

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības fakultāte

Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģiju institūts

Ilmārs BODE

Doktora studiju programmas “Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija”
doktorants

**SADALES GĀZESVADU SISTĒMU
TEHNISKĀ STĀVOKĻA
NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs

Dr. sc.ing., docents

I. PLATAIS

Rīga 2014

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts
2014.gada _____, plkst. _____ Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības
fakultātes 250.auditorijā, Āzenes ielā 16/20.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr.habil.sc.ing. Egīls Dzelzītis
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.sc.ing. Vladimirs Tarasenko
Vladimiras Valsts universitāte, Krievija

Dr.phys. Gunta Šlihta
Fizikālās enerģētikas institūts

APSTIPRINĀJUMS

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

Ilmārs Bode.....(Paraksts)
Datums.....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, kopā 103 lappuses, satur ievadu, 9
nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu ar 96 nosaukumiem.

ANOTĀCIJA

Promocijas darbā izstrādāta Latvijas apstākļiem piemērota metodika sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtēšanai.

Darba ietvaros veikta sadales gāzesvadu sistēmu tehniskās ekspluatācijas procesa strukturēšana, izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtēšanas metodika akciju sabiedrības (turpmāk AS) „Latvijas Gāze” Bauskas un Cēsu iecirkņos.

Promocijas darbā arī izstrādātas vienotas tehniskās diagnostikas veikšanas darbu metodikas (klejojošo strāvu, elektroapsardzības, augsnes īpatnējās pretestības mērījumi, izolācijas defekti un adhēzija, tērauda pazemes gāzesvadu ekspluatācijas apstākļi utt.) un šo mērījumu rezultātu vienādu pierakstu formas.

Darbā doti salīdzinoši vērtējumi un ieteikumi gāzesvadu tehniskajā diagnostikā pielietojamo iekārtu un mēraparātu izvēlei un testēšanai.

Pētījumu rezultātā dažādos Latvijas reģionos iegūtie dati dod iespēju secināt, ka sadales gāzesvadu sistēmās izveidojas noteiktas t.s. „riskas zonas”, kuru stāvokli iespējams novērtēt un veikt darbības avārijas riska samazināšanai.

Promocijas darbā izstrādātās metodikas gāzesvada ekspluatācijas riska analīze, kas ir viena no rūpnieciskās drošības pārvaldības sastāvdaļām, ietver sistemātisku visas pieejamās informācijas izmantošanu, lai noteiktu bīstamības un novērtētu iespējamu nevēlamu notikumu risku.

Pētījumu gaitā noteikti aprēķina optimālie lielumi, dotas nepieciešamās aprēķina formulas un rezultātu novērtēšanas kritērijs-ekspluatāciju risks (**Re**) nedrīkst pārsniegt pieņemamo risku (**Rp**).

Promocijas darbā izstrādātās sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtēšanas metodikas ieviešana un iestrāde normatīvajos dokumentos nodrošinās pamatotu un operatīvu gāzesvadu tehniskā stāvokļa novērtēšanu.

Promocijas darba rezultāti ziņoti 8 starptautiskās konferencēs, tie atspoguļoti 8 publikācijās.

SATURA RĀDĪTĀJS

Ievads

1. Dabasgāzes sadales gāzesvadu sistēmu tehniskās diagnostikas metodes.....	6
2. Gāzesvada tehniskā stāvokļa novērtēšana un turpmākās ekspluatācijas iespējamības nosacījumu noteikšana.....	9
3. Avāriju riska analīze un novērtēšana saistībā ar pazemes tērauda gāzesvada ekspluatāciju.....	13
Secinājumi.....	19
Publikācijas.....	20

IEVADS

Dabasgāzes sadales gāzesvadu sistēmu tehniskās ekspluatācijas pamatdarbu (tehnisko apkopju un remontdarbu) organizācija un tehnoloģijas ir darbietilpīgi un ļoti nozīmīgi procesi, kas nosaka gāzesvadu sistēmu ekspluatācijas ilglaicīgumu.

Latvijā daļa no dabasgāzes sadales sistēmas gāzesvadiem atrodas ekspluatācijā jau trīsdesmit un vairāk gadus. Laika periodā līdz 20 gs. deviņdesmito gadu sākumam sadales gāzesvadu sistēmu ekspluatācijā valdīja uzskats, ka gāzesvadu kalpošanas ilgums ir 40 gadi. Netika izstrādāti nekādi nosacījumi, kā vērtēt gāzesvadu stāvokli, ja to kalpošanas ilgums pārsniedz šo laiku. Ievērojot, ka daļai sadales gāzesvadu kalpošanas ilgums-40 gadi-jau ir pārsniegts un turpmākajos gados turpinās pieaugt, rodas aktuāla nepieciešamība veikt šo gāzesvadu tehniskā stāvokļa novērtēšanu un pieņemt operatīvus lēmumus šādu objektu uzraudzības pastiprināšanai, vai arī sevišķi bīstamu sistēmas iecirkņu apturēšanai. Kaut arī atbilstoši LVS 445:2011 standartam tiek veikta regulāra šo gāzesvadu tehniskā apkope, līdz šim Latvijā šo procesu izvērtējums, lai noteiktu sadales gāzesvadu sistēmas tehnisko stāvokli un turpmākas ekspluatācijas, remonta, rekonstrukcijas vai nomaiņas kārtību, nav pētīts.

Dabasgāzes pārvades gāzesvadu sistēmas ($P > 16$ bar) tehniskā stāvokļa novērtējumu pētījuši A.Borodiņecs, A.Broks, A.Davis, A.Ješinska un A.Krēsliņš.

Pētījumi balstās uz cauruļvada iekšējo diagnostiku ar speciāla diagnostikas virzuļa ievietošanu gāzesvadā, ar kura palīdzību tiek izvērtēts gāzesvada tehniskais stāvoklis. Taču šī metode sadales gāzesvadu un Lietotāju gāzapgādes sistēmās nav

pielietojama (nepieciešamas speciālas virzuļu palaišanas un saņemšanas kameras, gari, pēc iespējas nesazaroti un speciāli sagatavoti cauruļvadu posmi).

Promocijas darba mērķis – izstrādāt Latvijas apstākļiem piemērotu metodiku sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtēšanai.

Promocijas darba uzdevumi:

1. Izstrādāt vienotas prasības gāzesvadu tehniskās diagnostikas darbu organizācijai, veikšanai un uzskaitēi.
2. Izstrādāt vienotu metodiku gāzesvada tehniskā stāvokļa novērtēšanai un turpmākas ekspluatācijas iespējamības noteikšanai.
3. Veikt pētījumu par gāzesvadu sistēmu diagnostikā piemērojamas aparatūras izvēli.
4. Veikt promocijas darbā izstrādātās sadales gāzesvadu sistēmas tehniskā stāvokļa novērtēšanas metodikas eksperimentālo pārbaudi.
5. Sagatavot priekšlikumus par Valsts standartā LVS 445:2011 „Dabāsgāzes sadales un Lietotāju gāzapgādes sistēmu ar maksimālo darba spiedienu līdz 1,6 MPa (16 bar) ekspluatācija un tehniskā apkope” nepieciešamajām izmaiņām.
6. Sagatavot priekšlikumus jauna nozares standarta LV NS GS izstrādei, kurā būti ietverta sadales gāzesvadu sistēmas tehniskā stāvokļa novērtēšanas metodika.

Pētījumu metodika un līdzekļi

Pētījumā izmantota AS „Latvijas Gāze” tehniskā izpilddokumentācija, gāzesvadu ekspluatācijas tehniskās pasēs un citi ar gāzesvadu ekspluatāciju saistīti dokumenti.

Darba zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti

Promocijas darba izstrādes laikā veiktie pētījumi apliecina nepieciešamību izstrādāt, aprobēt un ieviest jaunu, mūsdienīgu sadales gāzesvadu tehniskā stāvokļa novērtēšanas metodiku. Promocijas darba ietvaros šāda metodika ir izstrādāta un tā apliecinājusi savu lietderību praksē.

Darba praktiskais pielietojums

Aprēķini rāda, ka metodikas praktiskais pielietojums dotu iespēju visai operatīvi iegūt datus par gāzesvadu tehnisko stāvokli, dot izvērtējumu kā rezultātā noteikt efektīvākos un racionālākos tehniskās apkopes un remontdarbu veidus, šo darbu izpildes un gāzesvada turpmākas ekspluatācijas termiņus.

1. DABASGĀZES SADALES GĀZESVADU SISTĒMAS TEHNISKĀS DIAGNOSTIKAS METODES

Tērauda gāzesvadi Latvijā tika izbūvēti dažādos apstākļos, sākot ar 1960. gadu. Tā kā tērauda gāzesvadi netika izbūvēti vienā gadā, tie tiek ekspluatēti ar dažādu ekspluatācijas ilgumu (sk.1.1. attēlu), nolietojuma pakāpi un citiem faktoriem, kas prasa atšķirīgu tehnisko ekspluatāciju un renovāciju.



1.1. att. Ekspluatācijā esošo tērauda gāzesvadu kalpošanas ilgums

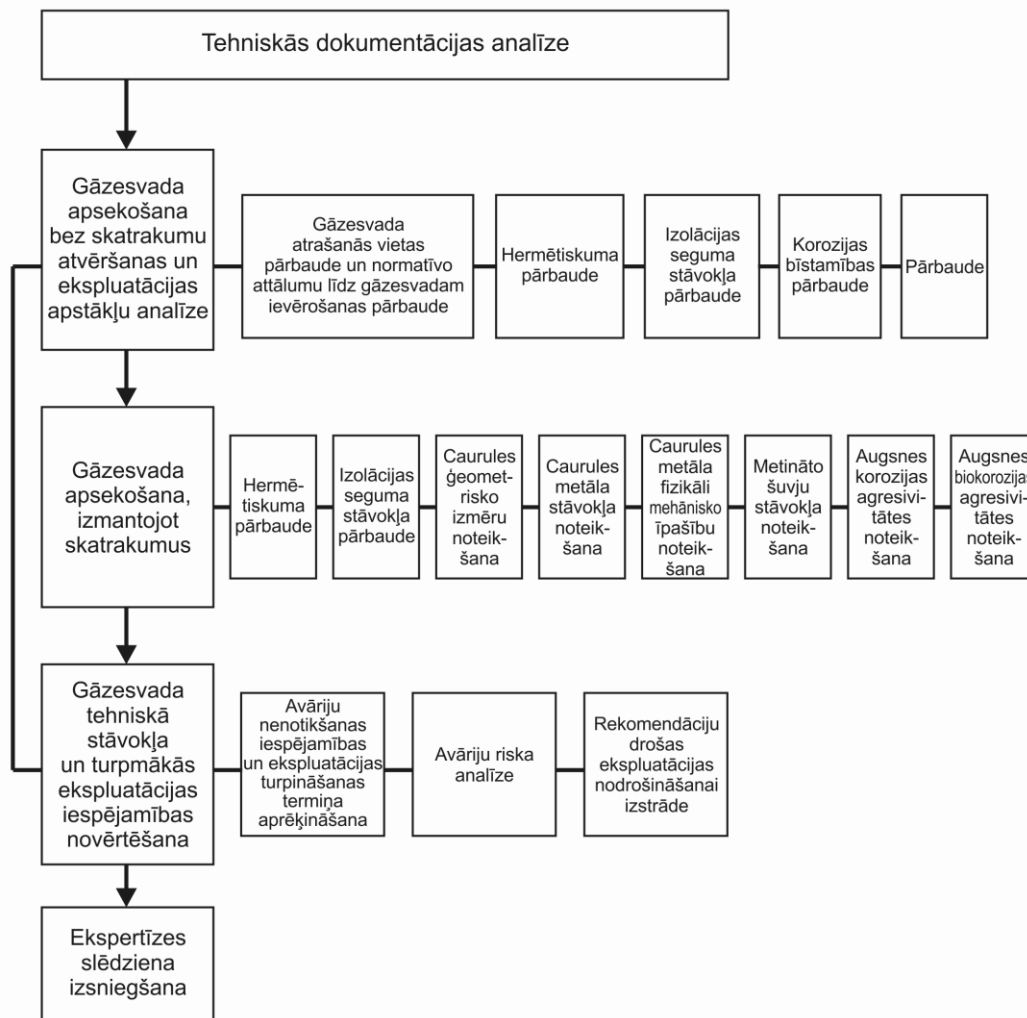
Sadales gāzesvadu sistēmu tehnisko ekspluatāciju veic sistēmas operatora, AS "Latvijas Gāze" teritoriālās struktūrvienības, ekspluatācijas iecirkņi un specializēti dienesti.

Pašlaik pastāvošās tehniskās apkopes un remontdarbu izpildes kārtība ietver:

- 1) gāzesvadiem – tehnisko uzraudzību, tīkla ierīču revīziju, tehniskā stāvokļa, spiediena un noplūžu, aizsargpārklājuma stāvokļa kontroli un remontus;
- 2) gāzes regulēšanas iekārtām – tehnisko apskati, uzraudzību, revīziju;
- 3) pretkorozijas aizsardzības iekārtām – potenciālu mērīšanu, iekārtu tehnisko apkopi.

Pašreizējā sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā ekspluatācija balstās uz Valsts standartā LVS 445:2011 noteikto darbību veikšanu, bet nav akcentēta uz gāzesvadu tehniskā stāvokļa pasliktināšanās (bojājumu) rašanās cēloņu noteikšanu, kā arī tālākas drošas ekspluatācijas prognozēšanu.

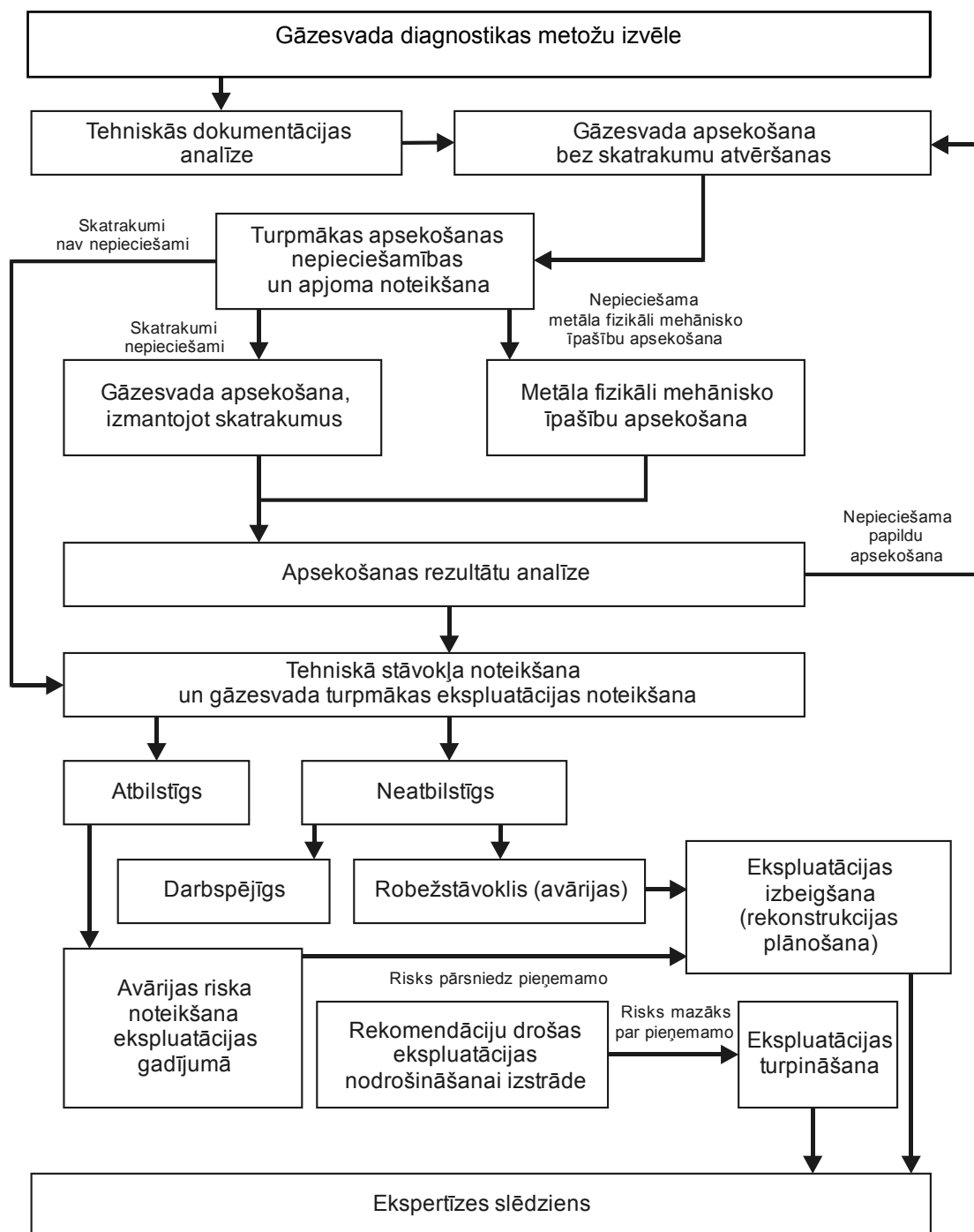
Promocijas darbā analizēta sadales gāzesvadu sistēmu ekspluatācijas un tehniskās uzraudzības šobrīd spēkā esošā kārtība un efektivitāte, kā rezultātā izstrādāta gāzesvadu tehniskās diagnostikas shēma (sk.1.2. att.).



1.2. att. Diagnostikas shēma

Diagnostikas rezultātā iegūtajiem datiem jāietver tehniskās dokumentācijas analīze, cauruļvada apsekošana bez skatrakumiem un ar skatrakumiem, ekspluatācijas apstākļu izvērtēšana.

Diagnostikas darbi veicami atbilstoši 1.3. attēlā parādītajam algoritmam.



1.3. att. Tērauda pazemes gāzesvadu diagnostikas darbu veikšanas algoritms

Ar diagnostikas metodēm tiek kontrolēts pazemes gāzesvadu tehniskais stāvoklis – polarizācijas potenciālu mērījumi, tērauda gāzesvadu defekti un bojājumi, pretkorozijas aizsargpārklājumu defekti utt.



1.4. att. Polarizācijas potenciāla mērīšana stacionārā kontroles mērījumu punktā



1.5. att. Metāla caurules sienas biezuma mērīšana skatrakumā

Tā kā promocijas darbā izstrādātā sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtēšanas matemātisko rezultātu ticamību stipri ietekmē ievadītie dati, tad arī šo datu vienādei sagatavošanai ir ļoti liela nozīme. Tādēļ kā viens no promocijas darba uzdevumiem bija izstrādāt vienotas tehniskās diagnostikas veikšanas metodikas (klejojošo strāvu, elektroaizsardzības, augsnes īpatnējās pretestības mērījumi, izolācijas defekti un adhēzija, tērauda pazemes gāzesvadu ekspluatācijas apstākļi utt.), kā arī šo mērījumu rezultātu vienotu pierakstu formas (veidlapas).

2. GĀZESVADA TEHNISKĀ STĀVOKĻA NOVĒRTĒŠANA UN TURPMĀKAS EKSPLUATĀCIJAS IESPĒJAMĪBAS NOSACĪJUMU NOTEIKŠANA

Apskotā gāzesvada tehnisko stāvokli nosaka atbilstīgi algoritmam, kas norādīts 1.3. attēlā.

Tehniskā stāvokļa novērtēšanai jāaprēķina avāriju neizcelšanās iespēja apsekojamajā gāzesvadā. Sakarā ar gāzesvada tehnisko stāvokli avārijas neizcelšanās iespējamību aprēķina, pielietojot šādas sakarības:

- 1) Tehniskās dokumentācijas analīzes rezultātā nosaka gāzesvada defektu un bojājumu bīstamības korekcijas koeficientu – **Ki**. Promocijas darbā izstrādāti ieteicamie Ki lielumi, kas iegūti no statistikas datiem, par pamatu ņemot koeficientu 1,0;

2.1. tabula

Gāzesvada defektu un bojājumu bīstamības korekcijas koeficientu (**Ki**) vērtības

Pazemes gāzesvada īpašības		Ki iespējamais
Ekspluatācijas apstākļi		
Veids	starp ciematu	1,0
	sadales	1,05
	ievads	1,10
Spiediens	zems	1,00
	vidējs	1,05
	augsts	1,10
Gāzesvada trase caur dabiskiem un mākslīgiem šķēršļiem	nav	1,00
	ūdens šķērslis	1,05
	autoceļš vai dzelzceļš	1,10
	autoceļš un dzelzceļš	1,15
Normatīvie attālumi no gāzes sadales tīkla	ievēroti	1,00
	nav ievēroti	1,05
Aizsardzības potenciāls nodrošināts visā garumā, vai elektroķīmiskā aizsardzība (EKA) nav nepieciešams		1,00
Aizsardzības potenciāls nodrošināts ne visā garumā pie augsnes augstas korozijas aktivitātes vai pastāvot bīstamai klejojošo strāvu (līdzstrāvas un maiņstrāvas) ietekmei		1,10
Aizsardzības potenciāls nodrošināts ne visā garumā pie augsnes augstas korozijas aktivitātes un pastāvot bīstamai klejojošo strāvu (līdzstrāvas un maiņstrāvas) ietekmei		1,20
Elektroķīmiskās aizsardzības iekārtas (EKI) darbības pārtraukumi pārsniedz pieļaujamos laikus		1,05
Defektu pieauguma dinamika uz šo laika brīdi		
Iepriekš nebija konstatēti izolācijas pārklājuma bojājumi		0,95
Iepriekš bija konstatēti izolācijas pārklājuma bojājumi, bet nebija to skaita pieauguma dinamikas		1,00
Tiek novērots izolācijas pārklājuma bojājumu vietu skaita pieaugums salīdzinājumā ar iepriekšējo apsekošanu		1,10
Novērojams caurejošu izolācijas pārklājuma bojājumu vietu skaita pieaugums pēdējo 5 gadu laikā salīdzinājumā ar iepriekšējiem 5 gadiem		1,90
Tiek novērots metināto šuvju dehermetizācijas vietu skaita pieaugums pēdējo 5 gadu laikā salīdzinājumā ar iepriekšējiem 5 gadiem		1,90

- 2) Aprēķina avāriju neizcelšanās iespēju **Hj** apsekojamajā gāzesvadā. Sakarā ar gāzesvada tehnisko stāvokli avārijas neizcelšanās iespējamību aprēķina pēc diagnostikas rezultātiem, ņemot vērā konstatētos defektus un bojājumus:

$$H_j \text{ pēc diagn.} = \prod_{si=1}^{si} [1 - K_{\Sigma} * P(AS_j)]^{ms} \quad (3.1.)$$

un pēc visu defektu un bojājumu, kas konstatēti apsekošanas laikā, novēršanas, ņemot vērā defektus un bojājumus, kas nav ievēroti objektīvu un subjektīvu iemeslu dēļ:

$$H_j \text{ pēc remonta} = \prod_{si=1}^{si} [1 - K_{\Sigma} * P(AS_j)]^{Ls} \quad (3.2.)$$

kur Π (π) – reizinātāju reizinājuma zīme;

si – defektu un bojājumu tipu skaits;

K_{Σ} – defektu un bojājumu bīstamības korekcijas koeficients (avāriju rašanās), kas vienāds ar individuālo koeficientu K_i reizinājumu:

$$K_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (3.3.)$$

kur n – korekcijas koeficientu K_i skaits;

- 3) Defektu un bojājumu bīstamības korekcijas koeficients **K_i** ļauj ņemt vērā gāzesvada īpašību un tā ekspluatācijas apstākļu ietekmi uz defektu un bojājumu bīstamības pakāpi;
- 4) Nosaka maksimālos defektu un bojājumu ievērošanas iespējamības **P_{d-op}** rādītājus. Šie lielumi noteikti, pamatojoties uz instrumentu un aprīkojuma īpašībām, kā arī gāzesvada parametriem.

2.2. tabula

Maksimālās gāzesvadu defektu un bojājumu ievērošanas iespējamība - **P_{d-op}** max

Defekta sektora raksturojums	Maksimālā defekta ievērošanas iespējamība, P_{d-op} max
<i>Caurejoši defekti</i>	
Augsts spiediens	0,98
Vidējs spiediens	0,95
Zems spiediens	0,90
Zems spiediens $d < 1$ mm	0,85
<i>Izolācijas pārseguma bojājumi</i>	
Apdzīvotas vietas teritorijā	0,70
Apdzīvotas vietas teritorijā, ja nav savietotu komunikāciju	0,75
Ārpus apdzīvotas vietas	0,80
Adhēzijas trūkums visā gāzesvadā	0,98
Izolācijas pārseguma sabrukums visā sektorā (pārejas pretestības mazāka par kritisko), kas apstiprināts vairākkārtēji ar skatrakumu apsekojumiem	0,99

- 5) Nosaka gāzesvada defektu un bojājumu bīstamības pakāpes $P(A_i)$ novērtēšanas kritērijus, kas iegūti no AS "Latvijas Gāze" sadales gāzesvadu sistēmu ekspluatācijas statistikas datiem

2.3. tabula

Gāzesvada defektu un bojājumu bīstamības pakāpes $P(A_i)$ novērtēšanas kritēriji

Izolācijas pārklājuma defekti un bojājumi		P (A _i)
Mehāniskie un struktūras	Bojājumi	0,005
	Neapmierinoša adhēzija skatrakumā	0,0015
	Adhēzijas trūkums visā sektorā	0,070
	Pārejošā pretestība skatrakumā mazāka par kritisko	0,003
	Izolācijas pārklājuma sabrukums visā sektorā (pārejas pretestība mazāka par kritisko)	0,020
Cauruļu metāla defekti un bojājumi		
Korozijas	Caurejošie, diam. >1 mm	0,250
	Caurejošie, diam. <1 mm	0,150
	Lokālie (čūlas veida, punktveida)	0,060
	Vispārējie, atlikušais sienīgas biezums mazāks par 70%	0,035
	Vispārējie, atlikušais sienīgas biezums no 99 līdz 70%	0,020
Struktūras	Caurules izturības zudums $\sigma_t / \sigma_i > 0,9$	0,500
	Metinātā savienojuma sarāvums	0,250
	Metinātās šuves defekts ar hermetizācijas zudumu $d < 1$ mm	0,150

- 6) Veic tehniskā stāvokļa novērtēšanu, pamatojoties uz robežstāvokļa kritēriju – avārijas nerašanās iespēja vienāda ar 0,95. Pamatojoties uz gāzesvada diagnostikas rezultātiem, tā stāvokli var novērtēt kā tehniski atbilstīgu, darbspējīgu vai robežas.

Atkarībā no avāriju nerašanās iespējamības promocijas darbā tika izstrādāti un tiek rekomendēti šādi gāzesvada drošas ekspluatācijas termiņa pagarinājumi -

H_j pēc remonta (pirmais gāzesvada robežstāvokļa kritērijs)

2.4. tabula.

Rekomendētie ekspluatācijas termiņa pagarinājumi

Avārijas nerašanās iespējamība, H _j pēc remonta	Rekomendētais drošas ekspluatācijas termiņš, gadi, ne vairāk kā
$1,000 > H_j \geq 0,990$	10
$0,990 > H_j \geq 0,980$	9
$0,980 > H_j \geq 0,975$	8
$0,975 > H_j \geq 0,970$	7
$0,970 > H_j \geq 0,967$	6

2.4. tabula (turpinājums)

$0,967 > H_j \geq 0,964$	5
$0,964 > H_j \geq 0,960$	4
$0,960 > H_j \geq 0,955$	3
$0,955 > H_j \geq 0,950$	2
$H_j \geq 0,950$	1

Gāzesvada, kura tehniskais stāvoklis atzīts par robežstāvokli ($H_j < 0,950$), ekspluatācija jāpārtrauc (jāveic gāzesvada rekonstrukcija vai renovācija).

Gāzesvads, kura stāvoklis atzīts par darbspējīgu ($H_j > 0,95$), tiek atzīts par derīgu ekspluatācijai, ja tiek izpildīti drošas ekspluatācijas nodrošināšanas pasākumi.

Ja neskatoties uz defektu atklāšanu, saskaņā ar diagnostikas rezultātiem un aprēķiniem, avāriju nerašanās iespējamība līdz to novēršanai pārsniedz 0,95 un gāzesvadu var atzīt par darbspējīgu, šie defekti novēršami.

Aprēķinus ieteicams veikt vai nu īpaši izstrādātā datorprogrammā vai attiecīgi pielāgojot, piemēram, Vācijā izstrādātās gāzesvadu novērtēšanas programmu OPTINET.

3. AVĀRIJU RISKĀ ANALĪZE UN NOVĒRTĒJUMS SAISTĪBĀ AR TĒRAUDA PAZEMES GĀZESVADA EKSPLUATĀCIJU

Avāriju saistībā ar gāzesvada ekspluatāciju riska analīze (turpmāk – riska analīze) tiek veikta, ja pastāv avāriju gāzesvada tehniskā stāvokļa dēļ nerašanās iespējamība pēc veiktā remonta ir ne mazāka par 0,95, t.i., ja gāzesvads tiek atzīts par tehniski atbilstīgu vai darbspējīgu. Avāriju saistībā ar gāzesvada ekspluatāciju riska analīze, kas ir viena no rūpnieciskās drošības pārvaldības sastāvdaļām, ietver sistemātisku visas pieejamās informācijas izmantošanu, lai noteiktu bīstamības un novērtētu iespējamu nevēlamu notikumu risku. Avāriju saistībā ar ekspluatāciju risks (**Re**) nedrīkst pārsniegt pieņemamo risku (**Rp**). **Tas ir gāzesvada robežstāvokļa otrais kritērijs.**

Riska analīzes veikšana ietver šādus galvenos etapus:

- pieņemamā riska kritērija noteikšana;
- bīstamības pakāpes noteikšana;
- avāriju saistībā ar gāzesvada ekspluatāciju riska novērtēšana;
- rekomendāciju izstrāde avāriju riska samazināšanai.

Lai nodrošinātu riska analīzes kvalitāti, jāizmanto gāzesvada avāriju rašanās un attīstības likumsakarību vērtības.

Kā avārijas pieņemamā riska kritēriju izmanto gāzesvada ekspluatācijas ekonomisko lietderīgumu:

$$R_p = E_r - C_\Sigma, \quad (3.1)$$

$$\text{kur } E_l = C_{jo} - \frac{C_{jo}}{(1+E)^n} \quad (3.2)$$

$$C_\Sigma = \sum_{t=0}^s \frac{I_s^t - I_j^t}{(1+E)^t} \quad (3.3)$$

$$I_s^t = C_{td}^t + C_r^t + C_{te}^t, \quad (3.4)$$

kur E_l – ekspluatācijas turpināšanas nodrošinātā ekonomija, Ls;

C_Σ – summārie ekspluatācijas izdevumi, Ls;

C_{jo} – jauna objekta būvniecības izmaksas, Ls;

I_j^t – jaunā objekta ikgadējie izdevumi, Ls;

t – termiņa pagarinājuma pašreizējais gads ($t = 1, 2, 3, \dots, s$);

E – diskonta norma (nosaka gāzesvadu sistēmas īpašnieks, promocijas darbā pieņemts – 0,1);

I_s^t – summārie izdevumi katrā gadā, Ls;

C_{td} – gāzesvada tehniskās diagnostikas darbu izmaksas, Ls;

C_r – remonta-atjaunošanas darbu izmaksas, Ls;

C_{te} – pašreizējās ekspluatācijas izmaksas, Ls.

Diagnostikas, remonta-atjaunošanas darbu, pašreizējās ekspluatācijas izmaksas tika noteiktas, izmantojot AS „Latvijas Gāze” datus par 2006. – 2012.gadu.

Bīstamības faktoru noteikšanas etapa galvenie uzdevumi – bīstamības avotu un to realizēšanās ceļu (scenāriju) konstatēšana un raksturošana. Veicot noteikšanu, jānosaka gāzesvada bīstamākie posmi, ko raksturo dažādi gāzesvada tehniskā stāvokļa parametri, īpaši ekspluatācijas apstākļi, bīstamības avotu klātbūtne un objektu, kuri var tikt bojāti avārijas gadījumā, klātbūtne.

Avāriju un incidentu uz gāzesvadiem statistikas datu analīze parāda, ka:

- bīstamības avoti ir dabasgāzes noplūdes no gāzesvadiem;

- galvenie bīstamības avotu rašanās iemesli – mehāniski bojājumi, korozijas bojājumi, metināto šuvju defekti, rūpnīcas brāķis utt;
- galvenās gāzes noplūdes sekas – izplatīšanās atmosfērā, izplūstošās gāzes gāzes uzliesmošana, dabasgāzes iekļūšana ēkas telpās un pēc sprādzienbīstama gāzes maisījuma ar gaisu izveidošanās un aizdegšanās avota klātbūtnē iespējams sprādziens un ēkas sagraušana, nodarot kaitējumu cilvēkiem, īpašumam un ekoloģijai.

Galvenie riska novērtēšanas posma uzdevumi:

- iniciējošo un visu nevēlamo notikumu rašanās biežuma noteikšana;
- nevēlamo notikumu rašanās seku novērtēšana;
- riska novērtēšanas apkopojums.

Lai noteiktu nevēlamo notikumu biežumu, ieteicams izmantot statistikas datus par avārijām un gāzesvada drošību, avāriju rašanās simulācijas modeļus, ekspertu slēdzienus, ņemot vērā attiecīgās jomas speciālistu viedokli.

Vispārīgā gadījumā avāriju izraisīta kaitējuma iespējamību - **I** jānosaka saskaņā ar formulu:

$$I = \sum_{i=1}^n P_i * I_i = P_1 * I_1 + P_2 * I_2 + \dots + P_n * I_n , \quad (3.5)$$

kur **I** – kopējais sagaidāmais iespējamās avārijas izraisītais kaitējums, Ls;

P_i – i. nevēlamā notikuma rašanās iespējamība avārijas gadījumā;

I_i – sagaidāmais kaitējums no nevēlamā notikuma, Ls;

n – nevēlamo notikumu (kaitējuma veidu) skaits.

Lai novērtētu avārijas gāzesvada tehniskā stāvokļa dēļ rašanās iespējamību (korozijas bojājumi, metināto šuvju defekti, izolācijas pārklājuma bojājumi utt.), jāizmanto tehniskās diagnostikas rezultāti, kas iegūti ar formulām 3.1. un 3.2., avāriju rašanās citu iemeslu dēļ novērtēšanai (mehāniskie bojājumi, rūpnīcas brāķis utt.) – t.i., statistikas dati.

Seku analīze ietver iespējamās ietekmes uz cilvēkiem, īpašumu un (vai) apkārtējo dabas vidi analīzi. Lai novērtētu sekas, nepieciešams novērtēt nevēlamo notikumu (atteices, tehniskā aprīkojuma, ēku, būvju sagraušana, ugunsgrēki, sprādzieni, emisijas utt.) fizisko ietekmi, precizēt objektus, kuri var tikt pakļauti apdraudējumam.

Lai aprēķinātu avārijas risku, izmantoti AS „Latvijas Gāze” pieejamie dati par pazemes tērauda gāzesvada avāriju izraisīto kaitējumu.

Vispārinātai ar ekspluatāciju saistītās avārijas riska analīzei jāatspoguļo tērauda pazemes gāzesvadu drošības stāvoklis, ņemot vērā visu nevēlamo notikumu, kas var rasties gāzesvadā ekspluatācijas laikā, riska rādītājus:

$$R_e = L * T * \sum_{j=1}^m P_j \sum_{i=1}^n P_i * I_i, \quad (3.6)$$

kur R_e – ar ekspluatāciju saistītās avārijas risks;

L – gāzesvada garums, m;

T – ekspluatācijas termiņa pagarinājums, gadi;

m – avārijas rašanās iemeslu skaits;

P_j – avārijas rašanās iespējamība

$$P_j = \sum_{i=1}^m P_j = P_{ts} + P_{mb} + P_{rb} + P_c, \quad (7.7)$$

kur P_{ts} , P_{mb} , P_{rb} , P_c – avāriju rašanās iespējamības attiecīgi saistībā ar tehnisko stāvokli, mehāniskiem bojājumiem, rūpnīcas brāķi un citiem iemesliem.

Gāzesvadu avāriju statistiskās iespējamības rādītāji uz 1/km gadā parādīti 3.1. tabulā.

3.1. tabula

Gāzesvadu avāriju statistiskās iespējamības

Avārijas iemesls	Apzīmējums	Rādītājs, uz 1/ km - gadā
Mehāniskie bojājumi	P_{mb}	0,00200
Rūpnīcas brāķis	P_{rb}	0,00010
Citi	P_c	0,00030

Lēmumu par gāzesvada turpmākas ekspluatācijas iespējamību pieņem, pamatojoties uz avārijas riska saistībā ar ekspluatāciju salīdzināšanu ar pieņemamo risku (sk. 3.2. tabulu). Atbilstoši iegūtajam rezultātam ekspluatācija ir pieļaujama tikai tādā gadījumā, ja pārlicība par avārijas nerašanos ir ne mazāka par 0,95, bet avārijas risks saistībā ar ekspluatāciju (R_e) nepārsniedz pieņemamo risku (R_p).

3.2. tabula.

Lēmuma par gāzesvada ekspluatācijas iespējamību pieņemšana

Tehniskais stāvoklis	Avārijas risks saistībā ar ekspluatāciju	Lēmums par turpmāko ekspluatāciju
H_j pēc remonta $\geq 0,95$	$R_e \leq R_p$	pieļaujama
H_j pēc remonta $\geq 0,95$	$R_e > R_p$	nav pieļaujama
H_j pēc remonta $< 0,95$	$R_e \leq R_p$	nav pieļaujama
H_j pēc remonta $< 0,95$	$R_e > R_p$	nav pieļaujama

Promocijas darbā izstrādātā metodika sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtēšanai tika pārbaudīta praksē brīvi izvēlētos AS „Latvijas Gāze” Bauskas un Cēsu iecirkņu gāzesvadu posmos, kas izbūvēti viena projekta ietvaros un kuriem ir vienāds darba spiediens, vienādām prasībām atbilstoša būvniecības izpildedokumentācija vai būvmontāžas pase, piemērota analoga nodošana ekspluatācijā. Metodikas pārbaudes rezultāti apkopoti 3.3. un 3.4 tabulās.

3.3. tabula

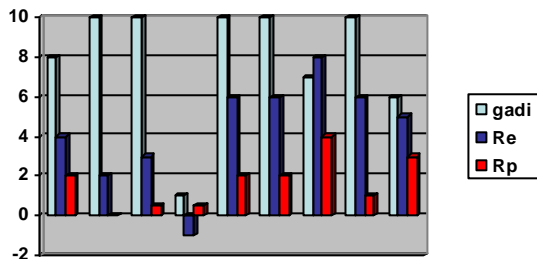
Sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtējuma un aprēķinu rezultāti
(Bauskas iecirknis)

Posms		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bīstamības korekcijas koeficients	K_{Σ}	1,212	1,212	1,270	1,212	1,273	1,273	1,273	1,273
Pēc diagnost.	H_j	0,93528	1	1	0,81815	0,98731	0,98731	0,94414	0,99102
Pēc remonta	H_j	0,98341	1	1	0,95106	0,99575	0,99454	0,97566	0,99182
Rekom. (gadi)		8	10	10	1	10	10	7	10
Pieņemamā riska kritērijs	R_p	1623	242	792	-23	6130	6989	8202	6879
Avārijas risks (ekspluatācijas)	R_e	123	0	1	8	162	230	846	314
Secinājumi		$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e > R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$

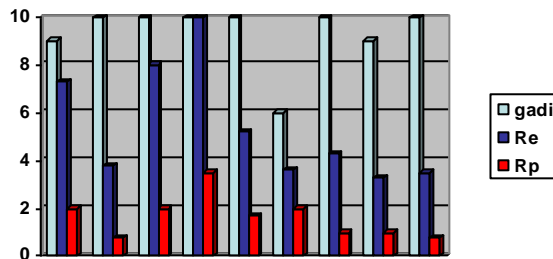
3.5. tabula

Sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtējuma un aprēķinu rezultāti
(Cēsu iecirknis)

Posms		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bīstamības korekcijas koeficients	K_{Σ}	1,155	1,155	1,155	1,270	1,155	1,270	1,212	1,270
Pēc diagnost.	H_j	0,9547	0,9884	0,9884	0,9686	0,9827	0,932	1	0,9748
Pēc remonta	H_j	0,9884	0,9971	0,9971	0,9920	0,9942	0,9704	1	0,9891
Rekom. (gadi)		9	10	10	10	10	6	10	9
Pieņemamā riska kritērijs	R_p	73168	38120	80327	101315	52985	36415	43025	33421
Avārijas risks (ekspluatācijas)	R_e	476	73	195	519	129	615	50	248
Secinājumi		$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$	$R_e < R_p$



3.1 att. Bauskas iecirknis
(ekspluatācijas gadi / R_e un R_p attiecība)



3.2 att. Cēsu iecirknis
(ekspluatācijas gadi / R_e un R_p attiecība)

Atbilstoši 3.4. un 3.5. tabulai, kā arī 3.1. un 3.2. att. var secināt:

- 1) vairāk kā pusei no izvēlētajiem pazemes gāzesvadu posmiem ekspluatācijas pagarinājuma termiņi ir deviņi vai desmit gadi, kas nozīmē, ka šajos gadījumos gāzesvada apsekošanas režīmu, t.sk. kompleksās instrumentu apsekošanas veikšanas periodiskumu, var nemainīt;
- 2) gāzesvada posmiem, kuros ekspluatācijas termiņa pagarinājumi ir seši vai septiņi gadi, nepieciešams izmainīt kompleksās instrumentu apsekošanas veikšanas periodiskumu;
- 3) pazemes gāzesvada posmam Bauskas iecirknī, kur pieļaujamais ekspluatācijas termiņa pagarinājums ir viens gads, nekavējoties jāveic gāzesvada remonta pasākumi, ietverot izolācijas pārklājuma atjaunošanu vietās, kur konstatēti defekti, kā arī papildpasākumu kompleks-elektroķīmiskās aizsardzības efektivitātes paaugstināšanas pasākumi.

Attiecībā uz gāzesvadiem, kuros pārliecība par avārijas nerašanos ir vismaz 0,95 un avārijas risks ir mazāks par pieņemamo, promocijas darbā ir izstrādātas rekomendācijas, lai nodrošinātu drošu ekspluatāciju un samazinātu avāriju risku pagarinājuma periodā.

Gāzesvada drošas ekspluatācijas nodrošināšanas rekomendācijās iekļauti riska mazināšanas pasākumi, kas balstīti uz riska novērtējumu rezultātiem un ir tehniski un (vai) organizatoriski pēc rakstura, ņemot vērā to realizācijas izmaksas.

Rekomendācijā ietver:

- trašu apsekošanas režīmu;
- gāzesvada remonta pasākumus, ietverot izolācijas pārklājuma atjaunošanu vietās, kur konstatēti defekti;

- kompleksās instrumentu apsekošanas veikšanas periodiskumu;
- elektroķīmiskās aizsardzības efektivitātes paaugstināšanas pasākumus;
- esošo kontroles mērīšanas punktu atjaunošanas un jaunu papildu punktu uzstādīšanas pasākumus;
- darbus, lai nostiprinātu šķērsojumus ar savietotajām inženierkomunikācijām;
- pasākumus, lai nodrošinātu gāzesvada aizsardzības zonas ievērošanu;
- citus pasākumus, kas nepieciešami, lai nodrošinātu drošu gāzesvada ekspluatāciju.

SECINĀJUMI

1. Latvijas teritorijā, sākot no 20. gs. sešdesmito gadu sākuma līdz deviņdesmito gadu sākumam, sadales gāzesvadu sistēmas būvēja un ekspluatēja atbilstoši bijušās PSRS normatīviem, pielietojot šī laikposma materiālus, tehniku, tehnoloģiju un kontroles metodes. Bija pieņemts, ka gāzesvadu nosacītais kalpošanas ilgums ir aptuveni 40 gadi, kas pašlaik jau daļai gāzesvadu ir pārsniegts un turpmākos gados tikai palielināsies, kā rezultātā ir aktuāla nepieciešamība veikt šo gāzesvadu tehniskā stāvokļa novērtēšanu un pieņemt operatīvus lēmumus šādu objektu uzraudzības pastiprināšanai vai arī sevišķi bīstamu gāzesvadu posmu darbības apturēšanai.

2. Promocijas darbā izstrādāta metodika gāzesvada tehniskā stāvokļa noteikšanai, ņemot vērā Latvijas sadales gāzesvadu sistēmas ekspluatācijā pieejamos tehniskā stāvokļa novērtēšanas datus un uzkrāto inženierprakses pieredzi.

3. Promocijas darba ietvaros izlases kārtībā veikti sadales gāzesvadu tehniskā stāvokļa pētījumi dažādos Latvijas reģionos, izdarot mērījumus un iegūto datu analīzi.

4. Promocijas darba rezultāti liecina, ka dažādās sadales gāzesvadu sistēmu iebūves vietās ar atšķirīgiem grunts u.c. būvniecības un ekspluatācijas apstākļiem, gāzesvadu tehniskais stāvoklis ir atšķirīgs un prasa atšķirīgus risinājumus.

5. Darbā piedāvātas gāzesvadu tehniskā stāvokļa novērtēšanas metodes ar modernām mērījumu un vērtēšanas tehnoloģijām, kā arī veikta šo metožu aprobācija praksē.

6. Pētījuma gaitā apzināti un pārbaudīti jaunākās paaudzes gāzesvadu kontroles mēraparāti un iekārtas, doti ieteikumi to testēšanai un novērtēšanai.

7. Promocijas darba rezultāti var tikt izmantoti LVS 445-2011 „Dabasgāzes sadales un Lietotāju gāzapgādes sistēmu ar maksimālo darba spiedienu līdz 1,6 MPa

(16 bar) ekspluatācija un tehniskā apkope” 1. un 2.daļas grozījumiem, kā arī jauna gāzapgādes nozares standarta LV NS GS izstrādei par sadales gāzesvadu sistēmu tehniskā stāvokļa novērtēšanu.

8. Lai atvieglotu un automatizētu gāzesvadu tehniskā stāvokļa novērtēšanas aprēķinus, nepieciešams izveidot speciālu datorprogrammu, par pamatu ņemot promocijas darbā izstrādāto tērauda pazemes gāzesvadu diagnostikas darbu veikšanas algoritmu.

PUBLIKĀCIJAS

1. Bode I., Laube I., Platais I. Technical condition Assessment of the System of Gas Distribution Pipelines// Scientific Journal of RTU. 14 series., Būvzinātne. - 2013. – 6 p.
2. Laube I., Bode I., Platais I. Efficient Use of Natural Gas Energy in CDogeneration in Households// Scientific Journal of RTU. 14 series., Būvzinātne. - 2013. – 7 p.
3. Laube I., Bode I., Platais I. Methodology of Determining Natural Gas Consumption// Scientific Journal of RTU. 2 series., Būvzinātne. 2013.– 10 p. [Pieņemts publicēšanai]
4. Боде И. Передовые технологии газификации зданий, Современная система газоснабжения в Латвии// научно-технический и производственный журнал „Технологии интеллектуального строительства”, выпуск № 1 Российская федерация, 2013 - с.43.
5. Боде И. Техническое регулирование в Латвии// научно-технический и производственный журнал „Технологии интеллектуального строительства”, выпуск № 2 Российская федерация, 2013 - с.49-51.
6. Боде И. Утечка газа под лазерным прицелом //научно-технический и производственный журнал „Технологии интеллектуального строительства”, выпуск № 3 Российская федерация, 2013, с.52-55.
7. Лаубе И., Боде И. Иновативные решения по увеличению пропускной способности природного газа в существующей системе газоснабжения и методы расчета газопроводов// научно-технический и производственный журнал „Технологии интеллектуального строительства”, Российская федерация, 2014 - с.9 [Pieņemts publicēšanai]
8. Bode I., Laube I., Platais I. Technical condition Assessment of the System of Gas Distribution Pipelines// OmniScriptum Gmb& Co, KG - 6 p. [Pieņemts publicēšanai]