pirmajā nodaļā “Tehnogēnās vides stāvoklis un nozīmīgums” sniegto informāciju var apkopot turpmāk tekstā aprakstītajos secinājumos.

Svarīgākie pirmās nodaļas 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 izstrādātie pārvaldības mehānismi,

³¹ 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.

³² 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.

vietējie un ES normatīvie akti, kas reglamentē sistēmas vispārējo darbu un uz kā 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, un atlika vairāk laika citiem darbiem. Tas mudināja palielināt ražošanas apjomus – ražot vairāk un samazināt cenas, taču apdraudējumu neapzināšanās izraisīja pirmās smagās avārijas rūpniecības nozarē un radīja nepieciešamību izstrādāt pirmos regulējošos normatīvos aktus.
3. IZanalizēti tehnogēnās sistēmas attīstības posmi un aprakstīti to galvenie sarežģījumi, kā arī katastrofas un ārkārtējās situācijas, kas saistītas ar ražošanas sistēmas ļoti intensīvu attīstību pēdējos 100 gados, un jaunu, nebijušu apdraudējumu iemesli. Pasaulē joprojām pieaug smago tehnogēno katastrofu skaits, kas ir saistīts ar jaunu ķīmisko vielu izmantošanu rūpniecībā. Neskatoties uz to, ka kopumā tehnoloģiju drošības līmenis ir paaugstinājies, PBO bīstamo avāriju skaits 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 laikus plānot nepieciešamos pasākumus, lai mazinātu konkrētās tautsaimniecības jomas iespējamus apdraudējumus.
5. Identificētas problēmas esošajā riska novērtēšanas pieejā, raksturots tehnogēnas vides izveides process, doti piemēri.

Galvenie pirmās nodaļas secinājumi

1. Konstatēts, ka tehnogēnās katastrofas ir atkarīgas arī 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, jāapzina savas pašreizējās zināšanas par tehnogēno sistēmu un jāveic pamatotus aizsardzības pasākumus, lai uzlabotu vidi un samazinātu sekas. Tādējādi plānošanas dokumenti, kas balstīti uz iespējamo aprioru zaudējumu novērtēšanu, ir aktuāls temats.
3. 21. gadsimtā tehnogēnā vide ir cieši saistīta ar cilvēka dzīvi un tieši ietekmē tās kvalitāti. Sabiedrība un cilvēks praktiski nevar pastāvēt bez ražošanas ietekmes. Ir izstrādātas vairākas pieejas, kā novērtēt PBO avārijas zaudējumus. Bīstamības

novērtēšanas procedūras lietojums ir spējīgs sniegt atbildi par iespējamajiem ārējiem un iekšējiem apdraudējumiem, sniegt informāciju par iespējamajām sekām. Mainoties tehnoloģijām PBO, tiek pielāgoti bīstamības novērtēšanas sistēmas algoritmi, tādējādi arī riska pārvaldīšanas procesu darbības regulāri jāpielāgo PBO izmaiņām. Tas iezīmē jaunas pieejas riska novērtēšanas nepieciešamību, kas saistīta ar reālo naudas zaudējumu izteiksmes apzināšanu.

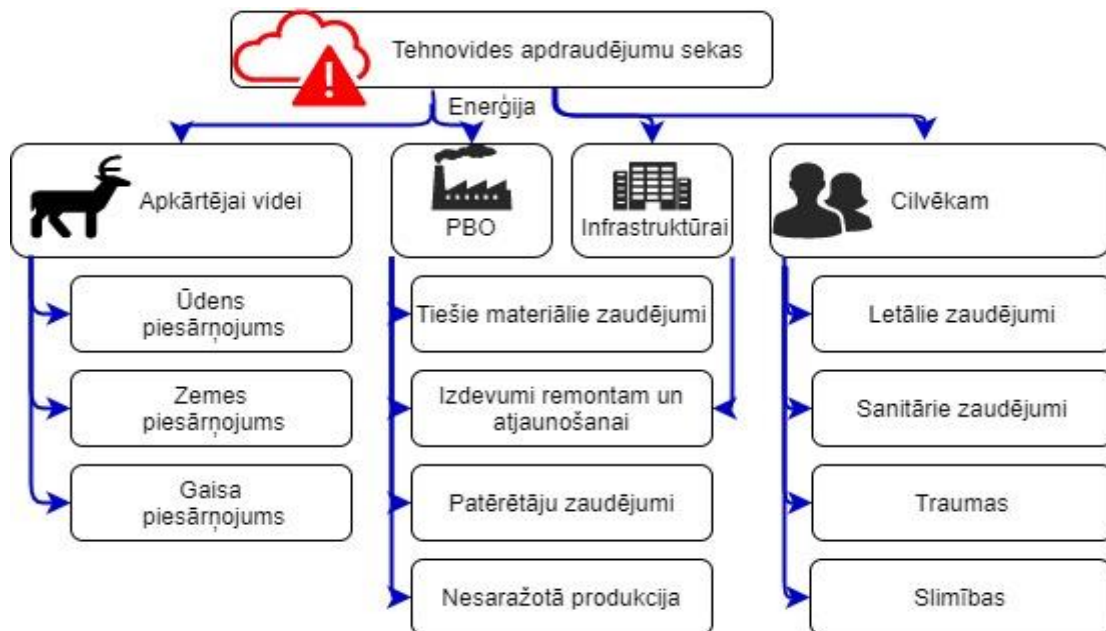
4. Attīstoties tehnogēnai videi, ĀS gadījumu skaits nav samazinājies, kā arī negatīvo seku apjomi tikai pieaug, neskatoties uz drošības sistēmu pilnveidojumiem un kopējo pasaules attīstību.
5. Izpētīta nacionālās drošības sistēmas struktūra, kas attiecās uz PBO darbību Latvijā. Minētā sistēma sniedz iespēju kontrolēt PBO darbību, samazināt iespējamus apdraudējumus un pasargāt iedzīvotājus, infrastruktūru, vidi no ietekmes, taču tehnogēnā vidē 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 TEHNOĢĒNĀS VIDES AVĀRIJU ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS ANALĪZE

2.1. Vides zaudējumu un gaisa piesārņojuma zaudējumu novērtēšanas metodes

Otrajā daļā “Mūsdienu tehnogēnās vides avāriju zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas analīze” 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.

Tehnogēnā riska analīzes metodoloģija ir specifisks instruments, kas var palīdzēt pieņemt pamatotus vadības lēmumus, nodrošinot ražošanas procesa drošību, ugunsdrošību un ekoloģisko drošību PBO. PBO pašreiz netiek veikts visaptverošs iespējamo zaudējumu novērtējums, tāpēc nepieciešams izstrādāt arī toksiskas un citas iedarbības uz cilvēkiem un vidi saistītu 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 2.1. attēlā.

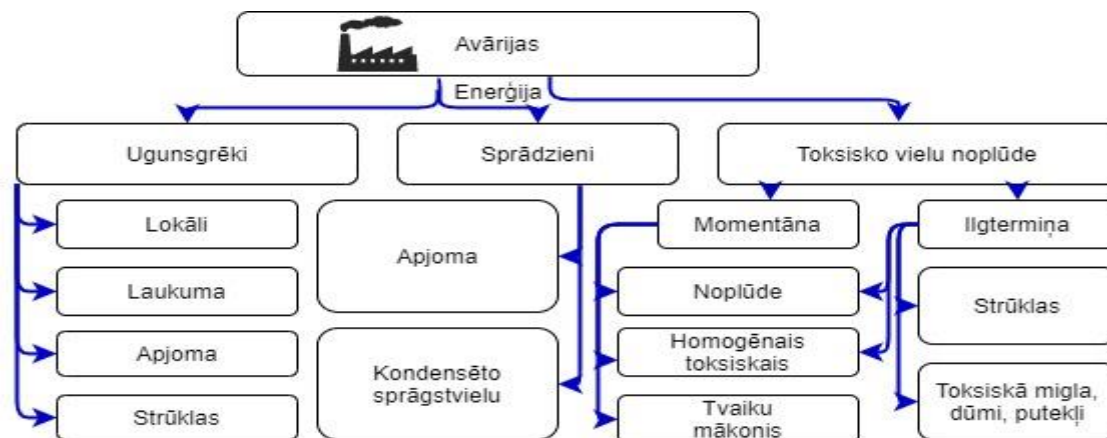


2.1. att. Tehnovides apdraudējumu iespējamās sekas. Avots: autora veidots.

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. 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, kas atrodas gāzēs suspendētā stāvoklī. Dūmi, kas satur no 10^{-7} līdz 10^{-5} lielas cietās daļiņas, ir viens no bīstamākajiem ugunsgrēka faktoriem.³³ Dūmi, kas atrodas atmosfēras zemajos slāņos, piesārņo piezemēs apkārtējo vidi, un nelabvēlīgos laikapstākļos var veidoties smogs un migla.

Avāriju veidi, kas saistīti ar bīstamo vielu izmešiem atmosfērā, redzami 2.2. attēlā.



2.2. att. Shēma, kas ilustrē iespējamās avārijas attīstību, bīstamām vielām nokļūstot atmosfērā.³⁴

Pasaulē pašreiz nav vienota modeļa, lai noteiktu visus faktoros, kas ietekmē bīstamo vielu izplatību atmosfērā. Veicot novērtējumu, parasti ņem vērā tādus faktoros kā vēja ātrums un virziens, atmosfēras spiediens un citi meteoroloģiskie parametri, kas palīdz noteikt piesārņojuma vielu negatīvo ietekmi noteiktā punktā x_i ar koordinātām (x, y, z) .

Daudzi pētījumu rezultāti liecina, ka ar gaisa piesārņojumu saistītās globālās ekonomiskās izmaksas pakāpeniski palielināsies un 2060. gadā tās varētu sasniegt 1 % no pasaules IKP, turklāt vislielākos IKP zaudējumus piedzīvos Ķīna, Kaspijas jūras reģiona valstis un Austrumeiropas valstis.³⁵ Šīs ekonomiskās sekas ir tieši saistītas ar gaisā esošo bīstamo vielu augsto koncentrāciju, kā arī ar sabiedrības novecošanos un augstiem izdevumiem veselības jomā. Tiešās izmaksas palielinās vienmērīgi un proporcionāli ekonomiskajai aktivitātei, taču būtiski palielinās netiešās izmaksas. Latvija atrodas Austrumeiropas reģionā, tāpēc 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.

Lai iegūtu ticamus datus par atmosfēras piesārņojumu ar bīstamām vielām, kas noplūdes gadījumā izdalās, degot vai iztvaikojot toksiskiem šķidrumiem, būtu jāveic ļoti daudz

³³ Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). *Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģenerētajiem piesārņojumiem*. Rīga: RTU izdevniecība. 30. lpp.

³⁴ Романов, В. И. (2006). *Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу*. Москва: Физматкнига. 11. стр.

³⁵ 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.

eksperimentu, izmantojot gāzes aerosolu paraugus, kas ir dārgi. Laikus plānojot nepieciešamos riska samazināšanas pasākumus, lai noteiktu vielu bīstamo koncentrāciju, izplatības rādītājus un samazinātu iespējamo kaitējumu iedzīvotājiem un dabai, ekoloģiskā apdraudējuma bīstamību var aprēķināt arī matemātiski.

PBO, kur glabājas sašķidrīnātas un sprādzienbīstamas gāzes, var nopietni apdraudēt cilvēku veselību un dzīvību, kā arī apkārtējo vidi, jo intensīvas iztvaikošanas rezultātā veidojas lieli toksiski un sprādzienbīstami mākoņi.³⁶ Dūmu, kas veidojas bīstamo vielu degšanas rezultātā, sastāvu ietekmē dažādi faktori, piemēram, degšanas laukums, ugunsgrēka veids, meteoroloģiskie apstākļi, apkārtne, degošā viela vai materiāls un citi faktori. Biežākais cilvēku bojāejas iemesls ir toksisko gāzu ietekme.³⁷ Šīs promocijas darba nodaļas aktualitāte ir acīmredzama, jo gaisa piesārņojuma modelēšana palīdz noteikt un izmantot ugunsgrēka dzēšanas metodiku, aizsargāt iedzīvotājus un Valsts ugunsdzēsības un glābšanas dienesta darbiniekus no koncentrētu bīstamo vielu ietekmes, kā arī samazināt nelabvēlīgo ietekmi uz dabu un noteikt iespējamo seku apmēru.

Promocijas darbā gaisa piesārņojuma, sprādzienbīstamas, siltumstarojuma zonas novērtēšanai autors piedāvā un izmanto *ALOHA* simulācijas programmu, kuras pamatā ir Gausa dispersijas modelis. Simulācijas modeli kopīgi izstrādājušas vairākas organizācijas, ieskaitot ASV Vides aizsardzības aģentūru, Ķīmisko avāriju sagatavotības un novēršanas biroju un ASV Nacionālās Okeānu un atmosfēras administrācijas Reaģēšanas un atjaunošanas biroju.³⁸ *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 simulācijai³⁹ un 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 autora izstrādātās metodoloģijas sastāvā, lai aprēķinātu zaudējumus. 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 šajā darbā *ALOHA* programma tiek izmantota negadījumu apmēra modelēšanai un iedarbības nelabvēlīgo seku novērtējumam.

Novērtēt ekonomiskās sekas videi un infrastruktūrai tikai ar *ALOHA* nav iespējams, tāpēc autors izstrādājis metodoloģiju, izpildes algoritmā iekļaujot visus novērtēšanas posmus.

Lai novērtētu iespējamās kaitīgās sekas, pasaulē ir izstrādāta pieeja, kas balstīta *probit* vai *Erfik* funkcijas izmantošanā, ko ir iespējams savienot ar *ALOHA* programmas aprēķiniem. Ar *probit* modeli, apkopojot datus par reģionu un potenciāli bīstamo objektu tehnoloģiskajām

³⁶ 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.

³⁷ Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). *Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģenerētajiem piesārņojumiem*. Rīga: RTU izdevniecība, 32 lpp.

³⁸ 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.

³⁹ 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.

īpašībām, var noteikt iespējamo ietekmi uz cilvēkiem, precīzi nosakot iespējamus 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 (2.1. izteiksme) 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. vienādojumā⁴⁰:

$$Pr = a + b \ln(D), \quad (2.1.)$$

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.⁴¹ 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 bieži izmantoja 20. gadsimtās, jo tas bija vienkāršs un pielāgojams.⁴² Medicīniskajā statistikā *probit* modeli plaši izmanto, lai prognozētu toksisko vielu iedarbību, sprādziena viļņa sekas un termisko iedarbību.

Probit modeļa rādītājus toksiskās vielas iedarbības uz cilvēku novērtēšanai nosaka, izmantojot 2.2. vienādojumu⁴³:

$$Pr = a + b \ln(C_{ppm}^n \tau), \quad (2.2.)$$

kur a , b un n ir konstantas katrai ķīmiskai vielai; τ – iedarbības ilgums, min; C_{ppm}^n – vielas koncentrācija katrā piesārņojuma vietā, ppm; n – pakāpes rādītājs, ko, tāpat kā a un b rādītāju, nosaka, veicot medicīniski bioloģiskus izmeklējumus.

⁴⁰ 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.

⁴¹ 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.

⁴² 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.

⁴³ 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.

2.2. Ar ugunsbīstamību un sprādzienbīstamību saistīto zaudējumu novērtēšanas metodes

20. gadsimta 40. gados pēc kodolieroču izmēģinājumiem un lietošanas 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, un galvenais negatīvas iedarbības faktors ir siltumstarojums, kas tiek pārnests 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 cilvēkam nav redzams. Vielu un materiālu ugunsbīstamību un sprādzienbīstamību izsaka kā degšanas nosacījumu robežvērtību un maksimālo bīstamību degšanas gadījumā. Tātad siltumstarojums PBO var veidoties tehnoloģisku procesu vai nekontrolējamās degšanas rezultātā. Sprādzienbīstamība galvenokārt ir saistīta ar pārspiedienu, kas rodas, vielā vai materiālā strauji atbrīvojoties lielum 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.

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.

Operatīva palīdzības sniegšana visām personām, kas cietušas siltumsatarojuma dēļ, ir iespējama, pamatojoties uz vienādojumu *deva–efekts*, kas saistīts ar termodinamikas parametriem un ietekmes faktoriem, ko izsaka ar medicīnas kritērijiem termiskā bojājuma gadījumā.⁴⁴

Siltumstarojumu no izplūdušas šķidrās vai cietas vielas var aprēķināt dažādi. Šajā darbā izmantots 2.3. un 2.4. vienādojums^{45, 46}:

$$q = E_f F_q \tau, \quad (2.3.)$$

$$q = E_p F_v \tau, \quad (2.4.)$$

kur E_f , E_p – liesmas siltumstarojuma vidējo virsmas blīvumu (kW/m^2) nosaka, izmantojot eksperimentālos datus; viegli uzliesmojošs šķidrums (VUŠ) vai sašķidrināta ogļūdeņraža gāze

⁴⁴ 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.

⁴⁵ Куликов, В. В. Гаврилин, И. И. (2014). *Огненный шар*. Екатеринбург УрГУПС. 12. стр.

⁴⁶ 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.

(SOG) SOG noplūdes ugunsgrēkiem: naftas produktiem 40 kW/m^2 , SOG 100 kW/m^2 ;⁴⁷ F_v , F_v – apstarojuma virziena koeficients; τ – atmosfēras caurlaidības koeficients

Novērtējot materiālos zaudējumus bojātām ēkām, konstrukcijām un infrastruktūrai, tiek summēti objekti, kas iekļuvuši ietekmes zonā, ņemot vērā to kadastrālo vērtību vai atlikušo vērtību un bojājumu apmēru, ko var aprēķināt, izmantojot 2.5. vienādojumu:

$$Y_{lk} = N_{lk} a_l A_{oblk}, \quad (2.5.)$$

kur N_{lk} – objektu skaits, kurus ietekmēja I pakāpes bojājumi A veidā; a_l – koeficients, ko nosaka atkarībā no objektu bojājumu pakāpes (8. pielikums); 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.

Gāzes tvertņu sprādzieni vai SOG degšana atmosfērā atkarīga no degošās vielas daudzuma, kas nokļuvusi atmosfērā, kā rezultātā var notikt sprādziens, strūklas ugunsgrēks vai izveidoties ugunslobe. Ugunslobe ir gāzes mākonis, kas pārpildīts ar degošu vielu, kas sajaukta ar gaisu, taču tā nevar detonēt un sāk degt apkārt savai ārējai robežai. Ugunslobe nav uzskatāma par standarta ugunsgrēku, jo 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 ugunslobes izveidošanos bieži var attīstīties un kļūt par sprādzienu, ja notikums ir saistīts ar lielu daudzumu degoša šķidrums, ja šķidrums ir pārsildīts, kā arī momentāna rezervuāra vai tvertnes sabrukuma gadījumā. Ugunslobe izveidojas gadījumos, kad ir momentāns aizdegšanās avots un SOG vai VUŠ nepaspēj sajaukties ar gaisu. Ja ir novēlota aizdegšanās, kad vielas paspēj sajaukties ar gaisu, tad tas izraisīs šo vielu sprādzienu.

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 iespējamus bīstamos faktorus

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, pastāvošajiem riskiem un iespējamām sekām. Rezultātā ir iespējams laikus identificēt sistēmas vājās vietas, pieņemt atbilstošus lēmumus, noteikt veicamos pasākumus un novērst trūkumus. Šeit par pamatu var kalpot spēļu teorija un operāciju pētīšana. Lai, identificējot apdraudējumu, varētu pieņemt adekvātu lēmumu, ir jāņem vērā zinātniskie, sociālie, ekonomiskie un kultūras aspekti, pamatojoties uz riska varbūtību. Apdraudējumu

⁴⁷ 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.

novērtēšanas metodes pastāvīgi mainās – tiek pieņemtas jaunas riska novērtēšanas metodes, precizētas un papildinātas esošās.

Riska novērtēšanas mērķis ir rekomendāciju izstrādes, lai paaugstinātu drošību (risku vadība), kas balstīta uz riska novērtējuma rezultātiem.⁴⁸ 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.⁴⁹ Zinātnieki T. Eivens (*T. Aven*) un E. Zjo (*E. Zio*) uzskata, ka riska novērtēšanas un vadības jomā trūkst precīzi definētu un vispārēji saprotamu terminu.

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 iedalīja septiņas riska novērtēšanas pamatmetodes.

1. Kvalitatīvās un ekspertu vērtēšanas metodes.
2. Bīstamības un darbības (angļu val. – *Hazard and Operability Studies; HAZOP*) metodes.
3. Atteices režīma un efekta analīzes metodes.
4. Koka analīzes metodes.
5. Cilvēka drošuma analīzes (angļu val. – *Human Reliability Analysis; HRA*) un cilvēka kļūdas identifikācijas (angļu val. – *Human Error Identification; HEI*) metodes.
6. Kvantitatīvās riska novērtēšanas metodes.
7. Sistēmu analīzes metodes.⁵⁰

Kvalitatīvās metodes izmanto, lai novērtētu riskus, ja trūkst ticamu un precīzu datu.⁵¹ Kvantitatīvā riska novērtējuma metodes izmanto tad, ja ir pietiekami daudz datu vai ja datus var iegūt, simulējot procesu.⁵² Riska novērtējumā bieži izmanto daļēji kvantitatīvās metodes, kas piemērotas datiem ar kvantitatīvām un kvalitatīvām īpašībām.⁵³

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

⁴⁸ 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”*.

⁴⁹ 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*.

⁵⁰ 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.

⁵¹ 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.

⁵² Naderpour, M., Lu, J., Zhang, G. (2014). A situation risk awareness approach for process systems safety. *Safety Science* Vol. 64 (3), pp.173–189.

⁵³ 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.

sarežģītās sistēmās, piemēram, energosistēmās un finanšu sistēmās.⁵⁴ Vairumam drošības sistēmu analīzes paņēmieni pamatā ir neformāla argumentācijas metodika, kas ir lielā mērā atkarīga no drošības inženiera prasmēm un zināšanām.⁵⁵ 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.

Otrās nodaļas kopsavilkums un secinājumi

Otrajā nodaļā 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 ekonomisko un vides novērtēšanai Latvijā, kopumā vairāku metožu savienojums noteiktā secībā sniedz iespēju efektīvai metodoloģijas realizācijai un izmantošanai.

Svarīgākie otrās nodaļas rezultāti

1. Aprakstīti *probit* funkcijā balstītās bīstamības novērtēšanas algoritmi, kas saistīti ar slīpumstarojuma, pārspiediena, toksiskās iedarbības sekām. Konstatēta *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. Ar ugunslodes efekta piemēru veikts dažādu seku novērtēšanas metožu salīdzinājums un 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, tādējādi samazinot vai palielinot riska līmeni PBO. Ugunslodes piemērs sniedz iespēju apskatīt PBO avārijas seku modelējumu un salīdzināt siltumstarojuma seku apjomu.

⁵⁴ 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.

⁵⁵ Ortmeier, F., Reif W., Schellhorn. G. (2005). Deductive cause-consequence analysis (dcca). *IFAC Proceedings Volumes*. Vol. 38, Issue 1, pp. 62–67.

Pēc otrajā nodaļā “Tehnogēnās vides avāriju zaudējumu novērtēšanas metodoloģija” veiktās apskates, var izvirzīt vairākus secinājumus.

1. Apskatītas vides zaudējumu novērtēšanas metodes attiecībā uz ĀS, kas saistītas ar pārspiedienu, siltumstarojumu un toksisko vielu iedarbību, cilvēku un infrastruktūru. Izmantojot matemātiskos modeļus, aprakstīti bīstamās ietekmes iespējamie modeļi.
2. Pamatojoties 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 arī programmas iespējas aprēķināt iespējamās apdraudējuma zonas apkārtējai videi, notiekot avārijai PBO. Secināts, ka minētās programmas izmantošana ļauj būtiski samazināt faktiskā aprēķina laiku un sniedz iespēju attēlot bīstamo faktoru iedarbību kartogrāfiskajā materiālā.
4. Saskaņā ar otrajā nodaļā apskatītajām risku, bīstamības seku metodēm ir iespējams šīs metodes apkopot un uz to pamata izveidot vienotu metodoloģijas algoritmu ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai avārijas PBO gadījumā.

3. EKONOMISKO UN VIDES ZAUDĒJUMU NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE

Trešajā nodaļā “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas izstrāde” izveidota PBO ekonomisko un vides zaudējumu metodoloģija, kā arī veikts praktiskais bīstamības riska pakāpes ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas aprēķins. Šajā nodaļā ir divas apakšnodaļas, kurās autors izstrādājis inovatīvu metodoloģisku algoritmu PBO ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai un aprēķināšanai. Katrā apakšnodaļā autors ir izmantojis un analizējis gan pieejamo teoriju un problemātiku, gan arī citu valstu pieredzi. Atsevišķi autors izskatījis 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 tehnogēnās 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 nelaiemes gadījuma rezultātā zaudējušas ģimenes locekli. Tas ir nepieciešams arī tam, lai izstrādātu pamatodus drošības pasākumus iedzīvotājiem un 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.

Lai novērtētu cilvēka priekšlaicīgas nāves rezultātā radušos materiālos zaudējumus sabiedrībai un mājsaimniecībām, izmanto objektīvos ekonomiskos radītājus. Šīs metodes ietvaros dzīvības vērtību novērtē kā summāros zaudējumus IKP kontekstā saistībā ar ĀS PBO, kas izraisījis vidēji statistiskā cilvēka nāvi. Tam izmanto 3.1. formulu⁵⁶:

$$VSV = \sum_{i=k}^n PIKP, \quad (3.1.)$$

kur VSV – vidējā statistiskā cilvēka dzīvības vērtība; $PIKP$ – prognozējamā vērtība IKP uz vienu iedzīvotāju i -tajā 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 $n - k$ 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 –

⁵⁶ 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.

vidējos zaudējumus sabiedrībai vidēji statistiskā cilvēka nāves gadījumā, k ir nākamais gads, lielumu n aprēķina, izmantojot 3.2. formulu⁵⁷:

$$n = k + \alpha - \beta, \quad (3.2.)$$

kur α – vidēji sagaidāmais cilvēka mūža ilgums nākamajā gadā; β – vidējais valsts iedzīvotāju vecums nākamajā gadā.

Ekonomisko zaudējumu novērtēšanai galvenokārt nosaka tiešās izmaksas, kas saistītas ar traumēto personu ārstēšanos stacionārā. Pie netiešām izmaksām pieder tās, kas saistītas ar darbības samazināšanos, operācijām, emocionālām traumām un invaliditāti.⁵⁸ Aprēķinos pārsvarā ņem vērā izplatītākos traumu veidus – vidēji smagas un vieglas traumas; atsevišķos gadījumos – arī smagus miesas bojājumus, piemēram, apdegumus.

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 šajā darbā ir aktuālas apdegumu ārstēšanas izmaksas. Smagu apdegumu sekas parasti ir nāve, saslimšana, kā arī ekonomiskās un sociālās izmaksas, ko sedz cietušais, viņa ģimenes locekļi, veselības aizsardzības iestādes vai sabiedrība kopumā. Apdegumu aprūpe ir viens no dārgākajiem veselības aprūpes veidiem, jo ārstēšanās laikā ir ilgstoši jāuzturas slimnīcā. Turklāt smagu apdegumu gadījumā parasti jāveic vairākas operācijas, un nepieciešams dārgs aprīkojums, kas ļoti palielina ārstēšanās izmaksas.⁵⁹ Apdegumu ārstēšanas izmaksas ir augstākas nekā daudzām citām izplatītām veselības problēmām, piemēram, insulta un AIDS gadījumā.⁶⁰ Zinātnieks V. Patils (*V. Patil*) aprēķinājis, ka apdegumu ārstēšanas vidējās izmaksas dienā vienam pacientam Lielbritānijā ir 1512 USD, Francijā – 934 USD, Vācijā – 726 USD, Ungārijā – 280,12 USD.⁶¹ Latvijā ārstēšanās stacionārā vienai personā maksā 103 EUR diennaktī, savukārt ārstēšanās intensīvās terapijas klīnikā, toksikoloģijas un sepses klīnikas intensīvās terapijas palātā un tā dēvētajā insulta vienībā vienai personai maksā 401 EUR diennaktī.⁶² Letālu iznākumu proporcijas pacientiem ar dažādu apdeguma laukumu apkopotas 3.1. tabulā.

⁵⁷ Urbans. M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. (2020) Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. Published by VGTU Press, pp. 195–201.

⁵⁸ WHO and the International Society for Burn Injuries issue new fact sheet on burns [tiešsaite]. World Health organization [skatīts 2018. gada 18. septembrī]. Pieejams: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/other_injury/en/burns_factsheet.pdf 1-5pp.

⁵⁹ 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.

⁶⁰ 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.

⁶¹ 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.

⁶² *Maksa par ārstēšanos stacionārā un dienas stacionārā* [tiešsaite]. Aslimnīca.lv [skatīts 2019. gada 16. septembrī]. Pieejams: <https://www.aslimnica.lv/lv/saturs/maksa-par-arstesanos-stacionara-un-dienas-stacionara>

Letāli iznākumi pacientiem ar dažādu apdeguma laukumu⁶³

Rādītājs	Cilvēka ķermeņa apdeguma laukums, %				Pacientu kopskaits
	0–19	20–39	40–59	60–100	
Kopējais pacientu skaits	2519	175	71	35	2800
Mīrušo 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 tālāk tekstā apskatīto algoritmu, kas ir papildināts ar vairāku autoru piedāvāto informāciju par dažādu veidu traumu ārstēšanu un ilgumu. I. Sahins (*I. Sahin*) laikposmā no 2005. līdz 2008. gadam veica pētījumu Gulhane Militārās medicīnas akadēmijas apdegumu centrā Turcijā, Ankarā, aprēķinot vidējās izmaksas vidēja pacienta ar apdegumiem ārstēšanai. Pamatojoties uz pētījuma kritērijiem, tika identificēti 43 pacienti ar smagiem apdegumiem, kuru vidējais uzturēšanās ilgums slimnīcā bija 73 ± 33 dienas, vidējais ķermeņa apdeguma virsmas laukums – 36 ± 7 %. Kopējās vidējās izmaksas bija 15 250 USD.⁶⁴ Tātad pacientu ar apdegumiem aprūpe ir viena no dārgākajām veselības aprūpes jomām, jo saistīta ar ilgstošu uzturēšanos slimnīcā, daudzām nepieciešamām 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, lai noteiktu to cilvēku skaitu, kas guvuši apdegumus un kas neizveseļojas atkarībā no ķermeņa apdeguma laukuma; pētījuma rezultāti sniegti 3.3. tabulā. Kombinēta ietekme, kas parasti notiek avārijas rezultātā PBO, var stipri pasliktināt apdeguma traumu prognozes.⁶⁵

Novērtējot smaguma pakāpi, kas atkarīga no ietekmes uz veselību, zinātniece J. Iļinskaja (*E. Ильинская*) ārstēšanās ilgumu saista ar gūtās traumas smaguma pakāpi atbilstoši sadalījumam, kas sniegts 3.2. tabulā, kur pirmie divi rādītāji atbilst likumā “Par Krimināllikuma spēkā stāšanās un piemērošanas kārtību” noteiktajiem kritērijiem.

Cilvēka traumu smaguma pakāpe⁶⁶

Nr.	Ietekmes ilgums uz veselību, dienas	Ietekmes uz veselību smaguma pakāpe
1.	7–21	Viegla
2.	>21	Vidēja
3.	>120	Smaga

⁶³ 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.

⁶⁴ Sahin, I., Ozturk, S., Alhan, D., Açıkel, C., et al. (2011). Cost analysis of acute burn patients treated in a burn centre: the Gulhane experience. *Fire Disasters*. Vol. 24 (1). pp. 9–13.

⁶⁵ 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.

⁶⁶ 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.

Šajā darbā 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 guvušas šādu apdegumu, 40 % pacientu ar vidēji smagiem vai smagiem apdegumiem pēc došanās prom no slimnīcas nepieciešamas turpmākas operācijas.⁶⁷

Toksiskās iedarbības sekas uz organismu uzskatāmas par vidēji smagu vai smagu saindēšanos, kuras gadījumā nepieciešama 2–3 nedēļu⁶⁸ 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 divas nedēļas jeb 14 dienu. 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: $137,5 \pm 2,85$ dienas, ko cilvēks pavada, atverot darbnespējas lapu, $79 \pm 2,45$ dienas – ārstējoties stacionārā, $64,41 \pm 2,08$ dienas – novērošana poliklīnikā.⁶⁹ 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 apkopots 3.3. tabulā

3.3. tabula

Apkojums par traumu ārstēšanas izmaksām stacionārā⁷⁰

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, t. i., 29 273 EUR, savukārt visilgāk norit pārspiediena iedarbības rezultātā gūto traumu ārstēšana.

⁶⁷ Унижаева, А. Ю., Мартынич, С. А. (2013). Медико-экономическая оценка затрат и качества стационарной помощи при ожоговой травме. *Социальные аспекты здоровья населения* № ФС77-28654 стр. 1–11.

⁶⁸ Остапенко, Ю. Н., Дмитриев, А. В. (2008). *Медицинские аспекты ликвидации аварий, вызванных некоторыми химически опасными веществами*. Методические рекомендации №. 24. Москва, 7. стр.

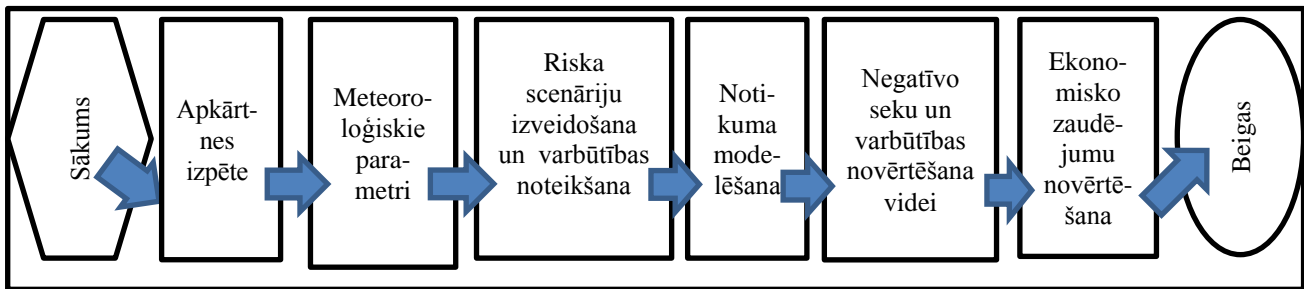
⁶⁹ Попова, Л. А. (1991). *Сроки восстановительного лечения и временной нетрудоспособности больных с переломами костей конечностей при реабилитации их методом чрескостного остеосинтеза по Илизарову*. Курган 11. стр.

⁷⁰ Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. (2020) Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. Published by VGTU Press, pp. 195–201.

3.2. Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija

Metodoloģija izstrādāta, balstoties uz kvantitatīvo 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 redzama 3.1. attēlā, kurā apkopota katra bloka satura pamatinformācija.



3.1. att. Vienkāršota piedāvātās metodoloģijas blokshēma. Avots: autora veidots.

Kopumā bīstamības analīzē ir seši pamatbloki, ko ieteicams izpildīt secīgi. Dažus blokus var mainīt vietām, tomēr, lai iegūtu labāku rezultātu, būtu jāievēro loģiska secība.

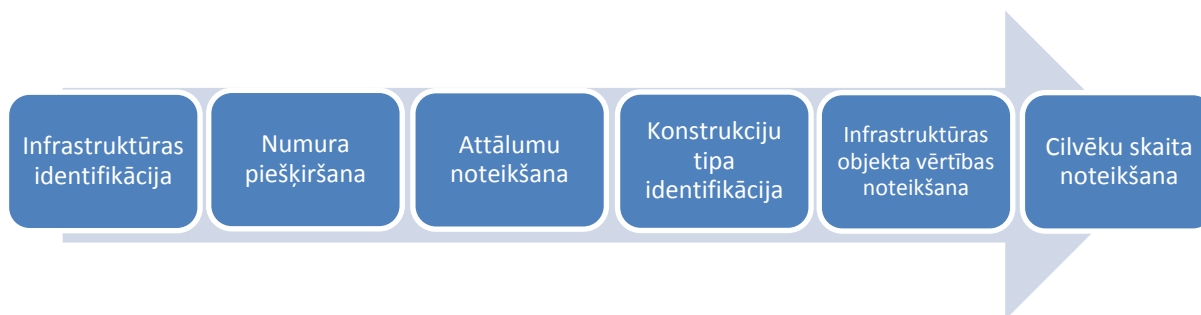
Saskaņā ar 3.2. attēlā sniegto pirmo bloku vispirms jāveic PBO teritorijas un apkārtnes izpēte, lai apzinātu teritorijā esošos objektus un to attālumu no modelētā notikuma (avārijas) vietas, un jānoskaidro arī tas, cik cilvēki atrodas teritorijās un telpās katrā diennakts laikā. Viens no iespējamajiem informācijas apkopošanas variantiem parādīts 3.4. tabulā, kur katrā ailē jāieraksta nepieciešamā informācija. Katram objektam jāpiešķir savs identifikācijas numurs, ko atzīmē situācijas shēmā (kartē).

3.4. 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	Platība, m ²		Darbinieku skaits			Siltumstarojuma zona kW	Pārspiediena zona zona		
						Kopā	Telpās	Teritorijā	Kopā					
1. zona (attālums: 0–100 m)														
1.	SIA XX		50	1	X iela	11111	R-2	10 00	10 00	1	1	2		

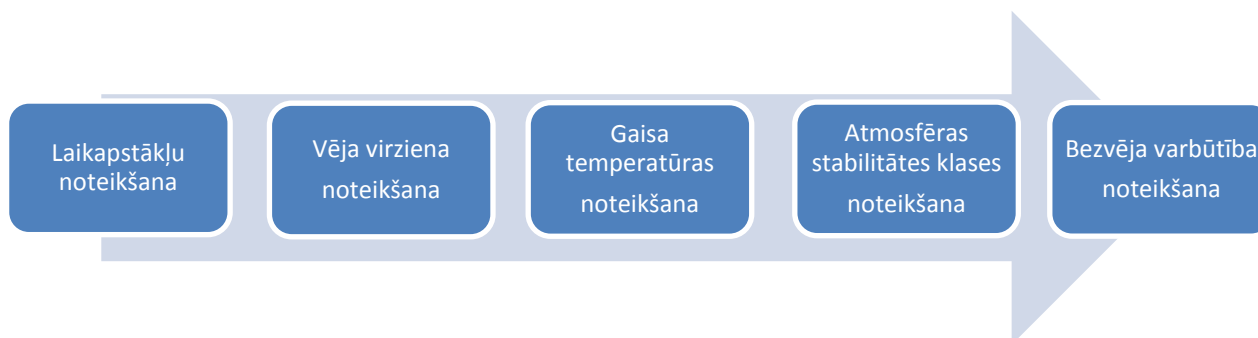
Kopējam ieteicamam pirmā bloka darbību algoritmam ir seši posmi (3.2. att.).



3.2. att. Pirmā bloka ieteicamais izpildīšanas algoritms. Avots: autora veidots.

Pirmais bloks. Atbilstoši 3.3. attēlā noteiktajam algoritmam vispirms ir jāapkopo informācija 3.5. tabulā. Sadalot infrastruktūras objektus pa zonām, ieteicams zonas lielumu noteikt diapazonā ~50–2000 m, tas 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.

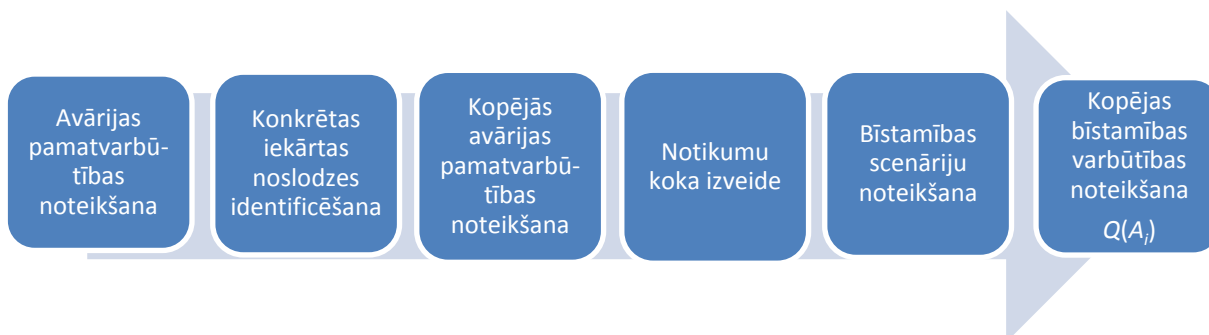
Otrais bloks. Saskaņā ar 3.1. attēlā sniegto uzskaitījumu otrajā blokā nosaka meteoroloģisko informāciju, iekļaujot visnelabvēlīgākos laikapstākļus, vēja virzienu, gaisa temperatūru, atmosfēras stabilitātes klasi un bezvēja varbūtību. Šos datus var iegūt, izmantojot uzziņas avotus (piemēram, LVGMC tīmekļa vietni www.meteo.lv), un tos izmanto, modelējot avārijas scenāriju. Otrajā blokā ieteicamais izpildes algoritms redzams 3.3. attēlā.



3.3. att. Otrā bloka izpildes algoritms (meteoroloģiskā informācija). Avots: autora veidots.

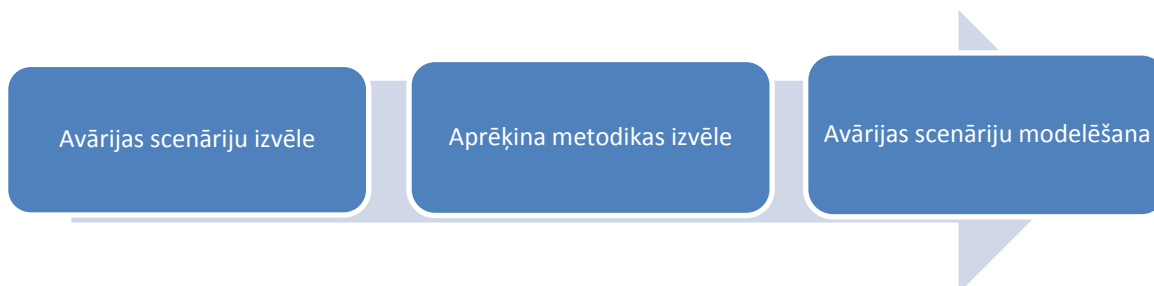
Trešais bloks. Saskaņā ar 3.6. attēlā sniegto uzskaitījumu trešajā blokā identificē bīstamās vielas un to galvenos bīstamības rādītājus, kā arī veido iespējamās avārijas bīstamības scenārijus un aprēķina riska varbūtību, izmantojot notikumu koka metodi. Ja notikums saistīts ar VUŠ vai SOG, notikumu koka izveidei var izmantot 3.9. tabulā apkopotās varbūtības. Notikumu koka piemērs SOG rezervuāra pilnīga sabrukuma gadījumā redzams 3.7. attēlā.

Ilglaicīgi ekspluatējamās PBO jānosaka arī analizējamo iekārtu nolietojumu, lai noskaidrotu, vai nepastāv iekārtas avārijas paaugstināta varbūtība. Nolietojuma pakāpe ietekmē arī iekārtas vērtību. 3.4. attēlā sniegts ieteicamais trešā bloka izpildes algoritms.



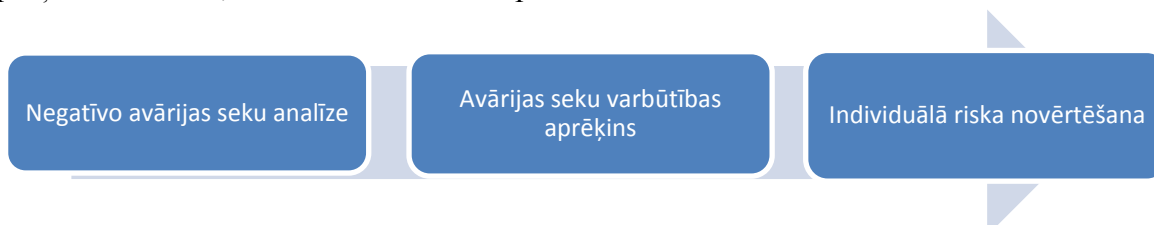
3.4. att. Trešā bloka izpildes algoritms. Avots: autora veidots.

Ceturtajā blokā tiek modelēts notikums, izmantojot *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 kartē, lai atkarībā no ietekmes scenārija noteiktu apdraudējuma ietekmi un ietekmes zonas apgabalu. Saskaņā ar 3.5. attēlā sniegto uzskaitījumu ceturtajā blokā izvēlas modelējamās avārijas scenārijus, izvēlas negatīvo seku modelēšanas aprēķina metodiku, veic modelēšanu ar iepriekšnoteikto metodiku. SOG tvaika mākoņa sprādziena attālumā pārspiediena gadījumā, kas attīstās detonācijas veidā, modelējot ar *ALOHA* programmu, sniedz iespēju ar minimālu laika patēriņu vizuāli novērtēt avārijas seku apmēru, kā arī iegūtos datus izmantot bīstamības analīzei, vides un ekonomisko zaudējumu novērtēšanai.



3.5. att. Ceturajā bloka izpildes algoritms. Avots: autora veidots.

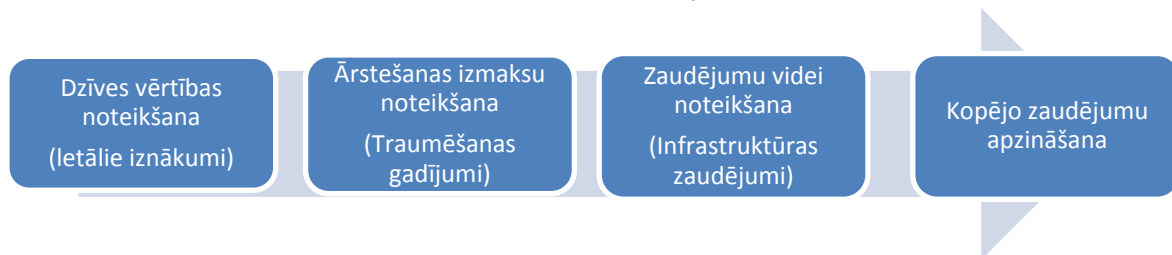
Piektais bloks. Negatīvo seku un to varbūtības apzināšanās videi. Saskaņā ar 3.6. attēlā sniegto uzskaitījumu piektajā blokā analizē negatīvo seku izpausmes, t. sk. notikuma iedarbības attālumus, iedarbību uz ietekmētu vidi, izvēlas negatīvo seku modelēšanas aprēķina metodiku, veic modelēšanu ar iepriekš izvēlēto metodiku.



3.6. att. Piektā bloka izpildes algoritms. Avots: autora veidots.

Sestais bloks. Ekonomisko zaudējumu novērtēšana.

Saskaņā ar 3.7. 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 tam visus zaudējumu aprēķināt kopā.



3.7. att. Sestā bloka izpildes algoritms. Avots: autora veidots.

Lai aprēķinātu vidējos ekonomiskos zaudējumus traumu rezultātā, nosaka vidējo stacionārā pavadīto laiku un sareizina to ar ārstēšanās izmaksām slimnīcā par katru tur pavadīto dienu.

No piedāvātās metodes un iegūtajiem datiem var aprēķināt riska līmeni PBO un novērtēt iespējamos ekonomiskos un vides zaudējumus, kas atkarīgi no apdraudējuma ietekmes un avārijas raksturojuma.

Trešās nodaļas kopsavilkums un secinājumi

Trešajā nodaļā izstrādāts ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas saturs, kas pamatots ar sešu pamatbloku algoritma secīgu izpildi. Pamatojoties uz piedāvāto metodoloģijas algoritmu, veikts modelējums ar iespējamo bīstamo scenāriju uzbūvi PBO ar mērķi pārbaudīt piedāvātās metodoloģijas darbību, veikts konkrēts ekonomisko un vides zaudējumu novērtējums no hipotētiski iespējamās avārijas PBO.

Svarīgākie trešās nodaļas rezultāti

1. Aprakstīta katra metodoloģijas bloka realizācija, raksturoti novērtējuma parametri un rādītāji. Konstatēta metodoloģijas piemērotība PBO ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai.
2. Veikta cilvēka dzīvības vērtības novērtēšanas metodes apskate un izvēle saistībā ar izstrādāto metodoloģiju. 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 sešu bloku algoritmā.
3. Novērtējot ekonomiskās sekas, kas saistītas ar cilvēku traumēšanos avārijas PBO laikā, konstatēts, ka dažādu veidu traumu ārstēšanas izmaksas atšķiras, tomēr metodoloģijā 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. Ekonomiskos zaudējumus 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 izvērtēti vidējais dažādu veidu traumu, kas iespējamās PBO ĀS gadījumā, ārstēšanas laiks.

Promocijas darba trešās nodaļās “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģijas izstrāde” rezultātā veiktās apskates var veikt vairākus secinājumus.

1. Piedāvāts algoritms un izveidota aprioras novērtēšanas metodoloģija, kurā ir seši pamatbloki, ar kuru palīdzību ir iespējams prognozēt vides zaudējumus ĀS gadījumā PBO, ieskaitot infrastruktūras zaudējumus, 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 izdevumus, novērtējot ekonomiskos zaudējumus iespējamās avārijas rezultātā, kā arī plānojot izmaksas cietušajām personām saistībā ar ārstēšanos stacionārā.
2. Ar *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. Ar *ALOHA* programmu var ievērojami saīsināt aprēķinu laiku, noteikt apdraudējuma zonas apgabalu un novērtēt negatīvās ietekmes apmēru, un to var izmantot pirms iespējamo zaudējumu aprēķinu veikšanas ar *probit* modeli.
4. Izmantojot divas dažādas metodes, veikts vidēji statistiskā cilvēka dzīvības vērtības aprēķins dzīvības zaudējuma rezultātā 2020. gadā. Novērtēti iespējamo izdevumu apmēri saistībā ar cilvēka ārstēšanās 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, kam ir iespējams izmantot šo 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. Sliktākās 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 varbūtību, 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 gādātu par apkārtējās vides drošību.
11. Pētījums apstiprina teorētiski svarīgu sakarību: jo tuvāk apskatāmajam PBO atrodas citi objekti, t. sk. cilvēki, jo lielāki zaudējumi tiek nodarīti, un tā rezultātā nepieciešams rēķināties ar lielākiem izdevumiem, atjaunojot šos objektus, kā arī lielāki zaudējumi cilvēku vidū, kas saistīts ar cilvēka atrašanos darba vietā. Tādējādi, plānojot pašvaldības teritoriju, svarīgi apzināties potenciālās sekas un teritoriju plānošanu veikt atbilstoši bīstamības novērtējumam. Plānojot jaunu objektu būvniecību PBO iespējamā apdraudējuma zonās, nepieciešams izvēlēties konstrukcijas un tehnoloģijas, kas 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, ko minimāli tiek ietekmē siltumstarojums, pārspiediens.

NOBEIGUMS

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 definēt vispārējās 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 identificē pastāvošās sistēmas komponentus, PBO drošību ietekmējošus pārvaldības principus, kā arī precīzē sistēmai nosakāmās prasības.
- Izanalizētas avāriju seku novērtēšanas metodes, veikts ugunsloides seku novērtēšanas rezultātu apkopojums.
- Izanalizēta tehnogēnās vides riska novērtēšanas metodoloģija, aprakstīti novērtēšanas procesi, pieejas un trūkumi, kas saistīti ar PBO darbu.
- Piedāvāta 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 noteikts vidējais ārstēšanas ilgums stacionārā, kas saistīts no tipiskām avārijas sekām PBO. Noteiktas šādu pacientu izmaksas par ārstēšanos stacionārā Latvijā.
- Autora izstrādātā metodoloģija PBO ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanai un aprēķināšanai ar atvērtu iespēju ģenerēt kopējā sešu pamatbloku algoritmā vēl citus zaudējumu novērtēšanas uzdevumus, ko metodoloģijas izmantotājs uzskatītu par nepieciešamiem.
- Izstrādāta aprobācija ar detalizētu informāciju par PBO bīstamības novērtēšanu, kā arī ekonomisko un vides zaudējumu aprēķināšanu.

Iegūtie teorētiskie rezultāti ir **praktiski realizēti**.

- Darbā izstrādāta ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija, “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija paaugstinātas bīstamības objektos” aprobēta *Interreg* projektā, novērtējot kopā 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, riska līmeni attiecīgajā PBO, iespējamiem ekonomiskajiem zaudējumiem un zaudējumiem videi. Metodoloģija izmantojama dažādu PBO drošības sistēmu un infrastruktūras bīstamības novērtēšanas procesā, sistēmu apgūvē un lietošanā.

Metodoloģijas izstrāde un aprobācijas rezultāti ļauj veikt vairākus 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 bīstamās situācijas novērtējums.
- Iespēja pārbaudīt jaunu PBO izvietojuma lietderību jau projektēšanas stadijā sniedz iespēju dažādu jomu ekspertiem plānot tuvāko teritoriju izmantošanu, kā arī novērtēt iespējamās sociālos, ekonomisko un vides zaudējumus.

Darba “Ekonomisko un vides zaudējumu novērtēšanas metodoloģija paaugstinātas bīstamības objektos” rezultāti ļauj apstiprināt aizstāvēšanai izvirzītās tēzes. Izstrādātās metodoloģijas aprobācija ļauj secināt, ka piedāvātais algoritms parāda faktiskos apdraudējumus, ļauj apskatīt iespējamo seku 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 seku apjomiem. Integrētie metodoloģijas algoritmi sniedz iespēju izmantot šo pieeju plašam interesentu un speciālistu lokam, savukārt 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 papildu netiešo zaudējumu aprēķinu. Šādu seku 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 likumā nav noteikta vienota metodika. Rezultātā avāriju seku un riska novērtēšana nesniedz precīzu informāciju, jo, novērtējot vienu PBO, izmantojot dažādas metodes, var iegūt dažādus rezultātus. Izstrādātā metodoloģija sniedz iespēju novērtēt PBO bīstamību vairākos objektos un vienotā algoritmā 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, ir guvis apstiprinājumu.

Hipotēzes pierādīšanas procesā autors ir izstrādājis risinājumus, ar kuru ir iespējams novērtēt riska līmeni PBO, ekonomisko un vides seku apjomu, ko var izmantot VUGD, Valsts vides dienests, Vides pārraudzības valsts birojs un pašvaldības, izvērtējot drošības pārskatus, izstrādājot plānošanas dokumentus un CA plānus.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS UN AVOTU SARAKSTS

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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).
5. *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>.
6. 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.
7. *Critical Care*, Vol. 14, pp. 188.
8. 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.
9. *Delfi.lv* (2012). [tiešsaite]. 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>.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Industrializācija [tiešsaite]. Vēstures enciklopēdiskā vārdnīca [skatīts 2018. gada 5. februārī]. Pieejams: <http://vesture.eu/index.php/Industrializ%C4%81cija>.

16. Jemeljanovs, A., Ieviņš, J., Puškina, J. (2007). *Objekta riska novērtēšana*. Rīga: RTU izdevniecība. 184. lpp.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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>.
21. Moore, I. (2014). Cultural and Creative Industries concept – a historical perspective. Procedia – Social and Behavioral Sciences. Vol. (110), pp. 738–746.
22. Naderpour, M., Lu, J., Zhang, G. (2014). A situation risk awareness approach for process systems safety, Safety Science Vol. 64 (3), pp. 173–189.
23. O'Brien, P. K. (2001). Industrialization, Typologies and History of. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. pp. 7360–7367.
24. Ortmeier, F., Reif, W., Schellhorn, G. (2005). Deductive cause-consequence analysis (dcca). IFAC Proceedings Volumes. Vol. 38, Issue 1, pp. 62–67.
25. 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.
26. 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.
27. Sahin, I., Ozturk, S., Alhan, D., Açıkel, C., et al. (2011). Cost analysis of acute burn patients treated in a burn centre: the Gulhane experience. Fire Disasters. Vol. 24 (1). pp. 9–13.
28. 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.
29. 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.
30. Šmidre, P., Jemeljanovs, A., Ieviņš, J. (2008). Vides aizsardzība no tehnogēno avāriju un katastrofu ģeneretajiem piesārņojumiem. Rīga: RTU izdevniecība. 138 lpp.
31. 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.

32. 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.
33. 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.
34. Urbans, M., Malahova, J., Jemeljanovs, V. (2020) Methodology for calculating adverse health effects in Latvia. Published by VGTU Press, pp. 195–201.
35. WHO and the International Society for Burn Injuries issue new fact sheet on burns [tiešsaite]. World Health organization [skatīts 2018. gada 18. septembrī]. Pieejams: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/other_injury/en/burns_factsheet.pdf pp. 1–5.
36. 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.
37. 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.
38. Zio, E. (2018). The future of risk assessment. Reliability Engineering and System Safety. Vol. 177. pp. 176–190.
39. Багров, А. И., Муртазов, А. К. (2010). Техногенные системы и теория риска. Рязань: Рязанский го- сударственный университет имени С. А. Есенина. 207. стр.
40. Беляев, Г. Н. (2008). Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций. Известия Томского политехнического университета. Т. 312. № 5, стр. 150–152.
41. Вигдорович, В. И. (2004). Техногенный риск. проблемы и решения. Вестник ТГУ, т. 9, вып. 4, стр. 405–415.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.

46. 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””.
47. Калининкова, М. В. (2010). Социальные аспекты экологизации современного общества. Известия Саратовского университета. Т. 10. Сер. Социология, Политология. Вып. 4, стр. 11–13.
48. Куликов, В. В., Гаврилин, И. И. (2014). Огненный шар. Екатеринбург УрГУПС. 12. стр.
49. Некрасова, Н. А., Некрасов, С. И. (2010). Философия техники. Учебник. Москва: МИИТ. 164. стр.
50. Никитин, Н. А., Иванюк, Г. К., Трофимов, И. В. (2013). Основы обеспечения безопасности на потенциально опасных объектах обращения нефтепродуктов. Научно-аналитический журнал. Выпуск № 3, стр. 27–37.
51. Остапенко, Ю. Н., Дмитриев, А. В. (2008). Медицинские аспекты ликвидации аварий, вызванных некоторыми химически опасными веществами. Методические рекомендации № 24. Москва, 24. стр.
52. Пекелис, В. (1986). Твои возможности, человек!. Москва: Издательство “Знание”, 27. стр.
53. Попова, Л. А. (1991). Сроки восстановительного лечения и временной нетрудоспособности больных с переломами костей конечностей при реабилитации их методом чрескостного остеосинтеза по Илизарову. Курган 21. стр.
54. Романов, В. И. (2006). Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу. Москва: Физматкнига. 368. стр.
55. 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.
56. 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.
57. 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.