

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Būvniecības fakultāte

Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģiju institūts

**Ināra LAUBE**

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

**GĀZES SADALES SISTĒMU  
PARAMETRU APRĒĶINU  
METODOLOĢIJA**

**Promocijas darbs**

Zinātniskais vadītājs  
Dr.sc.ing., docents  
I. PLATAIS

**Rīga 2013**



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai” projekta “Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai” ietvaros.

This work is supported by the European Social Fund within the National Programme “Support for the carrying out doctoral study programs”” project “Support for the implement of doctoral studies at the Riga Technical University”.

## ANOTĀCIJA

Promocijas darba mērķis - izstrādāt metodoloģiju pamatotu dabasgāzes patēriņu, un optimālu sadales gāzapgādes sistēmu parametru aprēķināšanai.

Lai nodrošinātu tehniski un ekonomiski pamatotu sistēmu būvniecību, nepieciešams izstrādāt gāzapgādes plānojumus – tehniskos risinājumus, piemērojot pamatotus dabasgāzes patēriņus gāzapgādes sistēmu parametru (diametru, materiālu, spiediena zudumu) aplēsēs.

Darbā veikti dabasgāzes patēriņu un sadales gāzapgādes sistēmu aprēķināšanas metožu pētījumi Latvijas, Lietuvas, Vācijas un Krievijas gāzes saimniecībās, analizēti iemesli faktiskai gāzapgādes sistēmas noslodzei Latvijā Republikā, īpašu vērību pievēršot dabasgāzes patēriņu ietekmējošo faktoru analīzei. Konstatēts, ka laika periodā līdz deviņdesmito gadu beigām Latvijas pilsētās izbūvēto augstā un vidējā spiediena sadales gāzesvadu (pamatnoslodzes cauruļvadu) diametri ir par 20 - 30 % lielāki nekā nepieciešams pašreizējai esošajai dabasgāzes slodzei – maksimālajam stundas patēriņam ( $m^3/h$ ). Pierādīts, ka aprēķinos piemēroti paaugstināti maksimālie stundas patēriņi, nav ņemta vērā dabasgāzes lietotāju iekārtu vienlaicīgā darbība, sezonālais princips. Sadales gāzesvadu diametri aprēķināti ar minimāliem spiediena zudumiem, kas būtiski palielina gāzesvadu diametrus.

Secināts, ka, paaugstinoties iekārtu lietderības koeficientiem un energoefektivitātei, kā arī elektroenerģijas patēriņa pieprasījumam (20 gados palielinājies par 180%), dabasgāzes gada patēriņi rūpniecībā un lauksaimniecībā samazinās, tajā skaitā mājsaimniecībās - 16%.

Darbā izstrādāta dabasgāzes sadales sistēmu parametru aprēķināšanas metodoloģija. Uzlabota tehniski ekonomisko aprēķinu veikšanas kārtība, izmantojot ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (GIS), vienkāršota maksimālā klientu skaita aprēķināšana dzīvojamo māju teritorijās. Sagatavoti priekšlikumi gāzapgādes sistēmas aprēķinu modeļa vienkāršošanai, spiediena zudumu optimizēšanai, uzlaboti cauruļvada hidrauliskās aplēses pamatprincipi ar iespēju samazināt augstā spiediena gāzesvadu aprēķinu diametrus no 7 līdz 10%, ekonomējot būvniecības izmaksas jaunu sadales gāzesvadu sistēmu izbūvei līdz 15%.

Promocijas rezultāti ir izmantoti divu standartu jaunajās redakcijās - Latvijas Valsts standartā LVS 417:2011 "Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana" un nozares standartā LV NS GS 26:2012 „Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrāde”, kā arī inženieru un maģistru studijās RTU Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas programmas priekšmetā – Gāzapgāde.

Darba rezultāti ziņoti 8 starptautiskās konferencēs un tie atspoguļoti 10 publikācijās.

## ANOTATION

The objective of this Promotion Paper is development of the methods for calculating correct consumption of natural gas and optimum parameters of gas supply distribution systems. To ensure construction of technically as well as economically substantiated systems, it is necessary to develop gas supply layouts – technical solutions with application of correct natural gas consumption measures for estimation of gas supply system parameters (diameter, material, loss of pressure).

The drafting of this Paper included study of methods for calculation of natural gas consumption and distribution gas supply systems in gas management facilities in Latvia, Lithuania, Germany, and Russia, as well as analysis of actual load on gas supply systems in Latvia, focusing in particular on analysis of the factors that influence the consumption of natural gas. It has been established that in case of high and medium pressure distribution gas-pipes built in the cities of Latvia before late 90s (basic load pipes) the diameters exceed by 20 – 30% the figures required for present load of natural gas – the maximum hourly consumption ( $\text{m}^3/\text{h}$ ). It has been demonstrated that increased maximum hourly consumption is used in the relevant calculations without taking into consideration either simultaneous operation of devices of the users of natural gas or the seasonal principle. Diameters of distribution gas-pipes are estimated with minimum loss of pressure, thus the diameter of gas-pipes is notably increased. It is therefore concluded that consumption of natural gas by industrial and agricultural sector is reduced, including consumption by households reduced by 16%, due to increased efficiency factor and power efficiency, as well as demand for consumption of electric power.

The Paper includes methods developed for calculation of natural gas distribution system parameters. Procedure for technically economical calculations has been improved due to application of geographic information system (GIS), and calculation of the maximum number of customers on the residential territories has been simplified. Proposals have been drafted for simplification of calculation model of gas supply systems, optimization of the loss of pressure, and the key principles applicable to hydraulic calculations of pipelines have been improved to enable reduction of estimated diameters of high-pressure gas-pipes from 7 to 10%, thus making it possible to save on construction costs of new distribution gas supply systems. The results of promotion are used in the new wording of two standards: the Latvian National Standard LVS 417:2011 “Gas distribution and user systems. External gas-pipes and adjustment facilities. Design”, and the industrial standard LV NS GS 26:2012 “Development of prospective gas supply layout”, as well as for the needs of Engineer and MA studies at RTU in Gas Supply specialty of the program Heat, Gas and Water Technologies.

Reports on the results of work have been presented at 8 international conferences and reflected in 10 publications.

## SATURA RĀDĪTĀJS

Ievads	6
1. Dabaszgāzes sadales sistēmu plānošana	12
1.1. Teritorijas plānošana, principi un līmeņi	13
1.2. Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrādes nosacījumi	19
1.3. Izstrādāto perspektīvās gāzapgādes plānojumu - shēmu analīze	23
2. Dabaszgāzes patēriņu noteikšana gāzapgādes sistēmu projektēšanai	27
2.1. Dabaszgāzes patēriņu iedalījums	27
2.2. Dabaszgāzes patēriņa nevienmērība	29
2.3. Dabaszgāzes patēriņa aprēķināšanas metodes	33
2.3.1. Dabaszgāzes maksimālā stundas patēriņa aprēķināšana	36
2.3.2. Dabaszgāzes gada patēriņa aprēķināšana	43
2.4. Dabaszgāzes gada patēriņu pētījumu analīze	45
3. Sadales gāzesvadu sistēmu parametru optimizācija	55
3.1. Gāzesvadu sistēmu aprēķināšanas teorētiskie pamati	55
3.2. Datorprogrammu pielietojums gāzapgādes sistēmu aprēķināšanā	58
3.3. Sadales gāzesvadu sistēmas modelēšana	63
4. Priekšlikumi esošās sadales gāzesvadu sistēmas turpmākai izmantošanai	69
5. Ieteikumi jaunbūvējamo gāzapgādes sistēmu izmaksu samazinājumam	77
5.1. Pastāvošā būvniecības shēma un dalībnieki	77
5.2. Būvniecības finansēšanas vadlīnijas Latvijas apstākļos	80
5.3. Ekonomiskie aprēķini	81
5.4. Priekšlikumi gazifikācijas procesa optimizēšanai un būvniecības izmaksu samazināšanai	85
Secinājumi	87
Literatūra	88
Publikācijas	94

## IEVADS

Jaunu dabasgāzes lietotāju pieslēgšana, kas saistīta ar dabasgāzes sadales sistēmas paplašināšanu un jaunu gāzes cauruļvadu būvniecību, ir investīciju ietilpīgi projekti [3], kas lielā mērā ir atkarīgi no valsts ilgtermiņa politikas enerģētikā [49], [50], [51], tarifu noteikšanas politikas, būvniecības izmaksām, tajā skaitā materiālietilpības (cauruļvadu diametri), kā arī valsts un pašvaldību iesaistīšanās šo jautājumu risināšanā [52]. Mūsu sabiedrībā arvien svarīgāki kļūst jautājumi par ekoloģiju, par enerģijas ieguvu, energoresursu taupīšanu. Arvien lielāka vērība tiek pievērsta enerģijas racionālas izmantošanas iespējām, kā arī dabasgāzes piegādes drošības jautājumiem. Eiropas Savienībā (ES) visaugstākajā līmenī tiek pārraudzīti enerģētikas jautājumi, valstu nodrošinājums ar energoresursiem, resursu piegādes iespējas, iespējamie riski. Tiek meklēti risinājumi gan enerģijas taupīšanai, gan kaitīgo izmešu atmosfērā samazināšanai.

Dabasgāzes sistēmas attīstības iespējas, kā arī patēriņa apjoma iespējamo pieaugu, ietekmi uz projektējamām sistēmām pētījuši A. Krēsliņš [12, 32], E. Dzelzītis [20], A. Dāvis [11, 12, 13,], A. Ješina [31, 32] N. Zeltiņš [12, 73, 74], V. Zēbergs [14, 73], I. Kudreņickis [14, 74], I. Platais [62, 63, 64], S. Vostrikovs [72], A. Joņins [76, 77], I. Karpjuks [78]. Tomēr trūkst metodoloģijas jaunu sadales sistēmu projektēšanai un izbūvei – pamatotu dabasgāzes patēriņu aprēķināšanai un optimālu sadales gāzesvadu parametru noteikšanai.

**Promocijas darba mērķis** - izstrādāt metodoloģiju pamatotu dabasgāzes patēriņu, un optimālu sadales gāzapgādes sistēmu parametru aprēķināšanai.

### **Darba uzdevumi:**

1. izvērtēt dabasgāzes patēriņa dinamiku, aprēķināšanas metodes, normatīvos dokumentus dabasgāzes patēriņa aprēķināšanai,
2. veikt pētījumus faktisko dabasgāzes patēriņu noteikšanai,
3. sagatavot priekšlikumus gāzapgādes sistēmu darbības stabilitātes paaugstināšanai un būvniecības izmaksu samazināšanai,
4. sagatavot priekšlikumus valsts standartā LVS 417:2011 "Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana" dabasgāzes patēriņu aprēķinu korekcijai.
5. sagatavot priekšlikumus nozares standarta izstrādei LV NS GS 26:2012 „Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrāde”.

Gāzapgādes sistēmu parametru (cauruļvadu diametru, materiāla, spiediena zudumu) aprēķinu rezultāti ir atkarīgi no maksimālā gāzes patēriņa stundā ( $m^3/h$ ). Tehniski

ekonomiskajos pamatojumos - investīciju atmaksāšanās aplēsēs ievērtē kapitālieguldījumu apjomu konkrētās gāzapgādes sistēmas izbūvei, lietotāju pieslēgumu skaitu aprēķina periodā katrā konkrētā gadā, iespējamos kopējos dabasgāzes gada patēriņus ( $m^3/a$ ), kurus aprēķina izmantojot dabasgāzes Lietotāja (turpmāk – Lietotāja) objekta siltuma patēriņa slodzi, piemērojot koeficientus pārejai uz dabasgāzi.

### **Pētījumu metodika un līdzekļi**

Pētījumā izmantoti akciju sabiedrības „Latvijas Gāze” informāciju sistēmu dati - klientu datu bāze (LOGS) un norēķinu datu bāze (PUNS) – par esošajiem lietotājiem, uzstādītajām iekārtām, norēķiniem, ģeogrāfiskās informācijas sistēma (GIS) – par esošo pārvades un sadales gāzesvadu sistēmu. Pamatojoties uz iegūtajiem datiem, izmantojot matemātiskās statistikas metodi tika aprēķināts vidējais statistiskais dabasgāzes gada patēriņš vienam dzīvoklim, kas tika salīdzināts Latvijas dažādās teritorijās. Salīdzinātas maksimālā stundas patēriņu aprēķināšanas metodes, izmantojot stundas maksimuma koeficientu un iekārtu vienlaicīgas darbības koeficientu. Gāzesvadu hidrauliskās aplēses veiktas ar licencētu datorprogrammu „OptiPlan”, modelētas dažādu noslogojumu un spiedienu kategoriju sistēmas. Izvērtētas katra varianta tehniskās un ekonomiskās priekšrocības. Aprēķinos pielietots statistiskais vienlaicīguma princips dabasgāzes patērētāju grupām, kas uzrāda vienādu darbības režīmu. Tehniski ekonomiskie pamatojumi veikti izmantojot Microsoft Excel programmu nodrošinājumu, aprēķinot investīciju atmaksāšanās laiku.

Straujā ekonomiskā augšupeja, kas bija vērojama laika posmā no 2005. līdz 2007. gadam, noteica arī enerģijas pieprasījuma pieaugumu. Vienlaicīgi arī mainījās nekustamā īpašuma atļautā izmantošana - lauksaimniecības zemēs tika plānota individuālo un daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku apbūve, ienākot ārzemju investoriem tika uzsākta ražošanas un darījumu objektu būvniecība, mainījās sadalījums pa dabasgāzes lietotāju grupām. Palielinājās dabasgāzes pieprasījums jaunās plānojamās teritorijās, līdz ar to īpaši bija nepieciešama plānveidīga gāzesvadu būvniecība, ko varēja panākt izstrādājot perspektīvās gāzapgādes plānojumus. Ekonomiskās attīstības lejupslīde, kas sākās 2008. gada otrajā pusē un turpinājās 2009. gadā, lika koriģēt iepriekš veiktās prognozes un apgrūtināja enerģijas pieprasījuma prognozēšanu turpmākajiem periodiem.

Laika periodā no 2000. gada līdz 2010. gadam izbūvēti 1450 km sadales gāzesvadu, ieguldītas investīcijas 56 milj. LVL apmērā, nodrošināti pieslēgumi 30 tūkst. mājsaimniecībām, 5 tūkst. komunālajiem un komercuzņēmumiem, 1,7 tūkst. rūpnieciskajiem uzņēmumiem un ražotnēm. Dabasgāzes tirgus paplašināšanās nākotnē iespējama būvējot un

nododot ekspluatācijā jaunus rūpniecības objektus, elektroenerģijas ražošanas uzņēmumus, jaunus mājokļus, izmantojot gan esošo sadales gāzesvadu sistēmu, gan arī paplašinot gāzapgādes sistēmu, tas ir izbūvējot jaunus sadales gāzesvadus. Savukārt, lai izbūvētu ekonomiski pamatotas gāzapgādes sistēmas – gāzesvadus un iekārtas, nepieciešams sagatavot perspektīvās gāzapgādes plānojumus –gāzifikācijas shēmas (turpmāk - gāzapgādes plānojums), piemērojot pamatodus dabasgāzes patēriņus gāzesvadu sistēmas aplēsēm. Gāzapgādes plānojums nosaka veicamās darbības plānveidīgai un ilgtspējīgai teritorijas attīstībai kopumā. Līdz ar to izstrādātajiem gāzapgādes plānojumiem, jānodrošina tehniski un ekonomiski pamatodus risinājumus iespējamo perspektīvo rūpniecisko un komunālo objektu, publisko ēku, daudzdzīvokļu dzīvojamo māju un individuālo dzīvojamo māju gāzapgādes nodrošināšanai plānojamā teritorijā. Dabasgāzes lietotāju gāzapgādes procesa shēma attēlota 1. attēlā.



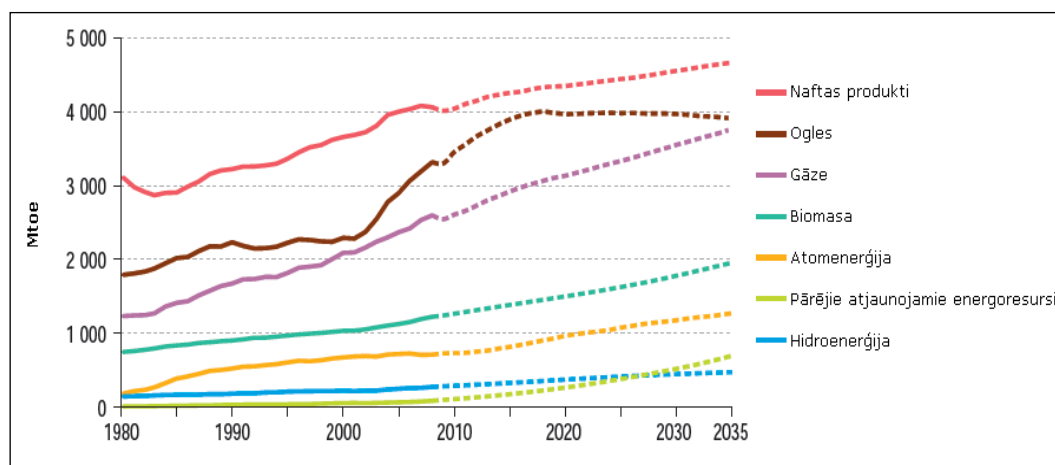
1. att. Dabasgāzes lietotāju gāzapgādes procesa shēma

Lai noteiktu optimālus sadales gāzesvadu diametrus jaunu dabasgāzes lietotāju pievienošanai, nepieciešams veikt gāzesvadu hidrauliskos aprēķinus, kuros tiek ievadīta informācija par plānojamiem dabasgāzes maksimālajiem stundas patēriņiem ( $m^3/h$ ), kā arī sadales gāzapgādes sistēmas parametri (cauruļvada posma garums, dabasgāzes spiediens posma sākumā un beigās, cauruļvada diametrs).

Savukārt, lai noteiktu investīciju atmaksāšanos noteiktā laika periodā, nepieciešams veikt tehniski ekonomiskos pamatojumus – investīciju atmaksāšanās aprēķinus, kuros tiek ievērtēti plānojamie dabasgāzes gada patēriņi ( $m^3/a$ ) noteiktam laika periodam, nepieciešamie kapitālieguldījumi sadales gāzesvadu izbūvei.

Nepieciešamos dabasgāzes patēriņus perspektīvo gāzes apgādes sistēmu plānošanai līdz 2011. gadam aprēķināja atbilstoši Latvijas Valsts standartam LVS 417/AI:2002 „Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana”[45], kas tapis pamatojoties uz bijušajā PSRS 1987. gadā pieņemto normatīvo dokumentu “Газоснабжение”, СНиП 2.04.08-8 [83], kā arī Krievijas Federācijas celtniecības normām РФ СНиП 42-01-2002 "Газораспределительные системы" [84], „Свод правил по проектированию и строительству СП 42-101-2003 "Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб" [82].

Pasaulē pieprasījums pēc enerģijas pieaug un arī turpinās pieaugt, būs nepieciešama plānveidīga gāzapgādes infrastruktūras būvniecība, ko var nodrošināt piemērojot pamatotus dabasgāzes patēriņus un optimālus gāzapgādes sistēmu parametrus (diametrs, materiāls, spiediena zudumi). Pasaules primāro energoresursu iespējamais pieprasījums attēlots 2. attēlā.



2. att. Pasaules primāro energoresursu pieprasījums (Mtoe)

Aizvien nozīmīgāks ir izmešu apjoma samazinājums, kas saistīts ne tikai ar ekoloģiju, bet arī ar valstī pieejamām izmešu kvotām un maksājumiem par tām. Mazākais CO<sub>2</sub> izmešu apjoms uz vienu siltuma vienību ir dabasgāzei, tas ir pat zemāks nekā koksnei, tomēr jāņem vērā, ka koksne ir atjaunojams dabas resurss, kas augšanas procesā absorbē ogļskābo gāzi.

Latvijā uzlabojot energoefektivitāti līdz līmenim, kāds ir sasniegts Rietumeiropā, energoresursu patēriņš varētu ievērojami samazināties, līdz ar to var samazināt energoresursu cenu pieauguma ietekmi gan uz mājsaimniecībām, gan citiem dabasgāzes lietotājiem. Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2007.-2016. [23] paredz ievērojamu energoefektivitātes paaugstināšanu – siltumenerģijas patēriņa samazināt ēkās par 36% (līdz 2020. gadam), siltumenerģijas pārvades un sadales zudumus pilsētu tīklos samazināt no 17% uz 14%, siltumenerģijas ražošanas iekārtu vidējo efektivitāti Latvijā paaugstināt no 68% līdz 90%.. Enerģijas gala patēriņa prognozēšanā jāņem vērā arī paredzamais ieguvums no energoefektivitātes un enerģijas taupīšanas pasākumiem, ko plānots veikt attiecīgajā laikposmā, saskaņā ar Latvijas Republikas normatīvajiem dokumentiem. “Ēku energoefektivitātes likums” [25] nosaka ēku energoefektivitātes un energosertifikācijas prasības. Šīs prasības jāievēro projektējot jaunas ēkas, izstrādājot ēku rekonstrukcijas projektus, kā arī novērtējot esošās ēkas. Energoefektivitāti ēkām nosaka ņemot vērā norobežojošo konstrukciju siltumvadītspēju, apkures sistēmu, karstā ūdens apgādi, gaisa kondicionēšanas sistēmas, ventilāciju, iebūvētās apgaismes sistēmas, ēkas novietojumu, kā arī ārējos klimatiskos apstākļus un ēkas iekšējo mikroklimatu. Ēkas energoefektivitātes izvērtējumā būtisku vietu ieņem arī ēkas energopatēriņš apkures un karstā ūdens apgādes vajadzībām. Regulāri sekojot līdzī pasaulē esošajām tirgus tendencēm enerģētikā, atbilstošajām likumdošanas izmaiņām saistībā ar energoefektivitāti un lietotāju vajadzībām un vēlmēm apkures iekārtu ražotāji investē līdzekļus esošo aparātu pilnveidē, jaunu tehnoloģiju izstrādē, testēšanā un ieviešanā ražošanā, kā piemēru var minēt mikrokoģenerācijas iekārtas mājsaimniecībām, kondensācijas tipa katli ar saules kolektoru pieslēgumu, siltumsūkņi izmantojot dabasgāzi kā energoresursu. Tiek strādāts pie augsti attīrītas biogāzes izmantošanas kopā ar dabasgāzi, kā arī tiek plānots izmantot dabasgāzi siltumsūkņu tehnoloģijās.

### **Darba zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti**

Lai samazinātu būvniecības izmaksas turpmākai gāzapgādes sistēmu izbūvei, darbā izstrādāta metodoloģija sadales sistēmu parametru optimizēšanai - pamatotu dabasgāzes patēriņu aprēķināšanai, ņemot vērā iekārtu vienlaicīgu darbību, sezonālo nevienmērību, lietderības koeficientus, energoefektivitāti. Izmantojot cauruļu tehnoloģiskās īpašības, kas samazina cauruļu iekšējo raupjumu, sistēmas modelētas datorprogrammā OptiPlan, noteikta dabasgāzes spiediena zudumu paaugstināšanas robeža. Palielinoties dabasgāzes caurplūdei cauruļvadu aprēķinu posmā, iespēja samazināt gāzesvadu diametrus, atbilstoši arī būvniecības izmaksas. Pamatojoties uz veiktajiem pētījumiem daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās, kur ir nodrošināta centralizēta apgāde ar karsto ūdeni, faktiskais dabasgāzes patēriņš vienam

iedzīvotājam gadā ir 6 reizes mazāks kā LVS 417/AI:2002 [45] noteiktais. Vidējais dabasgāzes gada patēriņš vienam iedzīvotājam daudzdzīvokļu dzīvojamās ēkās ēdiena pagatavošanai laika periodā no 2007. gada līdz 2012. samazinājies vidēji par 16% gadā. Izvērtējot uzstādītās dabasgāzes iekārtas mājāsaimniecībās tika secināts, ka dabasgāzes lietotāji izmanto gāzes aparātus un iekārtas ar augstu lietderības koeficientu.

### **Darba praktiskais pielietojums**

Izstrādāto dabasgāzes patēriņu un sadales sistēmu parametru aprēķināšanas modeli var izmantot gāzapgādes sistēmu projektētāji optimālai tehniski un ekonomiski pamatotai gāzapgādes infrastruktūras izbūvei, ar iespēju samazināt būvniecības izmaksas.

Pamatojoties uz promocijas darbā veiktajiem pētījumiem, tika sagatavoti priekšlikumi dabasgāzes patēriņa normu izvērtēšanai, ar iespēju veikt korekcijas Latvijas Valsts standartā LVS 417/AI:2011 [46], kā arī sagatavoti priekšlikumi nozares standarta projektam „Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrāde” [44].

### **Promocijas darba rezultāti ziņoti un apspriesti starptautiskās konferencēs:**

1. Gāzes patēriņa normatīvu eksperimentālie pētījumi Latvijas apstākļos// RTU 49. starptautiskā zinātniskā konference. - Rīga, Latvija, 13. – 15. 10. 2008.,
2. Experimental research of natural gas consumption// 5th annual conference of young scientists on energy issues „CYSENI 2008”. - Kaunas, Lithuania, 29.05.2008.,
3. Gāzes patēriņa normatīvi// RTU 50. starptautiskā zinātniskā konference. - Rīga, Latvija, 12.-16.10.2009.,
4. Экспериментальное изучение стандартов потребления природного газа в Латвийской республике// II-я Международная научная заочная конференция Российская Федерация, „Актуальные вопросы современной технологии”. - Липецк, 02.10.2010.,
5. Gāzes patēriņa normatīvu pētījumi// RTU 51. starptautiskā zinātniskā konference. - Rīga, Latvija, 11.-15.10.2010.,
6. Инновационные технологии в энергоснабжении домашних хозяйств// III-я Международная научная заочная конференция „ Актуальные вопросы современной технологии”. - Липецк, 29.01.2011.,
7. Dabasgāzes izmantošana koģenerācijā mājāsaimniecībās// RTU 52. starptautiskā zinātniskā konference. - Rīga, Latvija, 13.-16.10.2011.,
8. Use of natural gas in cogeneration at households// WEC Central & Eastern Europe energy forum, FOREN 2012. - Bukarest, Romania, 17. – 21.06. 2012.

## 1. DABASGĀZES SADALES SISTĒMU PLĀNOŠANA

Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrādes mērķis ir nodrošināt optimālu tehnisko risinājumu pilsētu un apdzīvoto vietu dabasgāzes lietotāju gāzapgādei, maksimāli izmantojot esošās sadales gāzesvadu sistēmas jaunu dabasgāzes lietotāju pievienošanai, un izbūvējot jaunus sadales gāzesvadus ar tehniski pamatotām būvniecības izmaksām. Teritoriju perspektīvās gāzes apgādes plānojumu – gazifikācijas shēmu izstrādē, galvenais pamatnosacījums ir korektu dabasgāzes stundas ( $m^3/h$ ) un dabasgāzes gada patēriņu ( $m^3/a$ ) piemērošana, perspektīvajiem dabasgāzes lietotājiem [44, 46].

Savukārt esošā gāzapgādes plānojuma korekcijai ir jāietver sevī izbūvētās gāzesvadu sistēmas izvērtēšanu, atbilstoši patērētāju pieprasījumiem un iespējamai perspektīvai. Ja nepieciešams var izdarīt būtiskus grozījumus esošajās gāzapgādes plānojumos, pamatojoties uz pilsētas daļas, mikrorajona vai apdzīvotas vietas jauna detālplāna izstrādi, kas paredz jaunu gāzes lietotāju pieslēgšanu esošajai sadales gāzesvadu sistēmai.

Piecdesmito gadu beigās bijušās Padomju Savienības Ministru Padome pieņēma vēsturisku lēmumu „Par gāzes rūpniecības un PSRS pilsētu un uzņēmumu gāzes apgādes tālāku attīstību”. Tas paredzēja pārvades dabasgāzes gāzesvadu būvi no gāzes ieguves vietām uz visām Padomju Savienības republikām, radot kopēju gāzapgādes sistēmu. Pārvades gāzesvadu saraksta pirmajā vietā atradās maģistrāle Dašava - Minska (Ivanceviči) – Viļņa - Rīga, un tās plānotais garums bija viens no iespaidīgākajiem - 1230 km. Dabasgāzes apgādi Rīgai bija jānodrošina 1962. gadā. Piegāde Rīgai bija plānota 200 reižu lielākā apmērā, nekā to bija spējusi saražot Rīgas gāzes fabrika. Lai pārietu no mākslīgās gāzes uz dabasgāzi, Rīgas atbildīgajām institūcijām dažos gados Latvijā vajadzēja veikt maģistrālā gāzesvada vietējo atzaru būvi, rekonstruēt novecojušo un projektēt jaunu gāzesvadu tīklu, kā arī abonentu pievadus, pielāgot gāzes aparāturu dabasgāzes specifikai, sagatavot speciālistus jaunajai gāzapgādes sistēmai [30, 56, 73]. Šo nozīmīgo un plašo gazifikācijas darbu veikšanai 1961. gada aprīlī tika izveidota LPSR Ministru Padomes Galvenā gazifikācijas pārvalde, kas vēlāk tika reorganizēta par LPSR Valsts gazifikācijas komiteju, darbību tā pārtrauca tikai 1987. gadā, kad nodibinājās ražošanas apvienība „Latvijas Gāze”, tagad akciju sabiedrība „Latvijas Gāze”. Vienlaicīgi ar dabasgāzes ienākšanu Latvijā tika radīti vērienīgi un tālejoši plāni. 1977. gadā tika izstrādāta Latvijas PSR gazifikācijas ģenerālshēmu. 1987. gadā Ļeņingradas institūtā „Ленгипроинжпроект” tika sagatavots Latvijas gāzes apgādes perspektīvais (līdz 2005. gadam) plāns, kas paredzēja jaunu maģistrālo jeb pārvades gāzesvadu būvi. Lai nodrošinātu

gāzes piegādi, tika būvētas aizvien jaunas sadales stacijas. Nododot ekspluatācijā pārvades gāzesvadus, radās nepieciešamība izstrādāt rajonu gazifikācijas attīstības shēmas, lai veiktu iespējamās gāzes patēriņa aprēķinus un aprēķinātu lietotāju pieslēguma iespējas. Lauksaimniecības gazifikācijā Latvijā bijušajā PSRS mērogā tūlīt aiz Lietuvas ieņēma otro vietu. Pieaugot kolhozu un padomju saimniecību gazifikācijas iespējamām astoņdesmitajos un deviņdesmitajos gados perspektīvās gāzapgādes shēmas tika izstrādātas Latvijas Republikas projektēšanas institūtos. Līdz ar PSRS sabrukumu, deviņdesmitajos gados Latvijas teritorijā tika likvidēti lielie rūpniecības uzņēmumi, reorganizēti kolhozi un padomju saimniecības, tika zaudēti lielākie patērētāji, samazinājās dabasgāzes gada patēriņš no 2,96 miljardiem kubikmetru 1991. gadā līdz 1,58 miljardiem kubikmetru 2001. gadā. Nekustamais īpašums tika atgriezts juridiskajiem īpašniekiem. Šajā laikā reorganizēja lielos projektēšanas institūtos, jo perspektīvo gāzapgādes shēmu un tehnisko projektu izstrāde faktiski beidzās. Iepriekš izstrādātās perspektīvās gāzapgādes shēmas varēja izmantot tikai kā informatīvu materiālu.

Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrādi veic atbilstoši Aizsargjoslu likumam [2], Enerģētikas likumam [24], Būvniecības likumam [8], Teritorijas attīstības plānošanas likumam [68], Nacionālā plānojuma noteikumiem [59], Vietējās pašvaldības teritorijas plānošanas noteikumiem [70], Noteikumiem par ārējo inženierkomunikāciju izvietojumu pilsētās, ciemos un lauku teritorijās [61], Vispārīgajiem būvnoteikumiem [71], Latvijas būvnormatīviem, nozares standartiem un citiem Latvijas Republikā spēkā esošiem normatīvajiem dokumentiem.

Vācijas Federatīvajā Republikā perspektīvās gāzapgādes sistēmas plāno atbilstoši Vācijas gāzes un ūdenssaimniecības asociācijas (Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches DVGW) izstrādātajiem norādījumiem Darba lapās GW 303 -1 [17], GW 303-2 [18], GW 126 [16], Vācijas normām (DIN) [15].

Krievijas Federatīvajā Republikā perspektīvās gāzapgādes shēmas izstrādā, pamatojoties uz celtniecības normām un noteikumiem [82, 83, 84].

## **1.1. Teritoriju plānošana, principi un līmeņi**

Teritorijas plānojums ir ilgtermiņa teritorijas plānošanas dokumentu kopums, kurš tiek izstrādāts un stājas spēkā normatīvajos aktos noteiktajā kārtībā un kurā atbilstoši plānošanas līmenim un plānošanas veidam rakstveidā un grafiski tiek attēlota teritorijas pašreizējā un plānotā (atļautā) izmantošana. Teritorijas plānošanas uzdevums ir veicināt pakalpojumu

pieejamību patērētājam, tajā skaitā arī infrastruktūru. Iestājoties Eiropas Savienībā Latvijas Republikai jāpārņem Eiropas Kopienas tiesiskie normatīvie dokumenti. Līdz ar to vietējie nacionālās plānošanas principi pakļauti Baltijas valstu padomes, Baltijas jūras reģiona, Eiropas Savienības, Eiropas Padomes un ANO institūciju nosacījumiem.

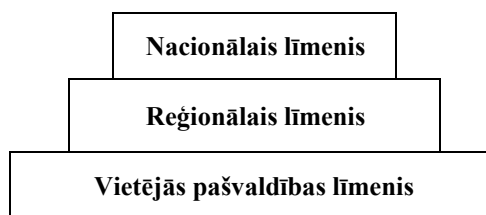
Latvijas Republikas Ministru kabinets nodrošina Nacionālā attīstības plāna izstrādi un nosaka tā ieviešanas un uzraudzības kārtību, apstiprina nacionālā līmeņa tematiskos plānojumus, nosaka reģionālā līmeņa un vietējā līmeņa teritorijas attīstības plānošanas dokumentu saturu, izstrādes, ieviešanas un uzraudzības kārtību.

Teritorijas plānojuma sastāvā tiek izstrādāti tematiskie plāni, piemēram, transporta un inženierkomunikāciju infrastruktūrai, tajā skaitā perspektīvās gāzapgādes plānojumi pietiekamai gāzapgādes nodrošināšanai. Teritorijas attīstības plānošanā [68] ir šādi galvenie uzdevumi:

- izvērtēt valsts, plānošanas reģionu, rajonu un vietējo pašvaldību teritorijas potenciālu un noteikt tā izmantošanai nepieciešamās prasības un aprobežojumus;
- radīt labvēlīgus apstākļus ilgtspējīgai teritorijas attīstībai, uzņēmējdarbības attīstībai un investīciju piesaistei;
- iekļauties kaimiņvalstu un Eiropas Savienības teritorijas plānošanas pasākumos;
- garantēt tiesības izmantot un attīstīt nekustamo īpašumu saskaņā ar teritorijas plānojumu;
- veicināt pakalpojumu pieejamību.

Teritorijas attīstību plāno līmeņos [68], izstrādājot šādus savstarpēji saskaņotus teritorijas attīstības plānošanas dokumentus:

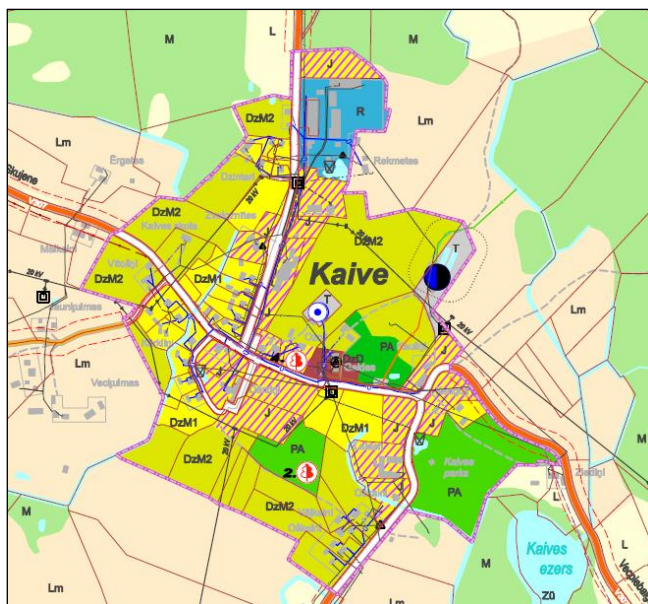
- nacionālajā līmenī — Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģiju un Nacionālo attīstības plānu;
- reģionālajā līmenī — plānošanas reģiona ilgtspējīgas attīstības stratēģiju un attīstības programmu;
- vietējā līmenī — vietējās pašvaldības ilgtspējīgas attīstības stratēģiju, attīstības programmu, teritorijas, lokālplānojumu un detālplānojumu, skatīt 1.2. attēlu.



1.2.att. Teritorijas plānojumu līmeņi

Pamatojoties uz izstrādātajiem teritorijas plānojumiem nacionālā, reģionālā, vietējās pašvaldības līmenī, tiek izstrādāti perspektīvās gāzapgādes plānojumi atbilstošos līmeņos – nacionālā un reģionālā līmenī, vietējās pašvaldības līmenī, tajā skaitā teritorijas lokālplānojumu un detālplānojumu. Teritorijas attīstības plānošanas likums [68] nosaka, ka inženierkomunikāciju tīklus un objektus atļauts ierīkot jebkurā teritorijas plānojumā noteiktajā funkcionālajā zonā.

Pašvaldības teritorijas plānojuma grafiskajā daļā, atbilstoši noteiktajai teritorijas atļautajai izmantošanai (zonējumam), tiek uzrādīti teritoriju izmantošanas veidi - mazstāvu dzīvojamā apbūvei, daudzstāvu dzīvojamā apbūvei, jauktai apbūvei, rūpnieciskajai apbūvei, lauksaimniecības teritorijām, mežu teritorijām. Pašvaldības teritorijas lokālplānojuma fragmentu ar zonējuma apzīmējumiem, skatīt 1.3. attēlā.



1.3. att. Apdzīvotas vietas Kaive lokālplānojuma fragments atļautās apbūves teritorijām

Lokālplānojumā teritorijas zonējumam ir pielietoti sekojoši apzīmējumi:

- DzM1- mazstāvu dzīvojamā apbūve;
- DzM2 - mazstāvu dzīvojamā apbūve;
- DzD - daudzstāvu dzīvojamā apbūve;
- J - jaukta apbūve;
- R - rūpnieciskā apbūve;
- Lm - lauksaimniecības teritorijas;
- M - mežu teritorijas.

Atbilstoši teritorijas zonējumam – mazstāvu dzīvojamai, daudzstāvu dzīvojamai, jauktai un rūpnieciskai apbūvei, lauksaimniecības teritorijām, nepieciešams aprēķināt iespējamo dabasgāzes patēriņu (maksimālo stundas patēriņu  $m^3/h$ , gada patēriņu  $m^3/a$ ) pa lietotāju grupām [46]:

- mazstāvu dzīvojamās apbūves teritorijā – mājsaimniecību gāzapgādei (individuālām dzīvojamām mājām);
- daudzstāvu dzīvojamās apbūves teritorijā – daudzdzīvokļu gāzapgādei, atbilstoši siltumapgādes koncepcijai (pavardi, pavardi un karstā ūdens sagatavošanas iekārtas, pavardi un lokālās apkures iekārtas);
- jauktas apbūves teritorijā – publisko ēku, komunālo pakalpojumu un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu, iestāžu gāzapgādei;
- rūpnieciskās apbūves teritorijā – ražotņu, katlu māju gāzapgādei;
- lauksaimniecības uzņēmumu gāzapgādei.

Teritoriju perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrādē, galvenais pamatnosacījums ir korektu dabasgāzes stundas un gada patēriņu ( $m^3/h$  un  $m^3/a$ ) aprēķināšana, perspektīvajiem dabasgāzes lietotājiem.

Dabasgāzes sistēmas plānošanas, projektēšanas, dabasgāzes patēriņa aprēķināšanas metodes, kā arī nosacījumi gāzesvadu sistēmas hidraulisko aprēķinu veikšanai noteikti LVS 417:2011 „Dabasgāzes sadales sistēmas un lietotāja dabasgāzes apgādes sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana” [46].

Perspektīvās gāzapgādes plānojumus var izstrādāt:

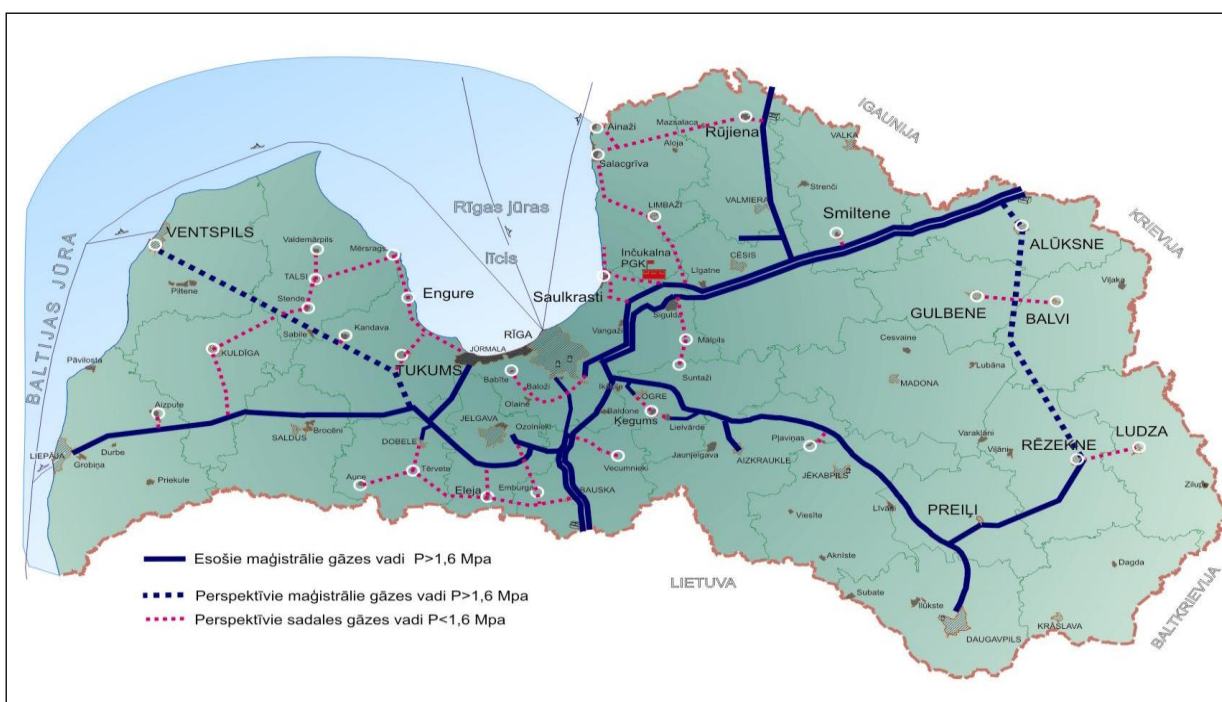
- vienlaicīgi ar vietējās pašvaldības teritorijas plānojuma izstrādi, kā tematisko plānojumu gāzapgādes sistēmai;
- izmantojot apstiprinātu vietējās pašvaldības teritorijas plānojumu, paredzot gāzapgādes komunikāciju izvietojumu esošo un plānojamo ielu sarkanajās līnijās, ielās un servitūta ceļos, valsts un pašvaldību autoceļu nodalījuma joslās, aizsargjoslās, kā arī inženierkomunikāciju paredzētajos koridoros.

Lai uzkrātu informāciju par izstrādātajiem teritoriju plānojumiem, ka arī nodrošinātu informācijas pieejamību Latvijas Republikas Vides un reģionālās attīstības ministrija izveidojusi teritorijas plānošanas informācijas sistēmu (TIS).

**Nacionālais attīstības plāns (NAP)** ir stratēģiskās plānošanas dokuments, kurā tiek savstarpēji koordinētas nozaru un reģionālās attīstības prioritātes un plānoti finansējuma avoti to īstenošanai. Nacionālā attīstības plāna mērķis ir sekmēt līdzsvarotu un ilgtspējīgu valsts

attīstību un nodrošināt Latvijas konkurētspējas palielināšanos Eiropas Savienībā. Nacionālo attīstības plānu izstrādā saskaņā ar reģionālās politikas pamatnostādņēs un nacionālajā plānojumā noteiktajiem mērķiem un prioritātēm, ievērojot plānošanas reģionu attīstības programmu un teritorijas plānojumu noteiktās attīstības prioritātes [59].

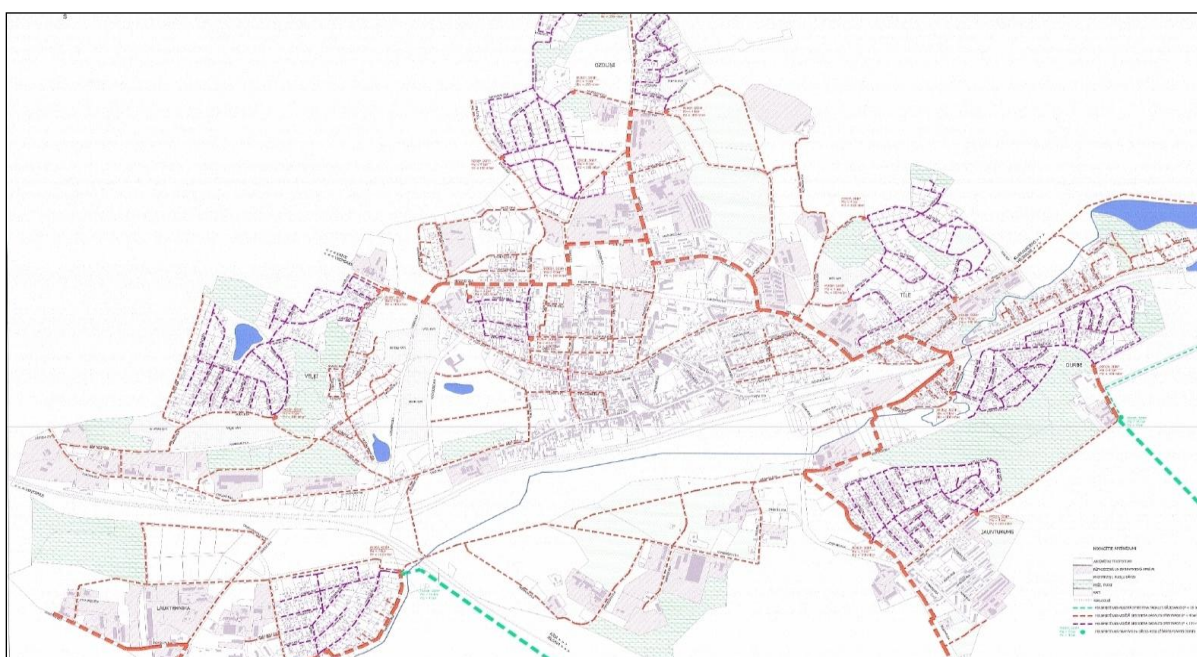
Par nacionālā līmeņa plānošanas dokumentu var minēt gāzapgādes plānojumu, kas tika izstrādāts akciju sabiedrībai „Latvijas Gāze” sadarbībā ar atklāto akciju sabiedrību „Giprospecgaz” Sanktpēterburgā, kurā sadarbībā ar kolēģiem piedalījos iespējamo perspektīvo dabasgāzes patēriņu aprēķināšanā [81, 82, 85]. Tika sagatavota gāzapgādes shēma pārvades sistēmas (maģistrālo gāzesvadu) iespējamai attīstībai Latvijas Republikā, kā arī prognozes Inčukalna pazemes krātuves paplašināšanai ar iespēju piegādāt papildus dabasgāzi Igaunijas, Lietuvas republikām un Krievijas rietumu daļai. [80, 81, 82, 85], skatīt 1.4. attēlu.



1.4.att. Gāzapgādes plānojums Latvijas teritorijā

**Plānošanas reģiona** attīstības programmu izstrādā katrā plānošanas reģionā, un tas ir vidēja termiņa reģionālās politikas plānošanas dokuments, kurā noteiktas attiecīgā plānošanas reģiona attīstības prioritātes un ietverts konkrētu pasākumu kopums. Plānošanas reģiona attīstības programmu izstrādā un īsteno saskaņā ar reģionālās politikas pamatnostādņēm, nacionālo plānojumu, nacionālo attīstības plānu un attiecīgā reģiona teritorijas plānojumu, ievērojot plānošanas reģionā ietilpstošo pašvaldību attīstības programmas un plānojumus [68].

Piemērs gāzapgādes plānošanai reģiona līmenī ir Tukuma pilsētas un tās apkārtējās teritorijas perspektīvās gāzapgādes plānojumu. Gāzapgādes pieslēguma vieta tika plānota Pienavas rajonā, pievienojoties pārvades gāzesvadu sistēmai, paredzot gāzes regulēšanas staciju (GRS) un augstā spiediena  $P \leq 1,6$  MPa sadales gāzesvadu sistēmu (orientējoši 40 km garumā) līdz Tukuma pilsētas robežai. Pilsētas gāzapgādes plānojumā gāzes patēriņi un sadales sistēma aprēķināta, atbilstoši pilsētas teritorijas plānojumā atļautajām apbūves teritorijām (mazstāvu, daudzstāvu, jauktas un rūpnieciskās apbūves), izstrādātā plānojuma fragmentu skatīt 1.5. attēlā.



1.5.att. Tukuma pilsētas perspektīvās gāzapgādes plānojums reģionālās plānošanas līmenī

Vietējās pašvaldības attīstības programma ir ilgtermiņa reģionālās politikas plānošanas dokuments, kurā noteiktas attiecīgās vietējās pašvaldības attīstības prioritātes. Vietējās pašvaldības attīstības programmu izstrādā divpadsmit gadu periodam un īsteno saskaņā ar attiecīgās vietējās pašvaldības teritorijas plānojumu un tā rajona pašvaldības attīstības programmu un teritorijas plānojumu, kurā ietilpst attiecīgā vietējā pašvaldība [68].

**Vietējās pašvaldības teritorijas plānojumu** izstrādā atbilstoši vietējās pašvaldības ilgtspējīgas attīstības stratēģijai un ievērojot citus nacionālā, reģionālā un vietējā līmeņa teritorijas attīstības plānošanas dokumentus. Teritorijas plānojumā nosaka funkcionālo zonējumu, publisko infrastruktūru, reglamentē teritorijas izmantošanas un apbūves

noteikumus, kā arī citus teritorijas izmantošanas nosacījumus un aprobežojumus. Pašvaldību teritoriju plānojumos tiek iekļauta šāda informācija:

- zonējums un aprobežojumi,
- transporta kustības plānošana,
- inženierkomunikāciju tīklu plānošana,
- teritoriju plānošana, kurām vajadzīga inženiertehniskā sagatavošana,
- pašvaldības noteiktās aizsargjoslas,
- u.c. tematiskie plāni.

Lokālplānojumu vietējā pašvaldība izstrādā pēc savas iniciatīvas un izmanto par pamatu turpmākai plānošanai, kā arī būvprojektēšanai [68]. Lokālplānojumā var detalizēt vietējās pašvaldības teritorijas plānojumu. Pēc vietējās pašvaldības ilgtspējīgas attīstības stratēģijas spēkā stāšanās, izstrādājot lokālplānojumu var grozīt vietējās pašvaldības teritorijas plānojumu, ciktāl lokālplānojums nav pretrunā ar vietējās pašvaldības ilgtspējīgas attīstības stratēģiju.

Pašvaldību teritoriju plānojumā tiek iekļauta tematisko plānojumu sadaļa inženierkomunikāciju plānošanai [68], tajā skaitā gāzesvadu sistēmu plānošanai, ko var veikt vienlaicīgi ar plānojamā reģiona, novada, pagasta vai pilsētas teritorijas plānojuma projekta izstrādi, vai arī noteikt kā vadlīniju turpmākai teritorijas attīstības plānošanai (gāzapgādei), pamatojoties uz izstrādāto, publiskoto un akceptēto konkrētās teritorijas plānojumu.

## **1.2. Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrādes nosacījumi**

Perspektīvās gāzes apgādes plānojumu izstrādi veic ar perspektīvu uz 20 gadiem, ievērojot savstarpēji saskaņotus teritorijas plānojumus nacionālajā, reģionālajā un vietējās pašvaldības līmeņos, ņemot vērā esošo gāzes sadales vai pārvades (transporta) sistēmu attiecīgajā pašvaldībā, iepriekš izstrādātās perspektīvās gāzapgādes plānojumus, kā arī attiecīgās pašvaldības siltumapgādes koncepciju. Izstrādājot pilsētu, apdzīvotu vietu perspektīvās gāzes apgādes plānojumus papildus jāparedz piepilsētas potenciālie dabasgāzes lietotāji, kā arī esošo sašķidrinātās naftas gāzes grupu lietotāji, iekārtu sistēmu pārvešanai uz dabasgāzi.

Izvēloties gāzapgādes sadales sistēmas plānojumu [36, 37, 38, 40, 42] jāņem vērā apdzīvoto vietu apbūves blīvums, struktūra un patērējamās gāzes daudzums, dzīvojamo un

rūpniecības apbūves teritoriju izvietojums, kā arī esošo un projektējamo pārvades sistēmas gāzesvadu un gāzes regulēšanas staciju (GRS) izvietojums [41].

Plānojot jaunas dabasgāzes sadales gāzesvadu sistēmas, jāparedz vairāku spiediena pakāpju sistēmas, piemēram, divpakāpju – ar augstā un vidējā spiediena gāzesvadiem ar pāreju uz zemo spiedienu tieši pirms gāzes lietotāja.

Sadales gāzesvadu sistēmas, ņemot vērā plānojuma raksturu un apbūves blīvumu, galvenokārt jāparedz sacilpotas vai jaukta tipa, kas nodrošina vienmērīgāku gāzes spiediena režīmu un palielina gāzapgādes drošību.

Gāzesvada trasi izvēlas tā, lai nodrošinātu ekonomisku būvniecību, gāzesvada drošu ekspluatāciju, ņemot vērā apdzīvoto vietu, uzņēmumu un citu objektu perspektīvo attīstību. Gāzesvada izbūvei vajadzīgo gruntsgabalu izvēle, saskaņošana un uzrādīšana veicama atbilstoši Aizsargjoslu likumam [2], Enerģētikas likumam [24], Būvniecības likumam [8], Teritorijas attīstības plānošanas likumam [68], būvnormatīvam LBN 242 [38], nozares standartam par perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrādi un citiem LR likumiem un normatīvajiem aktiem, kas regulē zemes un dabas izmantošanu, apkārtējās vides aizsardzību, projektēšanu un būvniecību. Perspektīvās gāzapgādes attīstības 20 gadu periodu gāzapgādes plānojumos sadala sekojoši:

- prognozējamās pirmās kārtas gāzapgādes objekti;
- prognozējamo piecu gadu attīstības periods;
- prognozējamo divpadsmit gadu attīstības periods;
- prognozējamo divdesmit gadu attīstības periods.

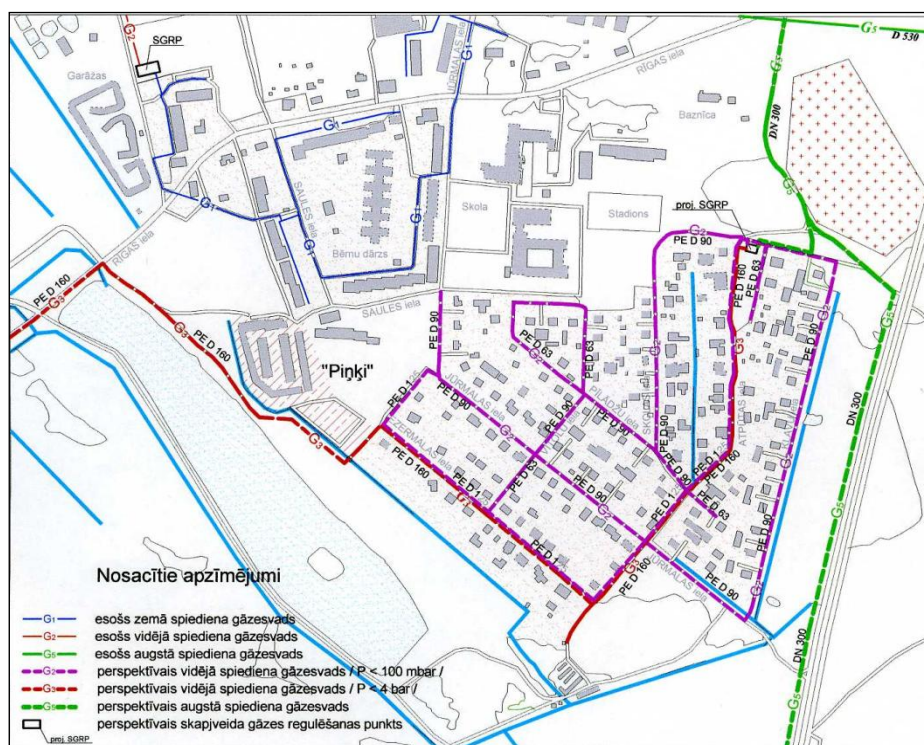
Izstrādājot gāzapgādes plānojumus dabasgāzes sadales sistēmas var veidot:

- pēc gāzes spiediena samazināšanas pakāpes – vienpakāpes vai daudzpakāpju sistēmas;
- pēc izvietojuma – cīlpveida, strupceļa vai jaukta tipa sistēmas.

Atbilstoši teritorijas plānojumā noteiktajai apbūvei (zonējumam), katrai konkrētai dabasgāzes lietotāju grupai, plānojot perspektīvās sadales gāzapgādes sistēmas, jāizvēlas ekonomiski izdevīgākais gāzapgādes sistēmas variants:

- zemā spiediena  $PN \leq 0,005$  MPa (50 mbar) gāzapgādes sistēma;
- vidējā spiediena  $PN \geq 0,005$  MPa līdz  $PN \leq 0,01$  MPa gāzapgādes sistēma;
- vidējā spiediena  $PN \geq 0,01$  MPa līdz  $PN \leq 0,4$  MPa gāzapgādes sistēma;
- augstā spiediena I kategorijas  $PN \geq 0,4$  MPa līdz  $PN \leq 0,6$  MPa gāzapgādes sistēma;
- augstā spiediena II kategorijas  $PN \geq 0,6$  MPa līdz  $PN \leq 1,2$  MPa gāzapgādes sistēma;
- augstā spiediena III kategorijas  $PN \geq 1,2$  MPa līdz  $PN \leq 1,6$  MPa gāzapgādes sistēma.

Nepieciešamie dabasgāzes patēriņi pa lietotāju grupām, atbilstoši teritorijas zonējumam - mazstāvu dzīvojamai, daudzstāvu dzīvojamai, jauktai un rūpnieciskai apbūvei, skatīt promocijas darba 1.1. sadaļu, kā arī minimālie pieļaujamie gāzesvadu sistēmas diametri aprēķināmi atbilstoši LVS 417 „Dabasgāzes sadales sistēmas un lietotāja dabasgāzes apgādes sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana” [46].



1.6.att. Babītes novada Piņķu perspektīvās gāzes apgādes plānojuma paraugs

Plānojot individuālo dzīvojamo māju rajonu gāzapgādes sistēmas, jāpieņem viens no tehniski un ekonomiski izdevīgākajiem gāzapgādes variantiem:

1. vidējā spiediena (0,4 MPa) gāzes sadales sistēma, paredzot mājas regulatorus (MR);
2. vidējā spiediena (0,01 MPa) gāzes sadales sistēma, paredzot stabilizatorus telpās vai mājas stabilizatorus ar skaitītāju skapjos (MS) ēkas ārpusē;
3. zemā spiediena (līdz 50 mbar) gāzes sadales sistēma.

Perspektīvās gāzapgādes plānojums [54] sastāv no:

- teksta daļas, kas satur paskaidrojošo, aprēķinu sadaļu, vides un gāzesvadu sistēmas aizsardzības pasākumu sadaļu, kā arī tehniski ekonomisko sadaļu;
- grafiskās daļas (rasējumi);
- pielikumiem.

Perspektīvās gāzes apgādes plānojumu **paskaidrojošā sadaļā** apraksta gazificējamās teritorijas vispārīgo informāciju par plānojamās teritorijas atrašanās vietu, iedzīvotāju skaitu, centralizētās siltumapgādes koncepciju, dabasgāzes apgādes avotu, esošo gāzes apgādes sistēmu - pārvades gāzesvadu, gāzes regulēšanas iekārtu, esošo augstā spiediena ( $PN \leq 1,6$  MPa,  $PN \leq 1,2$  MPa,  $PN \leq 0,6$  MPa), esošo vidējā spiediena ( $PN \leq 0,4$  MPa,  $P \leq 0,01$  MPa) un esošo zemā spiediena sadales gāzesvadu sistēmu, plānojamo gāzes apgādes sistēmu, tajā skaitā gāzesvadu un gāzes regulēšanas iekārtu novietni.

**Aprēķinu sadaļā** - pamato un veic aprēķinus nepieciešamajiem gāzes patēriņiem ( $m^3/h$ ,  $m^3/a$ ) perspektīvo dabasgāzes lietotāju (individuālo, daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku, komunālo un rūpniecisko) gāzapgādes nodrošināšanai konkrētās plānojamās teritorijās. Veicot gāzesvadu hidrauliskos aprēķinus individuālo dzīvojamo māju apbūves teritorijām dabasgāzes patēriņus pieņem 80 % no esošās apbūves, bet jaukta, rūpnieciskās apbūves un lauksaimniecības teritorijās dabasgāzes patēriņu pieņemt atbilstoši nepieciešamajiem enerģijas patēriņiem.

Teritoriju perspektīvās gāzapgādes plānojumu **grafiskai atspoguļošanai** par pamatni izmanto digitālo kartogrāfisko materiālu no Latvijas Republikas Valsts zemes dienesta kadastra informācijas vai izstrādāto pagasta vai rajona pašvaldības teritorijas plānojumu. Detālpilānojumu grafiskais materiāls tiek saņemts no pašvaldībām, teritoriālpilānotājiem, zemes gabala īpašniekiem. Plānojumu izstrādē tiek izmantoti arī ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (GIS) dati, piemēram, koordinātu sistēmā uzmērītie esošie gāzapgādes tīkli, izmantojot datorprogrammu tiek atspoguļoti gāzapgādes plānojuma grafiskajā informācijā.

Atbilstoši pašvaldības teritorijas plānojuma noteiktajai atļautai teritorijas izmantošanai (mazstāvu apbūve, daudzstāvu apbūve, jaukta darījumu un ražošanas teritorijas), izmantojot nozares standartu LVS LV NS GS 03-2004 „Gāzapgādes sistēmas. Dabasgāzes gāzesvadu ar spiedienu līdz 1,6 MPa (16 bar) un to iekārtu (ierīču) plāni un apzīmējumi” [40] noteiktos standartus tiek uzrādītas gāzesvadu sistēmas novietnes un gazificējamie objekti. Gazificējamie objekti un gāzes regulēšanas iekārtas plānojumā tiek numurētas, numerācijai jābūt vienotai visā plānojumā. Teritoriju perspektīvās gāzapgādes plānojumus - gazifikācijas shēmas grafisko sadaļu izstrādā sekojošos mērogos - gāzapgādes plānojums nacionālajā un reģionālajā līmenī M 1 : 2 000 000, pašvaldības teritorijas gāzapgādes plānojums M 1 : 10 000; M 1 : 5 000, gāzapgādes lokālpilānojums un detālpilānojums M 1 : 2 000, M 1 : 1 000.

Lai veiktu **tehniski ekonomisko pamatojumu** nepieciešams sagatavot informāciju - materiālu un iekārtu specifikāciju, būvdarbu apjomus, atbilstoši - orientējošās būvniecības izmaksas, dabasgāzes gada patēriņa prognozi.

Pamatojoties uz ekonomiskajiem rādītājiem (nosacītās izmaksas uz gazificējamo vienību, investīciju apjoms) tiek izrēķināta rentabilitāte [3, 27].

### **1.3. Izstrādāto perspektīvās gāzapgādes plānojumu – shēmu analīze**

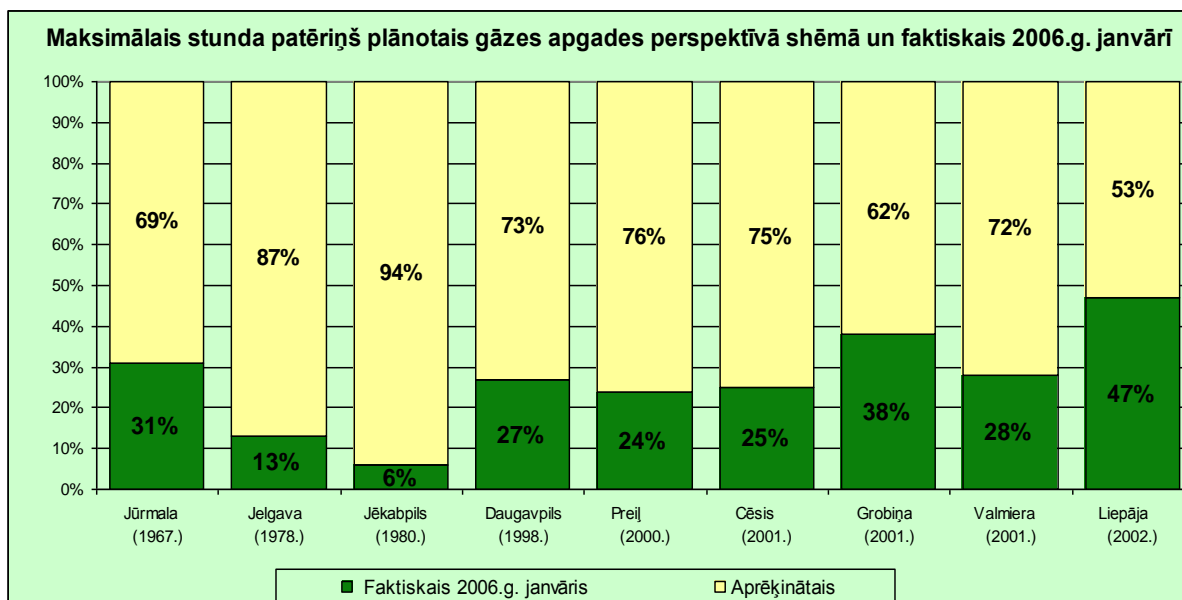
Lielo pilsētu perspektīvās gāzapgādes shēmas tika izstrādātas pamatojoties uz ilgtermiņa plānošanas dokumentiem, kuros tika paredzēta ilgtermiņa teritoriju apbūve, intensīva rūpniecības attīstība un stabils iedzīvotāju pieaugums. Perspektīvās gāzapgādes (gazifikācijas) shēmas dažādos laika periodos izstrādājušas dažādas projektēšanas organizācijas, gan Latvijas Republikas, gan bijušās Padomju Savienības projektēšanas institūti. Promocijas darba izstrādes laikā ir pētītas un izvērtētas iepriekš izstrādātās gazifikācijas shēmas, tajās apkopotā informācija par plānotajiem dabasgāzes patēriņiem, to aprēķināšanas metodēm.

Laika periodā no sešdesmitajiem līdz astoņdesmitajiem gadiem Latvijas Republikas pilsētu (Jūrmalas, Jelgavas, Jēkabpils u.c.) perspektīvās gāzapgādes shēmas izstrādāja bijušās Padomju Savienības projektēšanas organizācijas – „Giprospecgaz”, „Ļengiproinžprojekt”, „Giproinīgaz. Pamatojoties uz tajā laikā spēkā esošajām Celniecības normām un noteikumiem [84], dabasgāzes patēriņi tika aprēķināti pēc vienādām aprēķinu metodēm. Aprēķinos par pamatu tika pieņemti celtniecības normās un noteikumos noteiktie dabasgāzes gada patēriņi uz vienu iedzīvotāju. Iedzīvotāju skaitu konkrētā gazificējamā teritorijā aprēķināja, pamatojoties uz teritorijas apbūves blīvumu un normatīvos noteikto dzīvojamo platību vienam iedzīvotājam (9 m<sup>2</sup>). Dabasgāzes maksimālie stundas patēriņi aprēķināti, izmantojot stundas maksimuma koeficientu (1. metode aprakstīta 2.2.1.nodaļā).

Laika periodā no astoņdesmitajiem gadiem līdz 2000. gadam Latvijas pilsētu (Daugavpils, Preiļu, Cēsu, Grobiņas, Valmieras, Liepājas u.c.) gāzapgādes plānojumus – shēmas izstrādāja Latvijas Republikas projektēšanas organizācijas - „Rūpnīcprojekts”, „Kārlis”, „Rumba”, „Intra”, „Agroprojekts” [26].

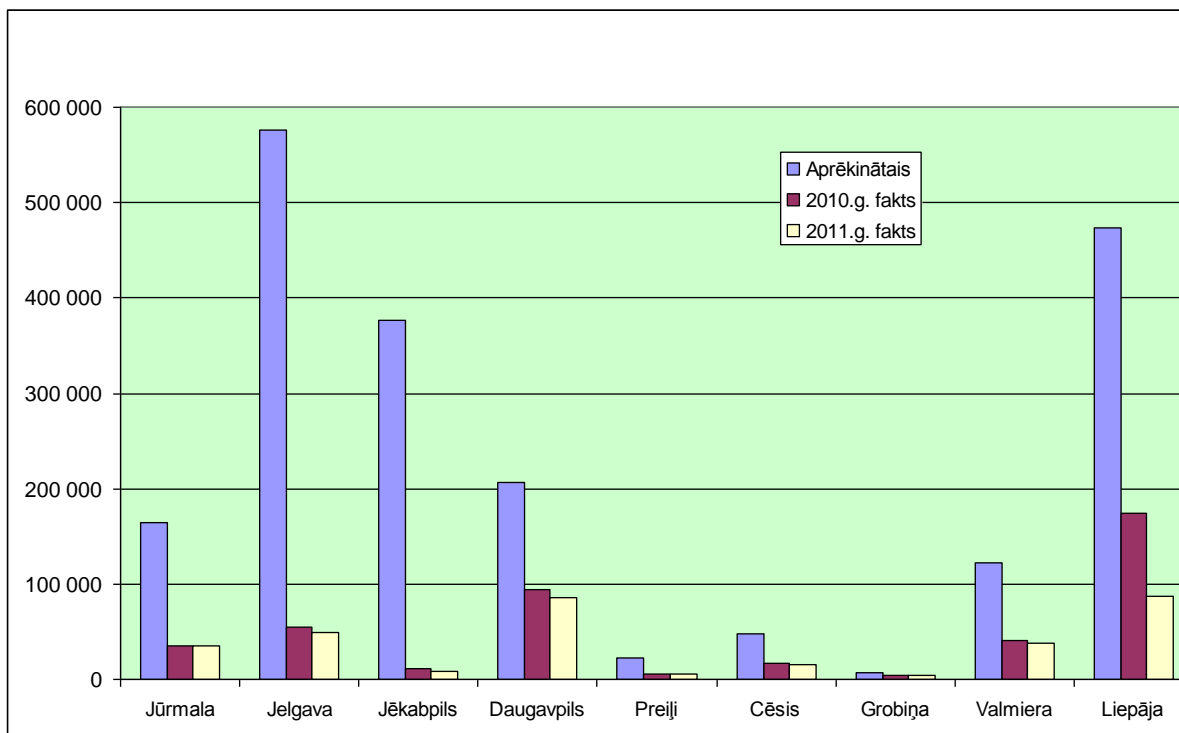
Izvērtējot iepriekšizstrādātās gāzapgādes shēmas secināju, ka Latvijas Republikas projektēšanas organizācijas dabasgāzes patēriņu aprēķināšanai nav piemērojušas vienotu metodiku, kā arī dabasgāzes maksimālie stundas patēriņu aprēķini veikti izmantojot dažādas metodes. Dabasgāzes maksimālie stundas patēriņi aprēķināti izmantojot iekārtu vienlaicības darbības koeficientu (metode aprakstīta 2.2.1.nodaļā) par pamatu pieņemot Latvijas Republikas Valsts standartā LVS 417:2002. [45] noteikto. Gada patēriņus projektēšanas organizācijas ir aprēķinājušas dažādi bez konkrētas metodikas.

Promocijas darba 1. tabulā ir apkopoti dati par laika periodā no 1967. gada līdz 2002.gadam dažādu projektēšanas organizāciju izstrādātajām perspektīvās gāzapgādes shēmām, tajās aprēķinātajiem plānotajiem dabasgāzes patēriņiem ( $m^3/h$ ), ( $m^3/a$ ), kā arī aprēķināta novirze. Augstāk minētajās gāzapgādes shēmās aprēķinātais dabasgāzes maksimālais stundas patēriņš ( $m^3/h$ ) salīdzināts ar pēdējo piecu gadu laikā fiksēto (2006. gada janvāra mēneša aukstākajā dienā), maksimālo stundas patēriņu. Faktiskais maksimālais dabasgāzes stundas patēriņš ( $m^3/h$ ) no plānotā ir šāds - Jēkabpils pilsētai – 6 %, Jelgavas pilsētai - 13 %, Preiļu, Cēsu, Valmieras, Jūrmalas pilsētām 25 – 30 %. Līdz ar to augstāk minētajām pilsētām sadales gāzesvadu sistēma strādā tikai ar 30% noslodzi, pētījuma dati apkopoti 1.7. attēlā.



1.7.att. Pilsētu gāzapgādes shēmās aprēķinātā un faktiskā maksimālā stundas patēriņa ( $m^3/h$ ) salīdzinājums (%)

Salīdzinot 2010. un 2011.gadu dabasgāzes lietotāju kopējos faktiskos dabasgāzes gada patēriņus ( $m^3/a$ ) ar augstāk minētajās gāzapgādes shēmās aprēķinātajiem iegūti šādi rezultāti - Jūrmalas pilsētas faktiskais dabasgāzes gada patēriņš no plānotā - 21%, Jelgavas pilsētas no plānotā 9 līdz 10 %, Jēkabpils pilsētas 3 %, Daugavpils pilsētas no plānotā 41– 46 %, Preiļu pilsētas 27 %, Cēsu pilsētas no plānotā 32 – 34 %, Grobiņas pilsētas no plānotā 67 – 73 %, Valmieras pilsētas no plānotā 21 – 34 %, Liepājas pilsētas faktiskais dabasgāzes gada patēriņš no plānotā 41 – 46 %, pētījuma dati apkopoti 1.8. attēlā.



1.8. att. Pilsētu gāzapgādes shēmās aprēķinātā un faktiskā dabasgāzes gada (2010., 2011.) patēriņu ( $m^3/a$ ) salīdzinājums (%)

Laika periodā līdz deviņdesmito gadu sākumam Latvijas Republikas pilsētu gāzapgādes plānojumus izstrādāja bijušās Padomju Savienības projektēšanas institūtu speciālisti, pamatojoties uz tā laika celtniecības normām un noteikumiem [83], pielietojot vienādas dabasgāzes patēriņu aprēķināšanas metodes. Latvijas Republikas projektēšanas institūti, izstrādājot gāzapgādes plānojumus laika periodā no deviņdesmitajiem gadiem līdz 2000. gadam, dabasgāzes patēriņus aprēķinājuši pēc dažādām metodēm, izmantojot personīgo pieredzi. Konstatēts, ka pamatojoties uz gāzapgādes shēmās aprēķinātajiem gāzesvadu diametriem, izbūvētie augstā un vidējā spiediena sadales gāzesvadu sistēmas - tranzīta un pamatnoslodzes cauruļvadu tīklu diametri ir par 20 % - 30 % lielāki nekā nepieciešams pašreizējai esošajai dabasgāzes slodzei – maksimālajam dabasgāzes stundas patēriņam ( $m^3/h$ ). Cauruļvadu - tērauda gāzesvadu materiālu pārtēriņš ir izveidojies:

- piemērojot paaugstinātus dabasgāzes maksimālos stundas patēriņus,
- aprēķinos nav ņemts vērā dabasgāzes lietotāju iekārtu darbības sezonālais princips,
- sadales gāzesvadu sistēmu aprēķinos gāzesvadu diametri aprēķināti ar minimāliem spiediena zudumiem, kas būtiski palielina projektējamo gāzesvadu diametrus.

1.1.tabula

## Perspektīvās gāzapgādes shēmās plānoto un faktisko dabasgāzes patēriņu salīdzinājums

Gāzapgādes shēmas nosaukums	Projektēšanas organizācija	Izstrādes gads	Maksimālais stundas patēriņš (m <sup>3</sup> /h)		Gada gāzes patēriņš (tūkst.m <sup>3</sup> /a)		Faktiskā stundas patēriņa noslodze no plānotā (%)	Faktiskais dabasgāzes gada patēriņš no plānotā (%)
			Plānotais gāzapgādes shēmā	Faktiskais*	Plānotais gāzapgādes shēmā	Faktiskais**		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jūrmalas pilsētas gāzes apgādes perspektīvā shēma	„Ļengiproinžprojekt”	1967	51 580	15 869	164 400	35 169 (2010) 34 890 (2011)	31%	(2010) 21% (2011) 21%
Jelgavas pilsētas gāzes apgādes perspektīvā shēma	„Ļengiproinžprojekt”	1978	156 650	20 133	575 620	55 234 (2010) 49 113 (2011)	13%	(2010) 10% (2011) 9%
Jēkabpils pilsētas gāzes apgādes perspektīvā shēma	„Ļengiproinžprojekt”	1980	90 400	5 778	377 000	10 678 (2010) 8 576 (2011)	6%	(2010) 3% (2011) 2%
Daugavpils pilsētas gāzes apgādes shēmas korekcija	SIA „Agroprojekts”	1998	129 660	34 784	206724	94 193 (2010) 85 418 (2011)	27%	(2010) 46% (2011) 41%
Preiļu pilsētas un rajona gāzes apgādes perspektīvā shēma	SIA „Rūpnīcprojekts”	2000	8737	2 062	22 987	5 272 (2010) 5 453 (2011)	24%	(2010) 23% (2011) 23%
Cēsu pilsētas gāzes apgādes shēmas korekcija	SIA “Rumba”	2001	22680	5 610	47 800	16 366 (2010) 15 085 (2011)	25%	(2010) 34% (2011) 32%
Grobiņas pilsētas gāzes apgādes perspektīvā shēma	SIA “Kārlis”	2001	3148	1 198	6 646	4 836 (010) 4 460 (2011)	38%	(2010) 73% (2011) 67%
Valmieras pilsētas gāzes apgādes shēmas korekcija	SIA “Rumba”	2001	35697	10 030	121 805	41 293 (2010) 37 472 (2011)	28%	(2010) 34% (2011) 31%
Liepājas pilsētas gāzes apgādes shēmas korekcija	SIA “Rumba”	2002	90 375	42 098	473 332	174135 (2010) 87 596 (2011)	47%	(2010) 34% (2011) 19%

Piezīmes:

\* - faktiskais maksimālais dabasgāzes stundas patēriņš (m<sup>3</sup>/h) pēdējo piecu gadu laikā (2006. gada janvāris) gāzes regulēšanas stacijās\*\* - faktiskais dabasgāzes 2010. un 2011. gadu (m<sup>3</sup>/a) patēriņš gāzes regulēšanas stacijās

## 2. DABASGĀZES PATĒRIŅU NOTEIKŠANA GĀZAPGĀDES SISTĒMU PROJEKTĒŠANAI

### 2.1. Dabasgāzes patēriņu iedalījums

Dabasgāzes patēriņu raksturo izmantošanai pievadītais gāzes daudzums laika vienībā. Gāzveida fāzei tas parasti ir tilpums, bet šķidrā fāzei – svars.

Izšķir šādus dabasgāzes patēriņus:

- gada patēriņu -  $Q_a$  ( $m^3/a$ );
- mēneša patēriņu -  $Q_{mēn}$  ( $m^3/mēn$ );
- diennakts patēriņu -  $Q_{dn}$  ( $m^3/dn$ );
- maksimālo stundas patēriņu -  $Q_h$  ( $m^3/h$ ).

Dabasgāzes patēriņa lielumu ietekmē - dabasgāzes izmantošanas veidi, ekonomiskā situācija, politiskie lēmumi un dokumenti [19, 22, 23], ārējais temperatūra [67], sadzīves vajadzības un iedzīvotāju ieradumi [21].

Dabasgāzes patēriņu aplēses veic:

- perspektīvās gāzapgādes sistēmas plānojumu izstrādei [44, 46];
- pārvades, sadales un lietotāju gāzesvadu un iekārtu projektēšanai [10, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 43, 46, 47];
- gāzesvadu sistēmu un iekārtu izbūvei, pārbūvei un nomaiņai [46, 49, 50, 52].

Dabasgāzes gada -  $Q_a$  ( $m^3/a$ ) un mēneša -  $Q_{mēn}$  ( $m^3/mēn$ ) patēriņus aprēķina un piemēro pilsētu vai apdzīvotu vietu plānotās gāzapgādes sistēmas iespējamo investīciju aprēķinam un būvobjekta rentabilitātes noteikšanai. [4, 43]. Savukārt, lai aprēķinātu tehniski un ekonomiski pamatotas sadales gāzapgādes sistēmas, izvēloties optimālus gāzesvadu diametrus, nepieciešams aprēķināt maksimālos stundas patēriņus -  $Q_h$  ( $m^3/h$ ), atbilstoši Latvijas valsts standartiem, normatīvajiem dokumentiem [46, 67]. Pārvades gāzapgādes sistēmu aprēķināšanā izmanto aprēķināto dabasgāzes diennakts patēriņu -  $Q_{dn}$  ( $m^3/dn$ ) [51].

Promocijas darba iepriekšējā nodaļā noteicu iemeslus korektu (dabasgāzes lietotājiem nepieciešamo) dabasgāzes stundas un gada patēriņu ( $m^3/h$  un  $m^3/a$ ) aprēķināšanai, lai nodrošinātu tehniski un ekonomiski pamatotu gāzapgādes sistēmu izbūvi, salīdzinot plānotos un faktiskos dabasgāzes patēriņus dažādām Latvijas pilsētām.

Šajā nodaļā aprakstīšu un salīdzināšu dabasgāzes patēriņa aprēķināšanas metodes Latvijas [45, 463], Lietuvas [55], Igaunijas, Krievijas Federācijas [82, 83, 84] un Vācijas Federatīvās

Republikas normatīvajos dokumentos [15 – 18, 28], kā arī noteikšu optimālos dabasgāzes patēriņus dabasgāzes lietotāju grupām hidroaulisko aprēķinu veikšanai.

Dabasgāzes lietotājus (patērētājus) iedala šādās grupās:

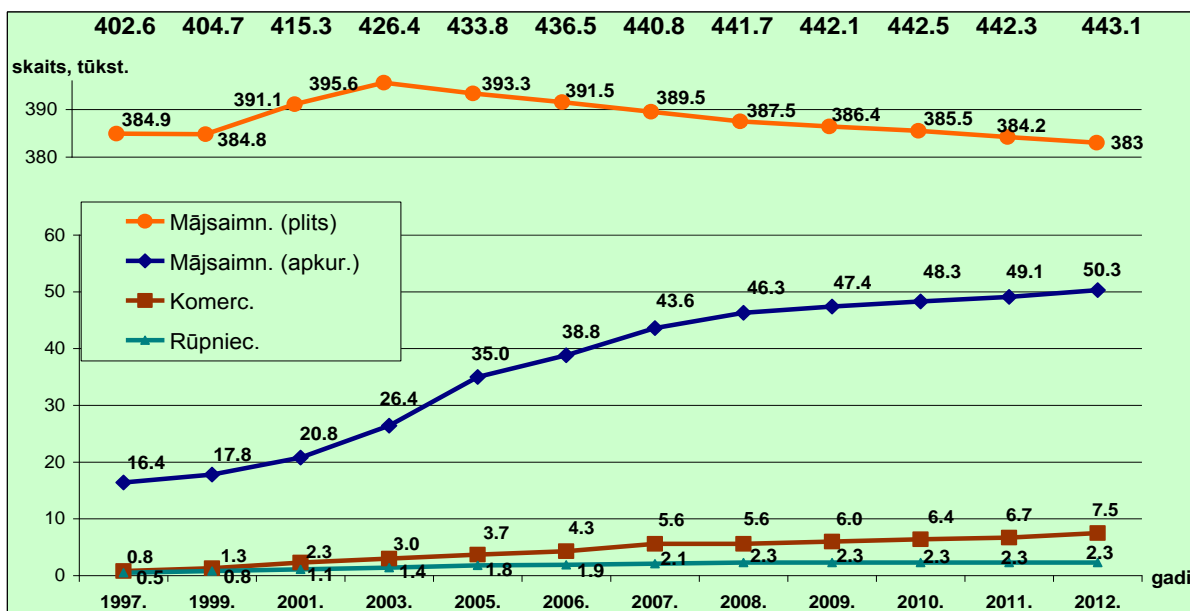
1. **mājsaimniecības** ar dabasgāzes gada patēriņu līdz 25 tūkst.(m<sup>3</sup>/a) un līdz 16 (m<sup>3</sup>/h), kur dabasgāzi izmanto ēdiena gatavošanai, apkurei, karstā ūdens uzsildīšanai un perspektīvā iespējamai elektrības ražošanai:
  - individuālās dzīvojamās mājās,
  - daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās;
2. **komercuzņēmumi, sadzīves pakalpojumu, sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumi** ar dabasgāzes gada patēriņu līdz 25 tūkst.(m<sup>3</sup>/a), kur dabasgāzi izmanto apkurei, ventilācijai, karstā ūdens uzsildīšanai, aukstumapgādei, tehnoloģijai, elektroenerģijas ražošanai;
3. **rūpnieciskie** ar dabasgāzes gada patēriņu virs 25 tūkst.(m<sup>3</sup>/a) un virs 16 (m<sup>3</sup>/h), kur dabasgāzi izmanto apkurei, ventilācijai, karstā ūdens sagatavošanai, aukstumapgādei, tehnoloģijai, elektroenerģijas ražošanai:
  - rūpniecības uzņēmumos un ražotnēs,
  - lauksaimniecības un lopkopības uzņēmumos.

Dabasgāzes patēriņus mājsaimniecībām parasti uzskaita ar skaitītājiem līdz 16 m<sup>3</sup>/h, dabasgāzes patēriņus rūpnieciskajiem patērētājiem uzskaita ar norēķinu mēraparātiem virs 16 m<sup>3</sup>/h, atbilstoši Dabasgāzes piegādes un lietošanas noteikumiem [9]. Dabasgāzes patēriņu uzskaiti veic komercnorēķiniem, kontroluzskaiti vai operatīvai uzskaiti.

Latvijā laika periodā līdz 2011. dabasgāzes lietotāju skaits sasniedzis 442,3 tūkstoši, no tiem 2,3 tūkst. rūpnieciskie, 6,7 tūkst. komercietotāji, 49,1 tūkst. mājsaimniecības, kas dabasgāzi izmanto apkurei un karstā ūdens sagatavošanai, 384,2 tūkst. mājsaimniecību, kas dabasgāzi izmanto sadzīves vajadzībām (ēdiena gatavošanai), skatīt 2.1. attēlu. 2010. gadā dabasgāzes patēriņš sasniedza 1821 miljonu m<sup>3</sup> dabasgāzes gadā, skatīt 2.2. attēlu. Latvijā vairāk nekā 90% dabasgāzes gada apjoma patērē rūpnieciskie lietotāji – rūpnīcas tehnoloģisko procesu nodrošināšanai, centralizētās siltumapgādes uzņēmumi un elektroenerģijas ražošanai termoelektrocentrālēs, lauksaimniecības uzņēmumi [4, 39].

Savukārt mājsaimniecības dabasgāzi patērē - mājokļu apkurei, karstā ūdens sagatavošanai un sadzīves vajadzībām, perspektīvā iespējams arī elektrības ražošanai mikrokoģenerācijas iekārtās. Laika posmā no 1997. līdz 2011. gadam mājsaimniecību lietotāju skaits, kas dabasgāzi izmanto mājokļu apkurei un karstā ūdens sagatavošanai, pieaudzis par 32,7

tūkstošiem, kā dabasgāzes gada patēriņš pieaudzis no 6% līdz 9%, Savukārt rūpniecisko lietotāju skaits ir samazinājies līdz 1997. gada līmenim, skatīt 2.1. attēlu.



2.1.att. Latvijas dabasgāzes lietotāju skaits (tūkst.) – rūpniecība, komercuzņēmumi, mājsaimniecības (apkure), iedzīvotāji sadzīves vajadzībām periodā no 1997. līdz 2012. gadam

## 2.2. Dabasgāzes patēriņa nevienmērība

Dabasgāzes patēriņš ir mainīgs laika periodā (gadu desmitu, mēnešu, diennakts, stundas laikā), jo dabasgāzi patērējošo iekārtu darbība ir periodiska.

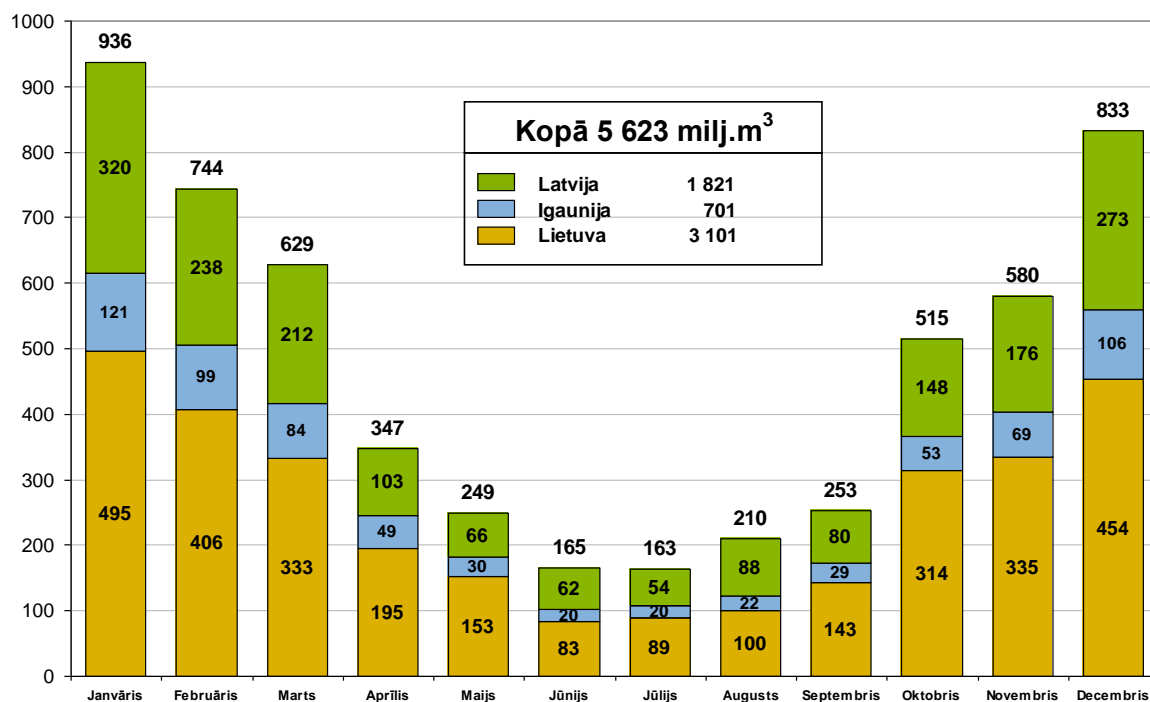
Dabasgāzes patēriņa nevienmērību iedala:

- sezonālā nevienmērība (patēriņa novirze atsevišķos mēnešos), skatīt 2.2. attēlā,
- diennakts nevienmērība patēriņa novirze atsevišķos mēnešos (patēriņa novirze atsevišķās nedēļās, mēneša vai gada dienās),
- stundas nevienmērība (patēriņa novirze atsevišķās diennakts stundās), skatīt 2.3., 2.4. un 2.5. attēlu.

Dabasgāzes patēriņa apjomu laika vienībā būtiski ietekmē gaisa temperatūra, redzams, ka ziemas mēnešos dabasgāzes patēriņš ir piecas reizes lielāks nekā vasaras mēnešos.

2010. gada mēnešu dabasgāzes patēriņa apjomi uzrādīti 2.2. attēlā. Ziemas periodā gāzes patēriņa svārstības ir ievērojami vairāk atkarīgas no temperatūras nekā vasarā, jo apmēram 60% no dabasgāzes gada apjoma izmanto siltuma ražotāji apkures nodrošināšanai un karstā

ūdens sagatavošanai, kā arī termocentrālēs elektrības ražošanai koģenerācijā.



2.2. att. Dabaszgāzes patēriņš pa mēnešiem 2010. gadā Baltijas republikās (milj m<sup>3</sup>/a)

Savukārt, vasaras periodā gāzes patēriņa svārstības ir atkarīgas no gāzes patēriņa apjoma rūpniecībā un enerģētikā, kā arī tehnoloģisko procesu nodrošināšanā. Stundas nevienmērība jeb dabaszgāzes patēriņa svārstības diennakts laikā atkarīgas arī no dabaszgāzi patērējošo iekārtu darbības režīma.

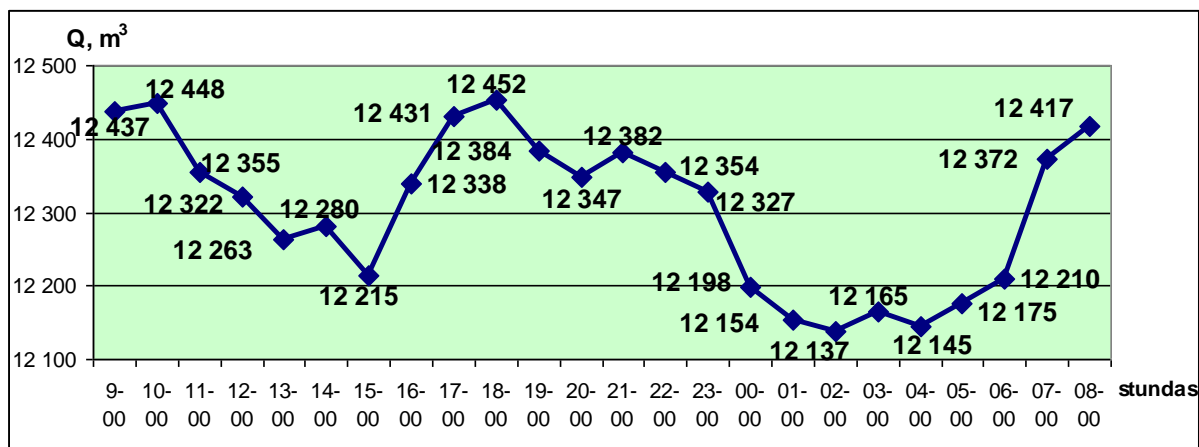
Izmantojot attālinātās informācijas sistēmas (SCADA) datus, esmu veikusi pētījumu par dabaszgāzes patēriņa svārstībām diennakts laikā gāzes regulēšanas stacijās – (turpmāk GRS) „Sloka”, GRS „Cēsis”, GRS „Liepāja”. 2012. gada 3. februāra dabaszgāzes patēriņa svārstību dati atspoguļoti 2.3., 2.4. un 2.5. attēlā.

GRS „Sloka” nodrošina gāzes apgādi Jūrmalas pilsētas dabaszgāzes lietotājiem. 30% no patērētā dabaszgāzes gada apjoma izmanto mājsaimniecības, mājokļu apkurei, karstā ūdens sagatavošanai un ēdiena gatavošanai, 20% komerciālie lietotāji, 50% rūpnieciskie.

Dabaszgāzes lietotāju sadalījums Jūrmalas pilsētas teritorijā:

- individuālās dzīvojamās mājas (apkure) – 4 319 klientu;
- gazificētie dzīvokļi (ar gāzes plītīm) – 12 919 dzīvokļu;
- komerciālie lietotāji ar dabaszgāzes patēriņu līdz 25 000m<sup>3</sup> gadā – 399 klienti;
- rūpnieciskie lietotāji ar dabaszgāzes patēriņu virs 25 000m<sup>3</sup> gadā – 117 klienti.

Analizējot dabasgāzes patēriņa svārstības diennakts GRS „Sloka”, skatīt 2.3. attēlu, secināju, ka lielākais patēriņš ir rīta un vakara laikā, kad dabasgāze tiek izmantota sadzīves vajadzību nodrošināšanai īpaši mājāsaimniecībās.



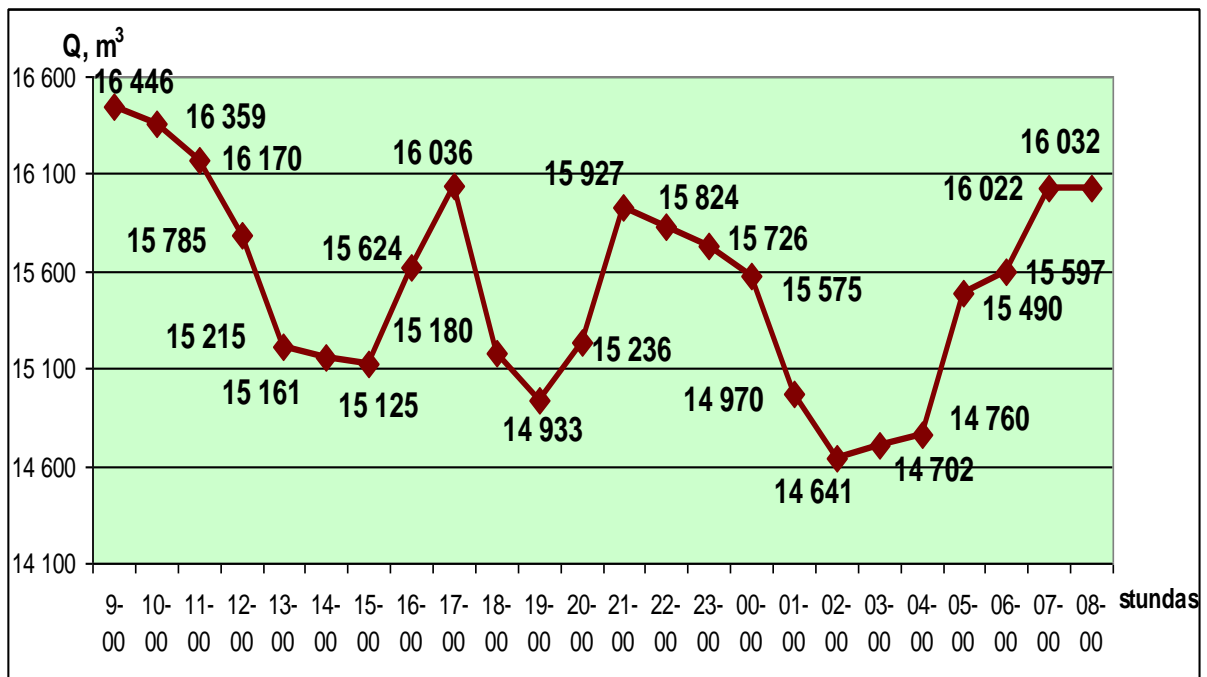
2.3. att. Dabasgāzes patēriņa svārstības diennakts laikā (03.02.2012.) GRS „Sloka”

GRS „Liepāja” nodrošina dabasgāzes piegādi Liepājas un tās apkārtējās teritorijas lietotāju vajadzībām. Savukārt šajā teritorijā 93% no dabasgāzes gada apjoma izmanto rūpnieciskie uzņēmumi – ražošanai, tehnoloģijai, elektrības ražošanai koģenerācijā, pilsētas centralizētajai siltumapgādei un nodrošināšanai ar karsto ūdeni, 6 % mājāsaimniecības - apkurei, karstā ūdens sagatavošanai un ēdiena gatavošanai, 1% komercuzņēmumi, skatīt 2.1. tabulu. GRS „Liepāja” dabasgāzes patēriņa svārstības ietekmē lielie rūpnieciskie uzņēmumi, atkarībā no ražošanas procesiem, kā arī katlu mājas, kuras ir automatizētas, un dabasgāzi patērējošās iekārtas ieslēdzas samazinoties ieregulētajai temperatūrai, skatīt 2.4. attēlu.

2.1. tabula

Dabasgāzes lietotāju skaits, patēriņa apjoms 2011. gadā no GRS „Liepāja

Nr. p.k.	Lietotāju grupas	Skaitis	Dabasgāzes gada patēriņš (tūkst. m³/a)	Dabasgāzes Izmantošana
1.	Rūpnieciskie uzņēmumi, ražotnes	137	80 785,35	Siltuma ražošana, tehnoloģija, Enerģētika
2.	Komercuzņēmumi	317	1200,80	Siltuma ražošana, tehnoloģija
3.	Individuālās dzīvojamās mājas	1 823	3629.14	Apkure, karstā ūdens uzsildīšana
4.	Dzīvokļi	24 219	1530.75	Sadzīves vajadzībām
<b>KOPĀ</b>		<b>26 496</b>	<b>87 146.04</b>	



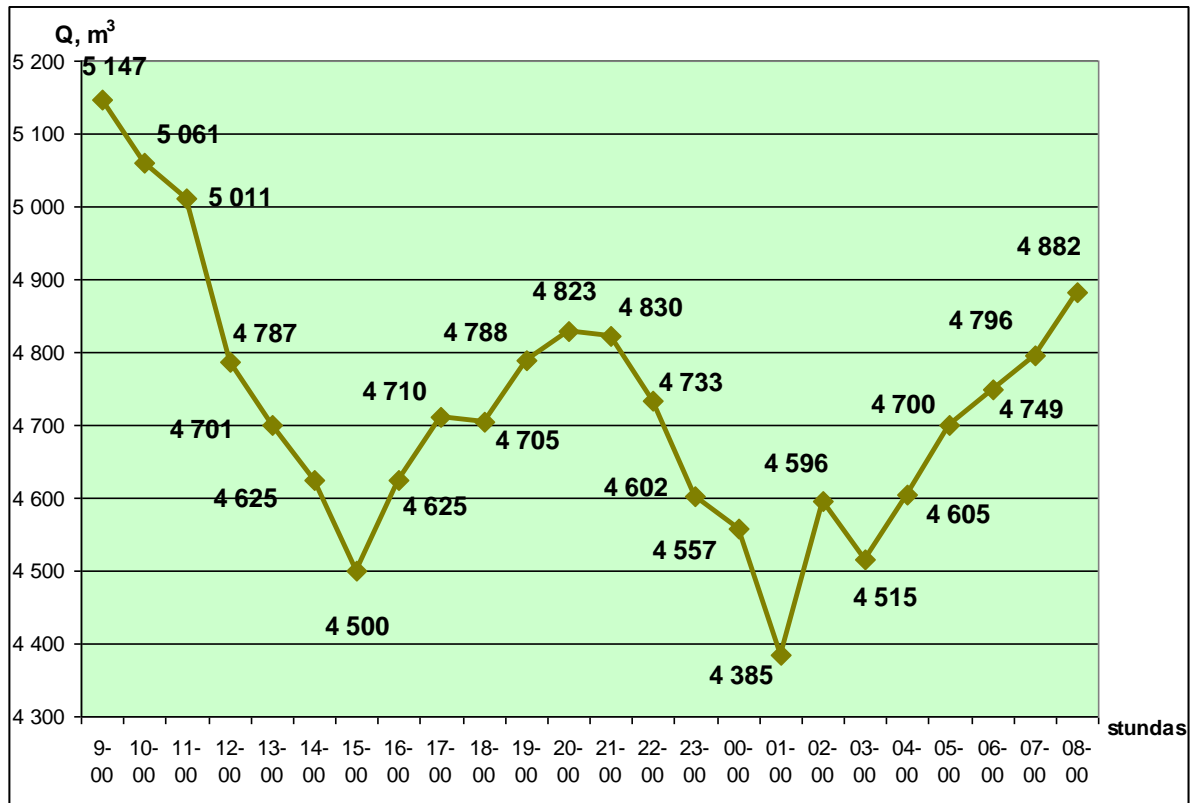
2.4. att. Dabaszgāzes patēriņa svārstības diennakts laikā (03.02.2012.) GRS „Liepāja”

GRS „Cēsis” nodrošina dabaszgāzes piegādi Cēsu pilsētai un tās apkārtējās teritorijas lietotāju vajadzībām. Savukārt šajā teritorijā 90% no dabaszgāzes gada apjoma izmanto rūpnieciskie uzņēmumi – ražošanai, tehnoloģijai, elektrības ražošanai koģenerācijā, pilsētas centralizētajai siltumapgādei un nodrošināšanai ar karsto ūdeni, 8 % mājsaimniecības - apkurei, karstā ūdens sagatavošanai un ēdiena gatavošanai, 2 % komercuzņēmumi, skatīt 2.2. tabulu. GRS „Cēsis” dabaszgāzes patēriņa svārstības ietekmē lielie rūpnieciskie uzņēmumi, atkarībā no ražošanas procesiem, kā arī katlu mājas, skatīt 2.5. attēlu.

2.2. tabula

Dabaszgāzes lietotāju skaits, patēriņa apjoms 2011. gadā no GRS „Cēsis”

Nr. p.k.	Patērētājs	Skaits	Dabaszgāzes gada patēriņš (tūkst. m³/a)	Dabaszgāzes Izmantošana
1.	Rūpnieciskie uzņēmumi, ražotnes	182	66 464,35	Siltuma ražošana, tehnoloģija, Enerģētika
2.	Komercuzņēmumi	291	1 833,76	Siltuma ražošana, tehnoloģija
3.	Individuālās dzīvojamās mājas	2 442	4 961,00	Apkure, karstā ūdens uzsildīšana
4.	Dzīvokļi	13 814	904,00	Sadzīves vajadzībām
<b>KOPĀ</b>		<b>16 729</b>	<b>74 163,11</b>	



2.5. att. Dabaszgāzes patēriņa svārstības diennakts laikā (03.02.2012.) GRS „Cēsis”

Iepazīstoties ar 2.2., 2.3. 2.4. un 2.5. attēlos sniegto informāciju par dabaszgāzes patēriņa nevienmērību gada laikā un diennakts laikā, var secināt, ka dabaszgāzes patēriņa svārstības kas izraisa gāzes plūsmas nevienmērību, ietekmē gāzes regulējošo iekārtu un gāzapgādes sistēmas darbību. Šīs svārstības dod papildus slodzi cauruļvadu sistēmai, līdz ar to īpaši nepieciešama tehniski un ekonomiski pamatotu gāzapgādes sistēmu plānošana un projektēšana, izvērtējot dabaszgāzes patēriņu ietekmi uz esošajām un perspektīvajām gāzapgādes sistēmām.

### 2.3. Dabaszgāzes patēriņa aprēķināšanas metodes

Lai veiktu apdzīvoto vietu sadales un lietotāju gāzapgādes sistēmu parametru (cauruļvadu nominālo diametru un materiāla, gāzes plūsmas spiediena un tā zudumu) aplēses un izvēli ir nepieciešams aprēķināt maksimālo gāzes patēriņu stundā (m<sup>3</sup>/h) [46]. Pārvades gāzesvadu sistēmu aplēsēs izmanto maksimālo gāzes patēriņu diennaktī (m<sup>3</sup>/dn) [51].

Dabaszgāzes gada patēriņus (m<sup>3</sup>/a) katrai lietotāju grupai (mājsaimniecības, komercuzņēmumi, sadzīves pakalpojumu uzņēmumi, rūpniecības un lauksaimniecības uzņēmumi) nosaka aprēķina perioda beigās. [46].

Zinātnieki A. Joņins un J. Karpjuks [76, 77, 78] pagājušā gadsimta sešdesmitajos, astoņdesmitajos gados izstrādājuši dabasgāzes patēriņu aprēķināšanas metodiku. Šī metodika tika pieņemta par pamatu nepieciešamo dabasgāzes patēriņu aprēķināšanai bijušajā PSRS, tajā skaitā arī Latvijā. Nosacījumus gāzapgādes sistēmu aprēķināšanai, kā arī dabasgāzes patēriņu aplēses bijušajā PSRS, noteica celtniecības normas un noteikumi – „Строительные нормы и правила „Газоснабжение”, СНиП 2.04.08-87\* [83]. Vēsturiski celtniecības normās un noteikumos, [84], tika noteiktas normas un principi gāzes patēriņu aplēsēm, kā arī gāzapgādes sistēmu plānošanai jaunbūvējamām pilsētām un apdzīvotām vietām. Dabasgāzes patēriņi tika aprēķināti atbilstoši izstrādātajiem pilsētu un apdzīvotu vietu ģenerālplāniem.

Latvijas Republikā gāzapgādes sistēmu plānošanu, projektēšanu un izbūvi, tajā skaitā dabasgāzes patēriņu aplēses līdz 2011. gadam, noteica Latvijas Valsts standarts LVS 417:2002 „Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana” [46]. Šis standarts tapa adaptējot bijušajā Padomju Savienībā izstrādātās un 1987. gadā apstiprinātās celtniecības normas un noteikumus gāzapgādei (СНиП 2.04.08-87\*) [83], savukārt mainoties Krievijas Federācijas celtniecības normām un noteikumiem [82] un ar to saistītajiem noteikumiem [84] arī bijušajā Latvijas Valsts standartā LVS 417/AI:2002 [45] tika palielinātas siltuma patēriņa normas vienam iedzīvotājam gadā. Lietuvā prasības gāzapgādes sistēmu plānošanai un projektēšanai veic atbilstoši noteikumiem „Skirstomāju plienniu dujotiekiu irengimo taisykles” [55], ko izdod par nozari atbildīgā ministrija. Augstāk minētajos Latvijas, Lietuvas, bijušās PSRS, Krievijas Federācijas dokumentos un metodiskajos norādījumos tika noteikti konkrēti gada normatīvie siltuma patēriņi, kas nepieciešami konkrēta iedzīvotāju skaita un konkrētas dabasgāzes lietotāju grupas siltumapgādei, karstā ūdens uzsildīšanai un ventilācijai, sadzīves pakalpojumu (veļas mazgāšanas, pirts), sabiedriskā ēdināšanas, rūpniecības uzņēmumu (metalurģijas, kuģu būvētavu, pārtikas ražošanas), lauksaimniecības (lopbarības sagatavošanai – konkrētam lopu skaitam) uzņēmumu darbības nodrošināšanai, kā arī iedzīvotājiem sadzīves vajadzībām (ēdiena gatavošanai, karstā ūdens uzsildīšanai, ja nav centralizētā siltumapgāde).

Promocijas darba izstrādes laikā tika savākta un izvērtēta informācija par Latvijas, Lietuvas un Igaunijas Republiku, bijušās PSRS, Krievijas Federācijas un Vācijas Federatīvās Republikas normatīvajiem dokumentiem, kuros noteiktas prasības gāzapgādes sistēmu plānošanai un projektēšanai, dabasgāzes patēriņu aprēķināšanas metodes māsjsaimniecībām, komercuzņēmumiem, sadzīves pakalpojumu, rūpniecības un lauksaimniecības uzņēmumiem.

Bijušā PSRS arī Latvijā normatīvajos dokumentos līdz 2011. gadam siltuma patēriņi vienam iedzīvotājam gadā sadzīves vajadzībām daudzstāvu dzīvojamās mājās tika aprēķināta trijām dabasgāzes lietotāju apakšgrupām, skatīt 2.3 tabulu.

Iedzīvotāju, sadzīves pakalpojumu, sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu, maizes ceptuvju, konditoreju un veselības aizsardzības iestāžu gāzes patēriņu gadā (neskaitot apkuri) noteica pēc siltuma patēriņa normām. Latvijas, Lietuvas, bijušās PSRS, Krievijas Federācijas normatīvajos dokumentos noteikto siltuma patēriņu salīdzinājums iedzīvotājiem sadzīves vajadzībām gāzes apgādes sistēmu plānošanai un izbūvei apkopoti 2.3 tabulā.

2.3 tabula

Siltuma patēriņa salīdzinājums vienam iedzīvotājam daudzstāvu dzīvojamās mājās (Latvijas, Lietuvas, bijušās PSRS, Krievijas Federācijas normatīvajos dokumentos)

Nr.	Dabasgāzi patērējošās iekārtas dzīvoklī	Patēriņa Rādītājs	Siltuma patēriņa normas MJ			
			LR*	LT**	Bijušajā PSRS***	KF****
1	Gāzes pavards, (centralizēta apgāde ar karsto ūdeni)	vienam iedzīvotājam gadā	4100	2800	2800	4100
2	Gāzes pavards, gāzes ūdenssildītājs (nav centralizētas apgādes ar karsto ūdeni)	vienam iedzīvotājam gadā	10 000	8000	8000	10 000
3	Gāzes pavards (nav centralizētas apgādes ar karsto ūdeni, nav ūdens sildītāja)	vienam iedzīvotājam gadā	6000	4600	4600	6000

LV\* - LVS 417:2002 „Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana” [42] (2011. gada grozījumi izslēdz siltuma patēriņa normas);

LT\*\* - Skirstomiju plienniu dujotiekiu irengimo taisykles [57];

PSRS\*\*\* - Строительные нормы и правила СССР СНиП 2.04.08-87\* „Газоснабжение”; [84] (nav spēkā);

KF\*\*\*\* - Строительные нормы и правила РФ "Газораспределительные системы" СНиП 42-01-2002 [85], Свод правил по проектированию и строительству СП 42-101-2003 [83].

Tabulā minēto dzīvojamo māju siltuma patēriņa normās ietilpst arī siltuma patēriņš veļas mazgāšanai mājas apstākļos.

Lietuvas normatīvajos dokumentos [57], kuros noteikti dabasgāzes patēriņa aprēķināšanas principi un lielumi, saglabātas bijušās PSRS celtniecības normās un noteikumos [84] noteiktie siltuma patēriņu apjomi iedzīvotājiem sadzīves vajadzībām daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās, pēc kuriem aprēķina dabasgāzes gada patēriņu vienam iedzīvotājam gadā. Augstāk minētajos standartos un noteikumos, sagatavojot pilsētu un citu apdzīvoto vietu perspektīvās gāzapgādes plānojumus - shēmas, tika atļauts pieņemt paaugstinātus gāzes patēriņa rādītājus ( $m^3/a$  uz vienu iedzīvotāju), ja sadegšanas siltums ir  $34 MJ/m^3$ , skatīt 2.4 tabulu.

2.4. tabula

Gāzes patēriņa normas perspektīvās gāzapgādes sistēmas plānošanai Latvijas (līdz 2011.gadam), Lietuvas un Krievijas Federācijas normatīvajos dokumentos

Karstā ūdens apgādes veids	Gāzes patēriņš ( $Q_a$ ), vienam iedzīvotājam ( $m^3/a$ )
Centralizēta apgāde ar karsto ūdeni	120
Apgāde ar karsto ūdeni no gāzes ūdenssildītājiem	300
Nav nekāda veida apgāde ar karsto ūdeni	180 (220 lauku apvidos)

Igaunijas un Vācijas Federatīvās Republikas [15 - 19] normatīvajos dokumentos nav noteiktas konkrētas siltuma patēriņa vai dabasgāzes maksimālā stundas patēriņa ( $m^3/h$ ) normas vienam iedzīvotājam sadzīves vajadzībām. Perspektīvā izbūvējamo gāzapgādes sistēmu tehniski ekonomiskā pamatojuma aprēķinos piemēro dabasgāzes patēriņa lielumus konkrētām dabasgāzes lietotāju grupām, kas uzskaitīti iepriekšējo pārskata gadu periodā, piemērojot vidējo statistisko gada patēriņu.

Šī ir būtiskākā atšķirība salīdzinot Latvijas [45], Lietuvas[55], bijušās PSRS [83], Krievijas Federācijas [82, 84] normatīvajos dokumentos ar Vācijas Federatīvās Republikas [14-18] normatīvajos dokumentos noteiktajiem dabasgāzes patēriņu aplēses principiem.

### 2.3.1. Dabasgāzes maksimālā stundas patēriņa aprēķināšana

Vēsturiski celtniecības normās un noteikumos, kas tika piemērotas visā bijušās Padomju Savienības teritorijā [83] tika noteikti gāzes patēriņu aprēķināšanai nosacījumi gāzapgādes sistēmu izbūvei jaunbūvējamām pilsētām un apdzīvotām vietām, kurām bija

izstrādāti pilsētu un apdzīvotu vietu ģenerālpilāni Šie noteikumi tika adaptēti arī Latvijas Valsts standartā LVS 417:2002 [45] (spēka līdz 2011. gadam). Dabasgāzes maksimālā stundas patēriņa ( $m^3/h$ ) aprēķināšanai tika pielietotas šādas metodes:

1. izmantojot stundas patēriņa maksimuma koeficientu ( $K_{max}^h$ ) - pārejas koeficients no gada patēriņa uz gāzes maksimālo stundas patēriņu;
2. izmantojot iekārtu darbības vienlaicīguma koeficientu ( $K_{sim}$ ), kas atkarīgs no vienāda tipa uzstādīto gāzes iekārtu skaita.

Promocijas darba 2.1. nodaļā aprakstīju dabasgāzes lietotāju sadalījumu pa trīs grupām - **mājsaimniecības** (individuālās un daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās), **komercuzņēmumi un komunālie** (sadzīves pakalpojumu, sabiedriskās ēdināšanas) uzņēmumi, **rūpnieciskie** (ražošana, tehnoloģija, lauksaimniecība).

**Stundas patēriņa maksimuma koeficients** ( $K_{max}^h$ ) [45, 83] ir koeficients, kuru izmanto pārejai no gada patēriņa ( $m^3/a$ ) uz gāzes maksimālo stundas patēriņu ( $m^3/h$ ), kas atkarīgs no iedzīvotāju skaita konkrētā apbūves teritorijā. Maksimālo gāzes patēriņu stundā aprēķina pēc formulas (2.1), kur normatīvo gada patēriņu reizina ar stundas patēriņa maksimuma koeficientu, kas dots tabulās 2.5, 2.6 un 2.7.

$$Q_d^h = K_{max}^h \times Q_a, \quad (2.1)$$

kur  $K_{max}^h$  - stundas maksimuma koeficients, [42, 83, 84];

$Q_a$  - gāzes patēriņš gadā,  $m^3/a$ .

Šo metodi izmantoja dabasgāzes maksimālā stundas patēriņa aprēķināšanai visām lietotāju grupām - iedzīvotājiem sadzīves vajadzībām, komunālajiem, rūpniecības un lauksaimniecības uzņēmumiem. Stundas maksimuma patēriņa koeficients jāpieņem diferencēti katrā atsevišķā gāzapgādes zonā (apbūves rajonā), kas tika apgādāta no viena avota. Daudzdzīvokļu dzīvojamo māju apsildāmo platību katrā konkrētā jaunbūvējamās pilsētas mikrorajonā aprēķināja, reizinot dzīvojamās teritorijas laukumu (ha), atbilstoši izstrādātajam apdzīvotās vietas teritorijas ģenerālpilānam, ar normatīvo teritorijas apdzīvotības blīvumu (cilv/ha), kurā tika ievērtēts dzīvojamo māju stāvu skaits, katrā konkrētā mikrorajonā [76, 77, 78]. Publisko ēku apkurināmo platību aprēķināja kā vienu ceturto daļu no plānojamās dzīvojamās apbūves platības. Pamatojoties uz aprēķināto daudzdzīvokļu dzīvojamo māju platību, tika aprēķināts iedzīvotāju skaits konkrētā mikrorajonā, ko ieguva reizinot plānoto daudzdzīvokļu dzīvojamo māju platību ar normatīvo iedzīvotāju blīvumu uz ha (iedz/ha). Savukārt iedzīvotāju skaitu konkrētā daudzdzīvokļu dzīvojamā mājā aprēķināja - dalot

daudzdzīvokļu dzīvojamo māju platību ar tā laika normatīvajos dokumentos, apdzīvojamās platības lielumu vienam iedzīvotājam – 9 m<sup>2</sup> [77]. Pašlaik Latvijā vidējā kopējā mājokļa platība ir 24,5 m<sup>2</sup>, 2000. gadā Eiropas Savienībā (ES) vienam iedzīvotājam vidējā apdzīvojamā platība 50, 0 m<sup>2</sup>. ES dominē 3 – istabu mājokļi, Latvijā 1-2 istabu mājokļi [32].

Stundas maksimuma koeficienta skaitliskie lielumi saimnieciskajām-sadzīves vajadzībām atkarībā no iedzīvotāju daudzuma, kas tiek apgādāts ar gāzi, doti 2.5. tabulā.

2.5. tabula

Stundas maksimuma koeficients iedzīvotājiem dzīvojamo māju apbūves teritorijās	
Iedzīvotāju skaits	Stundas maksimuma gāzes patēriņa koeficients $K_{\max}^h$
1	1/1800
10	1/2200
50	1/2600
100	1/2800
300	1/3000
500	1/3300
1000	1/3700
2000 un vairāk	1/4700

Stundas maksimuma gāzes patēriņa koeficienta skaitliskie lielumi sadzīves pakalpojumu (pirtīm, veļas mazgātavām), sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumiem 2.6. tabulā, rūpnieciskajiem uzņēmumiem atkarībā no rūpniecības veida (kuģu būvētava, metālapstrāde, u.c.), 2.7 tabulā, lauksaimniecībai, atkarībā no lopu skaita (zirgi, cūkas, liellopi).

2.6. tabula

Stundas gāzes patēriņa maksimuma koeficients sabiedriskās ēdināšanas un komunālajiem uzņēmumiem jauktas apbūves teritorijās, atkarībā no iedzīvotāju daudzuma

Uzņēmumi	Stundas maksimuma gāzes patēriņa koeficients $K_{\max}^h$
Pirtis	1/2700
Veļas mazgātavas	1/2900
Sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumi	1/2000
Maizes ceptuves, konditorejas	1/6000

Stundas maksimuma koeficients rūpniecības nozares uzņēmumiem  
ražošanas apbūves teritorijās

Rūpniecības nozare	Stundas maksimuma gāzes patēriņa koeficients $K_{\max}^h$		
	uzņēmumā kopumā	katlu mājā	rūpnieciskajās krāsniņās
Melnā metalurģija	1/6100	1/5200	1/7500
Kuģu būve	1/3200	1/3100	1/3400
Ķīmiskā rūpniecība	1/5900	1/5600	1/7300
Būvmateriāli	1/5900	1/5500	1/6200
Radio būve	1/3600	1/3300	1/5500
Elektrotehniskā	1/3800	1/3600	1/5500
Krāsainā metalurģija	1/3800	1/3100	1/5400

**Iekārtu darbības vienlaicīguma koeficientu** ( $K_{sim}$ ) [45, 46, 82-85] izmanto maksimālā stundas patēriņa aprēķināšanai  $Q_d^h$  (m<sup>3</sup>/h) individuālo un daudzdzīvokļu dzīvojamo māju apbūves teritorijām. Gāzes patēriņu stundā  $Q_d^h$  (m<sup>3</sup>/h) aprēķina pēc formulas (2.2), summējot nominālo gāzes patēriņu, ko patērē gāzes aparāti, un ņemot vērā to darbības vienlaicīguma koeficientu:

$$Q_d^h = \sum_{i=1}^m K_{sim} \times q_{nom} \times n_i, \quad (2.2)$$

kur  $Q_d^h = \sum_{i=1}^m$  - lielumu  $K_{sim} q_{nom} n_i$  reizinājumu summa no  $i$  līdz  $m$ ;

$K_{sim}$  - vienlaicīguma koeficients, dzīvojamām mājām;

$q_{nom}$  - aparāta vai aparātu grupas nominālais gāzes patēriņš no aparātu pases datiem vai tehniskā raksturojuma, m<sup>3</sup>/h;

$n_i$  - vienāda tipa aparātu vai aparātu grupu skaits, gab;

$m$  - aparātu vai aparātu grupu tipu skaits, gab.

Aprēķinot maksimālos stundas dabasgāzes patēriņus jāņem vērā uzstādīto iekārtu tips (gāzes pavards – četrdegļu, divdegļu), to skaits, kas uzstādīti individuālās dzīvojamās mājās un daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās konkrētās apbūves teritorijās.

Pašlaik spēkā esošajā Latvijas Valsts standartā LVS 417:2011 [46], līdzīgi kā iepriekš aprakstītajos normatīvajos dokumentos, individuālajām, daudzdzīvokļu dzīvojamām mājām,

komercuzņēmumu, komunālo un sabiedrisko pakalpojumu uzņēmumiem gāzes patēriņu stundā  $Q_d^h$  ( $m^3/h$ ) aprēķina pēc formulas (2.2.), summējot nominālo gāzes patēriņu, ko patērē gāzes aparāti, papildus ņemot vērā to darbības vienlaicīguma koeficientu, skatīt 2.8 tabulu.

2.8.tabula

Vienlaicīguma koeficients vienāda tipa gāzes aparātu vienlaicīgas darbības piemērošanai

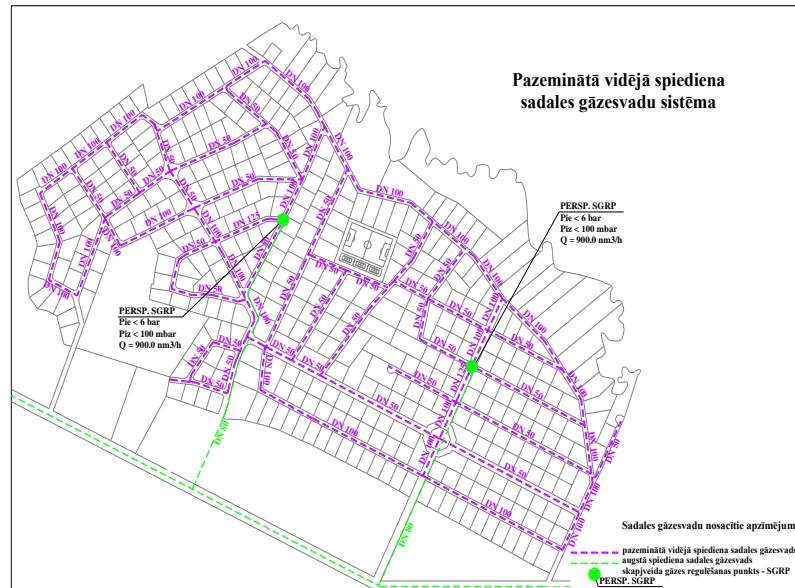
Dzīvokļu skaits	Vienlaicīguma koeficients atkarībā no dzīvojamā mājā uzstādītās gāzes iekārtas			
	4 degļu plīts	2 degļu plīts	4 degļu plīts un caurteces ūdenssildītājs	2 degļu plīts un caurteces ūdenssildītājs
1	1	1	0,700	0,750
5	0,290	0,480	0,400	0,375
10	0,254	0,263	0,340	0,315
50	0,223	0,210	0,215	0,193
100	0,210	0,202	0,185	0,163
400	0,180	0,170	0,150	0,135
Tilpuma ūdenssildītājiem, apkures katliem vienlaicīguma koeficients - 0,85 neatkarīgi no dzīvokļu skaita				

Analizējot dabasgāzes patēriņa režīmus mājāsaimniecībās laika periodā, secināts, ka vienlaicīguma koeficients ir atkarīgs no uzstādīto iekārtu tipa, jo lielāks vienāda tipa gāzes aparātu skaits, jo mazāks ir vienlaicīguma koeficients.

**Individuālo dzīvojamo māju** apbūves rajona, kurā plānotas 430 individuālās dzīvojamās mājas, dabasgāzes maksimālā stundas patēriņa aplēses shēmas paraugs attēlots 2.6. attēlā. Pielietojot (2. 2) formulu un 2.8 tabulu, atbilstoši LVS 417:2011 [43] un 2. nodaļā aprakstītajiem nosacījumiem var aprēķināt dabasgāzes maksimālo gāzes patēriņu stundā individuālo dzīvojamo māju ciematam. Aprēķinā tiek piemērots vienlaicīguma koeficientu vienāda tipa gāzes aparātiem (430 gāzes pavardiem vienlaicīguma koeficients - 0,18, skatīt 2.8.tabulu).

Gāzes patēriņš vienai individuālajai dzīvojamai mājai aprēķināts, pamatojoties uz šādiem noteikumiem:

1. gāzes patēriņš 4 degļu pavardam –  $1,4 m^3/h$ ;
2. gāzes patēriņš individuālās dzīvojamās mājas apkurei un karstajam ūdenim ar apkurināmo platību  $\sim 250 m^2$  ir  $35 kW$  ( $0,135 kW$  uz  $1 m^2$ ), tas ir -  $4.0 m^3/h$ .



2.6. att. Dabasgāzes patēriņu aprēķinu shēma individuālās apbūves rajonam (paraugs)

Pamatojoties uz augstāk minēto, aprēķina gāzes maksimālo stundas patēriņu individuālajām dzīvojamām mājām:

$$Q_d^h = \sum_{i=1}^m (1,4 \times K_{sim} + 0,85 \times 4,0) \times n_i,$$

kur  $K_{sim}$  - vienlaicības koeficients;

$n_i$  - individuālo dzīvojamo māju skaits, gab;

0.85 - vienlaicības koeficients atbilstoši 2.8 tabulai.

Līdz ar to var aprēķināt vienas individuālās dzīvojamās mājas (ar apkurināmo platību  $250 \text{ m}^2$ ) gāzes maksimālo stundas patēriņu:

$$Q_1 = (1,4 \times 1 + 0,85 \times 4,0) \times 1 = 4,80 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Lai noteiktu individuālā dzīvojamā rajona kopējo gāzes patēriņu ir pieņemts, ka tiks gazificētas 70% no kopējo māju skaita. Kopējais 430 individuālo dzīvojamo māju rajona (ar apkurināmo platību  $250 \text{ m}^2$ ) gāzes maksimālais stundas patēriņš kopā ir:

$$Q_{430} = (1,4 \times 0,18 + 0,85 \times 4,0) \times 430 = 1580 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

**Daudzdzīvokļu dzīvojamo māju** dabasgāzes patēriņš ir ļoti mainīgs laika periodā, jo dabasgāzi patērējošo iekārtu darbība ir periodiska. Dabasgāzes patēriņš atkarīgs no dzīvokļu daudzuma, kas pievienoti stāvvadiem, aprēķinos piemēro vienlaicīguma koeficientu (tabula 2.8) slodze izlīdzinās un dabasgāzes plūsma paliek vienmērīgāka .

Pēdējos gados Latvijā strauji pieaug pieprasījums izsniegt gāzapgādes tehniskos noteikumus gazificēto daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku atsevišķo dzīvokļu individuālas lokālās gāzes apkures iekārtas uzstādīšanai. Daudzdzīvokļu dzīvojamo māju kopīpašniekiem tajā skaitā dzīvokļu īpašnieki, kuru nekustamajos īpašumos ir cietā kurināmā siltumapgādes sistēmas vai arī neapmierina esošā centralizētā siltumapgādes sistēma, vēlas veidot lokālas gāzes apkures sistēmas, atsakoties no centralizētās siltumapgādes savam īpašumam [9,10]. Tā rezultātā gāzes apkures ierīkošana daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku atsevišķos dzīvokļos saistīta ar ievērojamu slodzes pieaugumu esošajos iekškvartāla, ielu zemā spiediena sadales gāzesvados un jo īpaši pievados ēkām un to stāvvados. Minētajās teritorijās nepieciešama esošo GRP (SGRP) caurplūdes palielināšana.

Sērijveida daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku rajonu, jauktas apbūves (atsevišķu daudzdzīvokļu ēku, individuālo dzīvojamo māju) un individuālo dzīvojamo māju rajonu gāzapgādei sešdesmitajos, astoņdesmitajos gados tika plānoti un izbūvēti zemā spiediena ielu, iekškvartāla sadales gāzesvadi un pievadi atbilstoši nepieciešamajiem gāzes patēriņiem, kuros aprēķināja pēc tā laika normatīvajiem dokumentiem, celtniecības normām un noteikumiem. Lai nodrošinātu jauno dabasgāzes lietotāju pieslēgšanu, kā arī esošo lietotāju nepieciešamās jaudas palielināšanu [9,10], nepieciešams sadales gāzesvadu hidrauliskais aprēķins [43], izvērtējot pieļaujamos spiediena zudumus, īpaši zemā spiediena sadales gāzesvadiem, jo zemā spiediena ielu, daudzdzīvokļu iekškvartālu sadales gāzesvadi un pievadi projektēti un būvēti atbilstoši institūta “Ленгипроинжпроект” izstrādātajām un apstiprinātām perspektīvām gāzapgādes shēmām, kur nepieciešamie gāzes patēriņi daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku rajonos, atbilstoši tā laika normatīvajiem aktiem, tika plānoti tikai gāzes pavardu nodrošināšanai.

Šobrīd esošie zemā spiediena ārējie sadales gāzesvadi ir ievērojami noslogoti un spiediena kritumi tajos sāk pārsniegt normatīvi pieļaujamos. Lai nodrošinātu daudzdzīvokļu dzīvojamo ēku teritorijās esošo gāzes lietotāju un iespējamo gāzes lietotāju gāzes apgādes sistēmas gāzes piegādes stabilitāti un iekārtu ekspluatācijas drošību, nepieciešams veikt esošās gāzapgādes sistēmas renovāciju ar iespēju paaugstināt spiedienu līdz 100 mbar sadales gāzesvados.

**Rūpniecības un lauksaimniecības uzņēmumu dabasgāzes lietotājiem**, spēkā esošais standarts LVS 417:2011 [46] nosaka, ka gāzes patēriņu stundā  $Q_d^h$  ( $m^3/h$ ) aprēķina no instalētām katla jaudām, pamatojoties uz uzstādāmo iekārtu pases datiem (kW) vai tehniskā raksturojuma informācijas. Maksimālo stundas patēriņu aprēķina, ņemot vērā lietderības koeficientu, kad notiek pāreja uz gāzveida kurināmo, vai arī pēc kurināmā patēriņa

tehnoloģiskajām normām, ko nosaka saskaņā ar norādēm atbilstošos būvnormatīvos, paredzot rūpniecības un lauksaimniecības uzņēmumu un ražotņu attīstības perspektīvu.

### 2.3.2. Dabaszgāzes gada patēriņa aprēķināšana

Dabaszgāzes gada patēriņu katrai lietotāju grupai aprēķina perioda beigās, ņemot vērā attīstības perspektīvas, aprēķina perioda garumu, pamatojoties uz siltuma patēriņu aprēķiniem un siltumapgādes koncepciju [21, 22, 25, 32, 33, 34], kā arī lietotāju (objektu) - gāzes patērētāju perspektīvās attīstības plāniem [6, 20].

Latvijā (līdz 2011. gadam), Lietuvā, Krievijā un bijušajā Padomju Savienībā konkrēts dabaszgāzes gada patēriņa lielums lietotājiem, tika noteikts normatīvajos dokumentos [45, 83]. Savukārt Igaunijā un Vācijā dabaszgāzes gada patēriņu aprēķina pamatojoties uz:

- iespējamā dabaszgāzes lietotāja objekta siltuma patēriņa aprēķiniem, piemērojot koeficientus pārejai uz dabaszgāzi,
- izmantojot iepriekšējo kalendāro gadu faktiskos dabaszgāzes gada patēriņus, katrai dabaszgāzes lietotāju grupai.

Pamatojoties uz Vācijas Federatīvās Republikas normām [DIN V 4701-10:2001-02] gada primārās enerģijas patēriņu aprēķina šādi:

$$Q_p \geq (Q_{apk} + Q_{k.ū}) \times e_p, \quad (2.3)$$

kur	$Q_p$	-	primārās enerģijas patēriņš, kW/a;
	$Q_{apk}$	-	nepieciešamais enerģijas patēriņš apkurei gadā, kW/a;
	$Q_{k.ū}$	-	nepieciešamais enerģijas patēriņš karstā ūdens sagatavošanai, kW/a;
	$e_p$	-	iekārtas izmantošanas koeficients no [DIN V 4701-10]

Pamatojoties uz Vācijas Federatīvās Republikas Enerģijas taupības likumu noteikti šādi īpatnējie siltuma patēriņa ( $\text{kW/m}^2$ ) lielumi esošajām ēkām:

- atsevišķām vienas un divu ģimeņu mājām maksimāli  $0,130 \text{ kW/m}^2$ ;
- daudzdzīvokļu dzīvojamām mājām maksimāli  $0,100 \text{ kW/m}^2$ .

Dzīvojamām mājām, ar būtisku siltumizolācijas uzlabojumu, saskaņā ar jaunajiem siltuma izolācijas noteikumiem, pastāv sekojoši īpatnējie siltuma patēriņa ( $\text{kW/m}^2$ ) lielumi:

- atsevišķām vienas un divu ģimeņu mājām maksimāli  $0,100 \text{ kW/m}^2$ ;
- daudzdzīvokļu dzīvojamām mājām maksimāli  $0,070 \text{ kW/m}^2$ .

Vispārējam nepieciešamā siltuma daudzuma aprēķinam esošajām ēkām nepieciešami sekojoši lielumi:

- ēkas kopējā apkurināmā platība;
- veiktie siltumizolācijas pasākumi ēkai.

Ar šiem zināmajiem lielumiem var aprēķināt ēkai nepieciešamo siltuma daudzumu. Šim nolūkam tiek izmantots sekojošs vienādojums:

$$Q = A \cdot q \quad (2.4)$$

- kur,  $Q$  - siltuma patēriņš, kW;  
 $A$  - apsildāmā platība, m<sup>2</sup>;  
 $q$  - īpatnējais siltuma patēriņš saskaņā ar būves stāvokli vai veiktajiem siltumizolācijas pasākumiem, kW/m<sup>2</sup>.

Vācijas Federatīvajā Republikā aptuveni enerģijas patēriņa (karstā ūdens sagatavošanai) aptuveni aprēķiniem izmanto sekojošus karstā ūdens patēriņa daudzumus ar caurmēra temperatūru 45°C, ņemot vērā iedzīvotāju ieradumus:

2.9.tabula

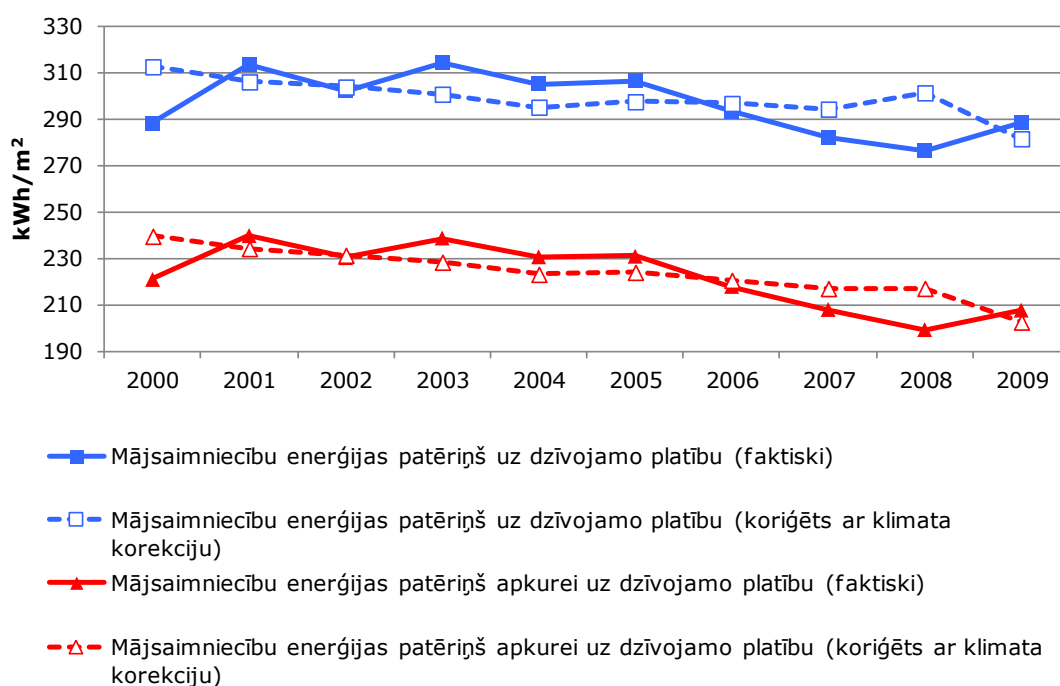
Karstā ūdens apgāde	Mazs patēriņš l/iedzīv.	Liels patēriņš l/iedzīv.
Sociālo dzīvokļu būves	25	40
Vispārējās dzīvokļu būves	30	45
Ekskluzīvi un privātdzīvokļi	40	50
Vienas ģimenes mājas	45	60
Villa	50	95
Bērnunami	40	50
Veco ļaužu pansionāti	25	40
Kopmītnes	30	40
Slimnīcas	75	85
Sanatorijas un invalīdu pansionāti	60	80

Piemērs iespējamā enerģijas daudzuma (karstā ūdens uzsildīšanai) aprēķinam gadā ( $B_{HaWW}$ ), ja doti šādi aprēķinu dati:

- mājsaimniecība ar 4 personām;
- nepieciešamā enerģija karstā ūdens sagatavošanai 2,5 kWh/iedzīv (vidējais patēriņš);
- lietošanas dienas 330;
- zudumi caurulēs un ūdenssildītājā 1,5 kWh/d;
- gada lietderības koeficients karstā ūdens sagatavošanai ar zemas temp. sildītāju 0,9.

$$B_{HaWW} = (4 \text{ pers.} \times 2,5 \text{ kWh/pers.d} \times 330 \text{ d}) + (1,5 \text{ kWh/d}) \times 330 \text{ d} = 0,35 \text{ kWh/m}^3 \times 0,90 = 410 \text{ m}^3/\text{a}$$

Latvijā visas mājsaimniecības kopā vidēji patērē 38% līdz 40% no kopējā Latvijas enerģijas patēriņa. Vislielākais enerģijas patēriņš bija līdz 1991. gadam pēc tipveida projektiem uzbūvētajās dzīvojamās mājās. Vidējais mājsaimniecību enerģijas patēriņš dzīvojamai platībai ar klimata korekciju 2009. gadā bija 282 kWh/m<sup>2</sup>, bet vidējais mājsaimniecību enerģijas patēriņš apkurei dzīvojamai platībai ar klimata korekciju bija 203 kWh/m<sup>2</sup>, kas ir līdzīgs visās Baltijas valstīs, taču ievērojami pārsniedz Eiropas Savienības vidējos rādītājus. Eiropā mājsaimniecības patērē 30 % no kopējā enerģijas apjoma, 16 % no mājsaimniecībās patērētās enerģijas tiek izmantots nelietderīgi [22, 23, 32, 65].



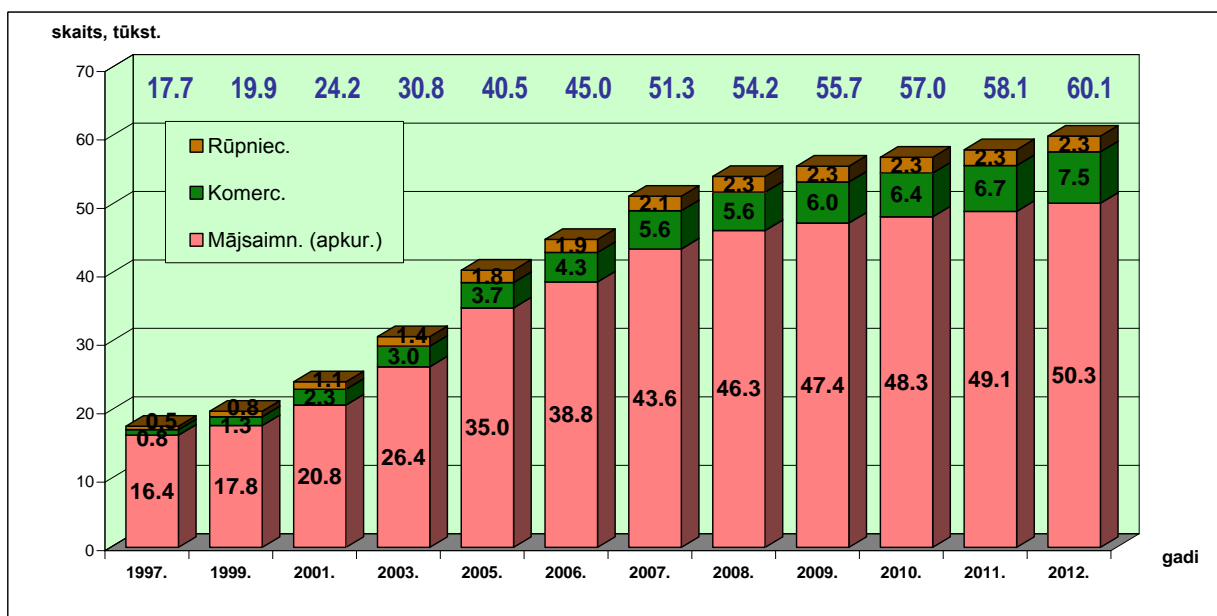
2.7. att. Mājsaimniecību enerģijas patēriņš dzīvojamai platībai, kWh/m<sup>2</sup>

Šobrīd spēkā esošais Latvijas būvnormatīvs LBN 002-01 „Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika” par ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehniku ir pieņemts 2001. gadā un nosaka salīdzinoši viegli sasniedzamus rādītājus ar tirgū pieejamām būvniecības tehnoloģijām. Eiropas Savienības dalībvalstu pienākums ir regulāri pārskatīt minimālās ēku energoefektivitātes prasības laikposmos, kas nav ilgāki par pieciem gadiem.

## 2.4. Dabsgāzes gada patēriņu pētījumu analīze

Laika posmā no 2000. gada līdz 2010. gadam izmaiņas ekonomikā ienesušas korekcijas dabasgāzes patēriņa sadalījuma struktūrā, dabasgāzes gada patēriņš mājsaimniecībām

pieaudzis no 6% līdz 9 % no kopējā dabasgāzes gada apjoma, savukārt Jūrmalas pilsētā mājsaimniecības patērē 33% no kopējā pilsētas gada patēriņa. Mājsaimniecību skaits, kas dabasgāzi izmanto apkurei, karstā ūdens sagatavošanai, laika periodā no 1997. līdz 2010. gadam pieaudzis par 21,9 tūkstošiem. Dabasgāzes lietotāju skaita pieaugums (tūkst.), laika periodā no 1997. līdz 2010. gadam atspoguļots attēlā 2.8. [4, 39]



2.8.att. Dabasgāzes lietotāju skaits laika periodā no 1997. līdz 2010. gadam (tūkst lietotāju)

Pēdējo piecu gadu laikā Latvijā no visiem jaunajiem pieslēgumiem sadales gāzesvadu sistēmai lielākais pieslēgumu skaits ir mājsaimniecības (70% līdz 80%), orientējoši tas ir viens tūkstotis pieslēgumu gadā. Lai nodrošinātu jauno klientu pieslēgumu esošajai vai perspektīvai gāzapgādes sistēmai, nepieciešams izstrādāt gāzapgādes plānojumu, konkrētai individuālo vai daudzdzīvokļu dzīvojamo māju apbūves teritorijai. Gāzapgādes plānojuma izstrādes nosacījumus aprakstīju promocijas darba pirmajā daļā.

Latvijā deviņdesmito gadu beigās Latvijas Zinātņu akadēmijas Fizikālās enerģētikas institūta kolektīvs prof. N.Zeltiņa un prof. V.Zēberga vadībā veicis pētījumu par siltuma patēriņa normu un attiecīgu gāzes patēriņa normu pielietojumu gāzes tīklu aprēķiniem [74]. Šajā pētījumā autori analizējuši dabasgāzes patēriņa normas [83] iedzīvotājiem un salīdzinājuši ar iegūtajiem mērījumu datiem, kas tika iegūti viena kalendārā gada laikā no 1998. gada aprīļa līdz 1999. gada martam. Mērījumu dati, atbilstoši tajā laikā spēkā esošajiem normatīviem [83], tika aprēķināti šādām trīs mājsaimniecību dabasgāzes lietotāju grupām:

- gāzes plīts un centralizēta apgāde ar karsto ūdeni;

- gāzes plīts un gāzes ūdenssildītājs (nav centralizētas apgādes ar karsto ūdeni);
- gāzes plīts (nav centralizētas apgādes ar karsto ūdeni, nav gāzes ūdenssildītāja).

Aprēķinos tika pieņemts, ka vienā dzīvoklī dzīvo trīs cilvēki, jo tika salīdzinātas siltuma, atbilstoši dabasgāzes patēriņa normas, kas nosaka patēriņu vienam iedzīvotājam, ar faktiskajiem dabasgāzes patēriņiem, kas tika uzskaitīti gāzes regulēšanas punktos (GRP) Nr.85, Nr.86, Nr.103, Nr.73. Katra GRP iegūtie rādījumi tika dalīti ar atbilstošo dzīvokļu jeb abonētu skaitu un pieņemto iedzīvotāju skaitu dzīvoklī.

Deviņdesmito gadu beigās ne visos dzīvokļos bija uzstādīti skaitītāji, līdz ar to tika aprēķināts vidējais dabasgāzes patēriņš katrai iedzīvotāju – patērētāju grupai.

Pētījuma [74] rezultātā tika secināts, ka faktiskie dabasgāzes patēriņi ir par 20% līdz 40% zemāki kā tā laika normatīvajos dokumentos - celtniecības normās un noteikumos [83] un Dzīvokļu komunālās saimniecības ministrijas normās noteiktie normatīvie dabasgāzes patēriņi, pētījuma dati apkopoti 2. 10 tabulā.

2.10. tabula

Dabasgāzes gada patēriņa salīdzinājums iedzīvotājiem

Lietotāju grupa (karstā ūdens apgādes veids)	Gāzes patēriņš vienam iedzīvotājam (m <sup>3</sup> /a)		
	Celtniecības normas un noteikumi*	Dzīvokļu komunālās saimniecības ministrijas normas **	Faktiskais patēriņš
Gāzes plīts un centralizēta apgāde ar karsto ūdeni	82	96	46
Gāzes plīts un gāzes ūdenssildītājs	240	198	141
Gāzes plīts un nepastāv nekāda veida apgāde ar karsto ūdeni	136	132	106

Piezīmes:

\* - celtniecības normas un noteikumi (Строительные нормы и правила СССР „Газоснабжение” СНиП 2.04.08-87\*) [83];

\*\* - Latvijas Dzīvokļu komunālās saimniecības ministrijas un „Goskomgaz” 1984. gada 20. decembrī apstiprinātās „Dabas gāzes diferencētās patēriņa normas sadzīves vajadzībām iedzīvotājiem”;

Autori secināja, ka būtisks dabasgāzes patēriņa samazinājums iespējams pēc skaitītāju ieviešanas dzīvokļos, kas ļaus dabasgāzes lietotājiem kontrolēt dabasgāzes patēriņu, īpaši

pieaugot dabasgāzes cenas pieaugumam. Veikto pētījumu rezultāti netika ievērtēti Latvijas Valsts standarta LVS 417:2002 [45] sagatavošanā 2002. gadā.

Lai aprēķinātu vidējo dabasgāzes gada patēriņu mājstaiņniecībām dažādām dabasgāzes lietotāju grupām (uzskaitītas promocijas darba 2.2. nodaļā), izmantoti akciju sabiedrības „Latvijas Gāze” šādu informāciju sistēmu dati:

- klientu datu bāze (LOGS) - par esošajiem un potenciālajiem klientiem;
- norēķinu datu bāze (PUNS) – par norēķiniem, uzstādītām gāzapgādes iekārtām;
- ģeogrāfiskās informācijas sistēma (ĢIS) – par esošo pārvades un sadales gāzesvadu sistēmu parametriem.

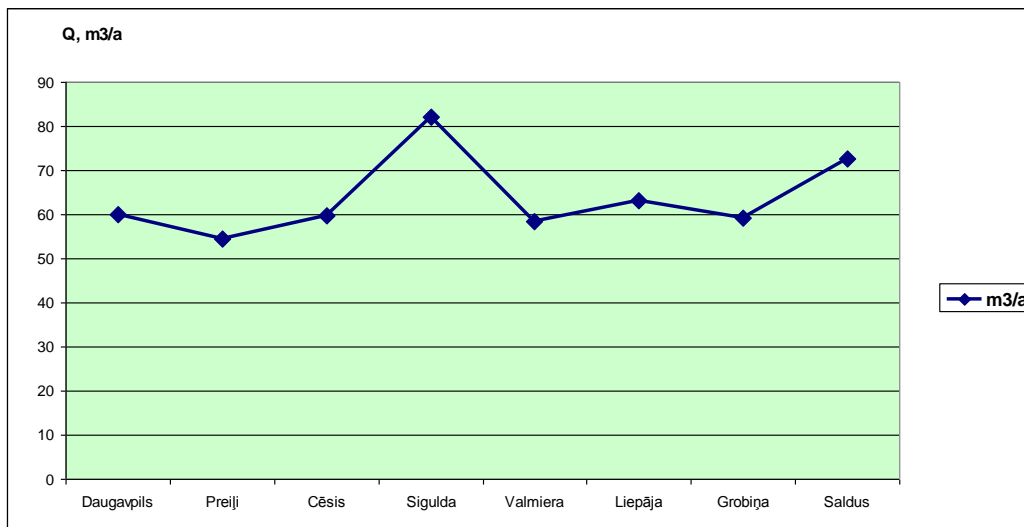
2010. gada kopējie dabasgāzes patēriņa dati mājstaiņniecībām dabasgāzes lietotāju grupām aprēķināti izmantojot matemātiskās statistikas metoði.

Pētījuma dati par vidējo dabasgāzes gada patēriņu mājstaiņniecībām daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās Latvijā, kas dabasgāzi izmanto pavardos – ēdiena gatavošanai, apkopoti 2.11. tabulā un atspoguļoti 2.9. attēlā.

2.11 tabula

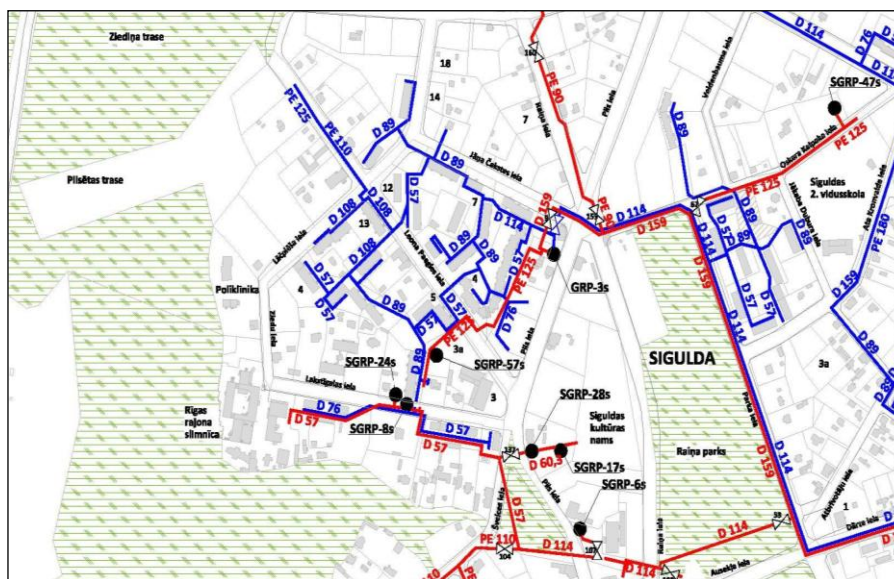
Dabasgāzes gada patēriņš ( $m^3/h$ ) dabasgāzes lietotājam vienā dzīvoklī  
Daugavpils, Cēsu un Liepājas iecirkņu darbības zonās

Teritorija	Gāzes pavardu skaits gab.	Gada patēriņš tūkst. $m^3/a$	Vidējais gada patēriņš dzīvoklim tūkst. $M^3/h$
<b>Daugavpils iecirknis</b>			
Daugavpils pilsēta	27 907	1 677 326	60,10
Preiļu pilsēta	2 380	129 814	54, 54
<b>Kopā Daugavpils iecirknī</b>	<b>30 287</b>	<b>1 807 140</b>	<b>59,67</b>
<b>Cēsu iecirknis</b>			
Cēsu pilsēta, Cēsu, Priekuļu, Līgatnes, Amatas novadi	3971	237 070	59, 70
Siguldas pilsēta, Siguldas novads	3857	316 920	82,16
Valmieras pilsēta, Valmieras, Burtnieku, Kocēnu, Smiltenes novadi	5986	350 251	58,51
<b>Kopā Cēsu iecirknī</b>	<b>13 814</b>	<b>904 241</b>	<b>65, 46</b>
<b>Liepājas iecirknis</b>			
Liepājas pilsēta, Liepājas novads	24219	1 530 745	63, 20
Grobiņas pilsēta	882	52 304	59,30
Saldus pilsēta, Saldus novads	2087	151 485	72,59
<b>Kopā Liepājas iecirknī</b>	<b>27 188</b>	<b>1 734 534</b>	<b>63,80</b>



2.9. att. Vidējais dabasgāzes gada patēriņš ( $\text{m}^3/\text{a}$ ) dabasgāzes lietotājiem (pavardi) vienā dzīvoklī Daugavpils, Cēsu un Liepājas iecirkņu darbības zonās

Lai noteiktu korektu dabasgāzes patēriņu turpmākajiem sadales sistēmu parametru aprēķiniem, promocijas darbā tika veikti dabasgāzes patēriņu pētījumi dažādās Latvijas teritorijās. Viens no pētījumiem tika veikts daudzdzīvokļu dzīvojamo māju grupai Siguldā, Leona Paegles ielā 7a, 11 un Kaijas ielā 6, kopā 73 dzīvokļos, esošās gāzapgādes sistēmas shēmu skatīt 2.10. attēlā. Papildus tika apzināts faktiskais iedzīvotāju skaits katrā dzīvoklī, kopā 172 iedzīvotāji. Katru mēnesi dzīvokļos tika uzskaitīti dabasgāzes skaitītāju rādījumi, aprēķināts gada dabasgāzes patēriņš katrā mājāsaimniecībā un izdalot ar iedzīvotāju skaitu ģimenē tika iegūti faktiskie dabasgāzes mēneša patēriņi uz vienu iedzīvotāju un salīdzināti ar tajā laikā spēkā esošo standartu LVS 417:2002 [42].



2.10. att. Esošā zemā spiediena gāzapgādes sistēma Siguldā, L.Paegles un Kaiju ielās

Dabaszgāzes patēriņš mājsaimniecībām daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās ir ļoti mainīgs laika periodā, jo dabaszgāzi patērējošo iekārtu darbība diennakts laikā ir periodiska. Palielinoties mājsaimniecībās sadzīves iekārtu skaitam (automātiskās veļas mašīnas, plītis, cepeškrāsnis), kas darbojas ar elektrību [21,22], būtiski samazinās dabaszgāzes patēriņš daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās. Mājsaimniecību elektrības patēriņš Latvijā laika posmā no 1998. gada līdz 2008. gadam palielinājies par 182 %, kas ir otrais lielākais elektrības patēriņa pieaugums Eiropas Savienībā aiz Kipras (186%). Savukārt elektrības patēriņš vienam iedzīvotāju (0,9 MW/h) ir piektais zemākais Eiropas Savienībā (zemāks elektrības patēriņš vienam iedzīvotājam aiz Latvijas Republikas ir Lietuvai, Polijai, Rumānijai, Kiprai) [5].

Dabaszgāzes patēriņa samazinājuma aprēķinu rezultāti Siguldā Leona Paegles ielā 7a, 11, Kaijas ielā 6 un iegūtie apkopoti 2.12 tabulā.

2.12. tabula

Faktiskie un aprēķinātie dabaszgāzes gada patēriņi daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās  
Siguldā, Leona Paegles ielā 7a, 11 un Kaijas ielā 6

Lietotāju grupa – mājsaimniecības	Gāzes patēriņa rādītājs	Gāzapgādes shēma aprēķinātais dabaszgāzes patēriņš (m <sup>3</sup> /a)	Faktiskais vidējais dabaszgāzes patēriņš vienam iedzīvotājam (m <sup>3</sup> /a)		
			2007.g.	2008.g.	2009.g.
Dzīvoklī gāzes pavadis, centralizēta apgāde ar karsto ūdeni	vienam iedzīvotājam gadā	120,00	32,8	27,4	23,6

Analizējot dabaszgāzes patēriņa režīmus dzīvokļos laika periodā, secināju, ka dabaszgāzi patērējošo iekārtu darbības vienlaicīguma koeficients ir atkarīgs no uzstādīto iekārtu skaita un tipa dzīvojamā mājā. No augstāk minētā izriet, ka aprēķinot dabaszgāzes patēriņu jāņem vērā uzstādīto iekārtu tips (pavadis, caurteces ūdens sildītājs, apkures iekārta), to skaits, kas uzstādīti daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās un pievienoti gāzesvada stāvvadam, pievadam. Vēsturiski dabaszgāzes maksimālā stundas patēriņa aprēķiniem mājsaimniecības lietotājiem daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās pieņēma, ka vidēji vienā dzīvoklī dzīvo 4 iedzīvotāji. Pamatojoties uz Latvijas Republikas Statistikas pārvaldes datiem pašlaik vidēji vienā mājsaimniecībā ir ne vairāk kā trīs iedzīvotāji.

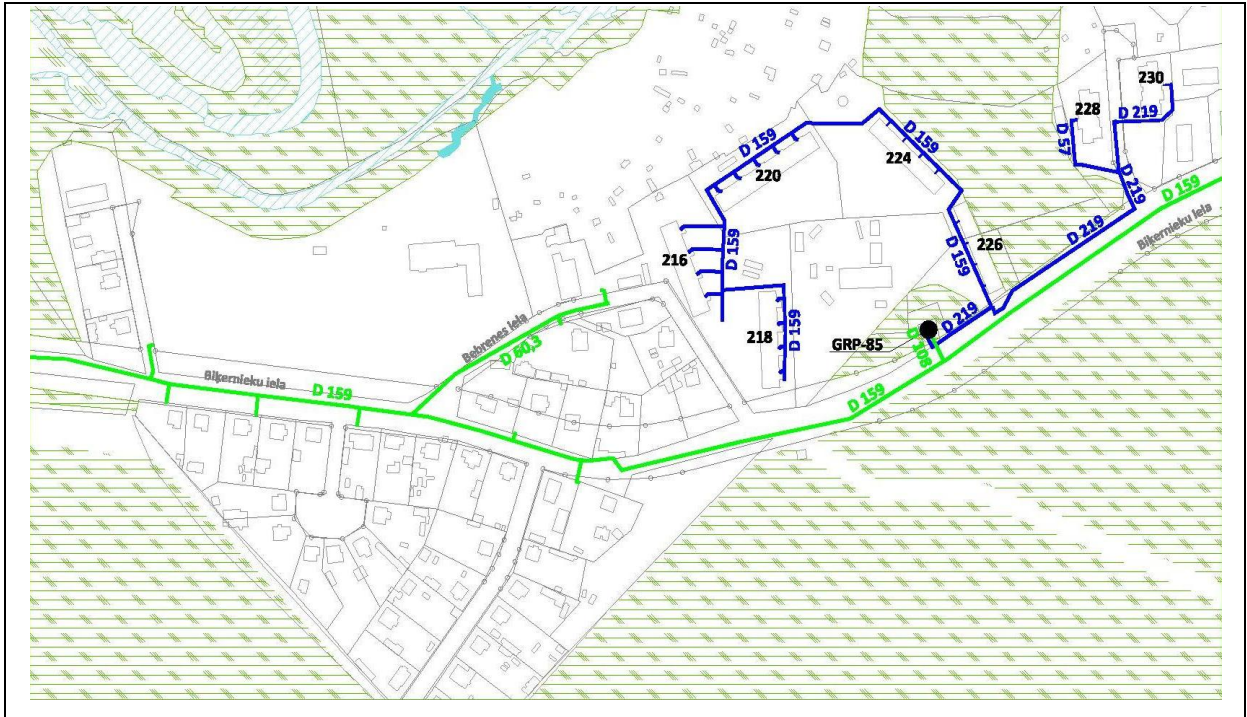
Izmantojot akciju sabiedrības „Latvijas Gāze” informācijas sistēmu PUNS, kurā tiek uzkrāti statistikas dati par uzstādītajām iekārtām, ka arī patērēto dabasgāzi, mēnesī, gadā, tika iegūta informācija par faktiskajiem dabasgāzes mēneša un gada patēriņiem šādām daudzdzīvokļu dzīvojamo māju rajoniem. Pamatojoties uz standartā LVS 417:2002 [45] noteikto aprēķināts dabasgāzes gada patēriņš dzīvoklī pieņemot, ka katrā dzīvoklī dzīvo trīs iedzīvotāji. Faktiskais un gāzapgādes shēmās aprēķinātais dabasgāzes gada patēriņa salīdzinājums uzrādīts - Rīgā, Biķernieku ielā, skatīt, 2.11 attēlu un 2.13 tabulu, Salaspilī, Nometņu un Griezes ielās, skatīt 2.12.attēlu un 2.14.tabulu.

Daudzdzīvokļu dzīvojamo māju rajona Rīgā Biķernieku ielā Nr. 216, 218, 220, 224, 226, 228, 230 gāzapgādi nodrošina gāzes regulēšanas punkts (GRP) Nr. 85. Dabasgāze tiek izmantota sadzīves vajadzībām pavaros ēdiena gatavošanai.

2.13. tabula

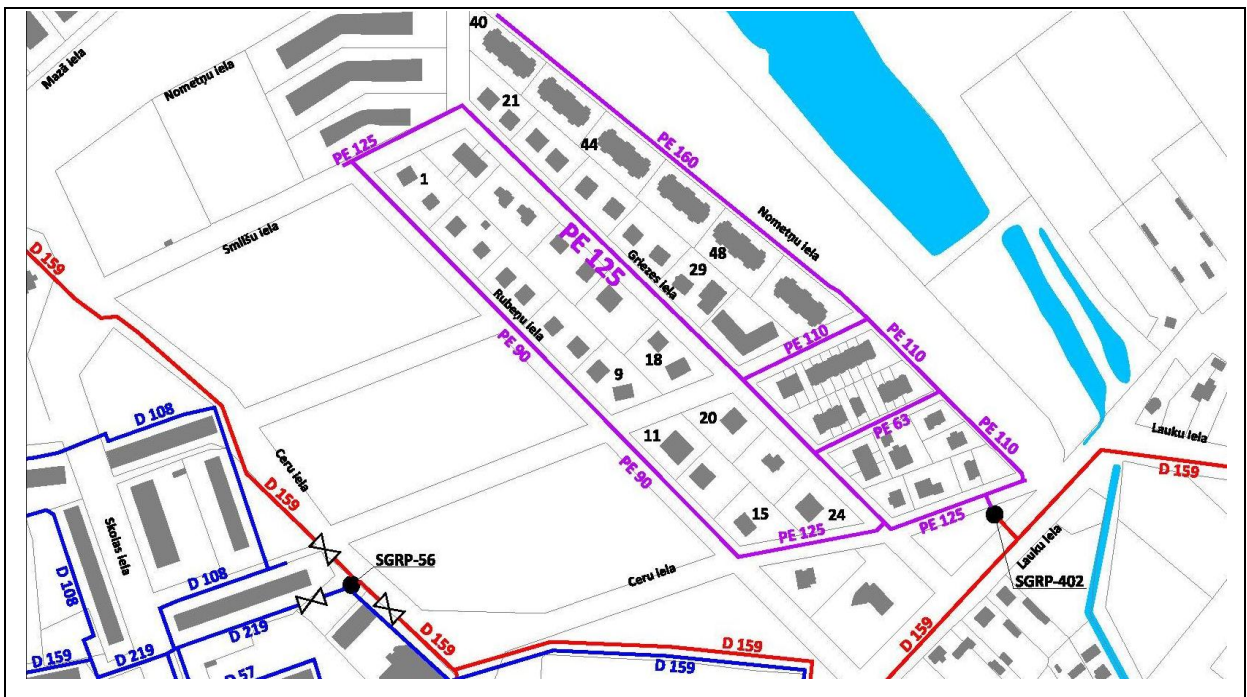
Faktiskā un aprēķinātā dabasgāzes gada patēriņa salīdzinājums daudzstāvu dzīvojamām mājām Rīgā, Biķernieku ielā Nr.216, 218, 220, 224, 226, 228, 230

Nr. p.k.	Adrese	Dzīvokļu skaits	Dabasgāzes gada patēriņš (pavardiem) (m <sup>3</sup> /a)			
			Aprēķinātais		Faktiskais	
			Dzīvojamai mājai	Vienam dzīvoklim	Dzīvojamai mājai	Vidējais vienam dzīvoklim
1.	Biķernieku iela 216	56	23 520	420	4077	56
2.	Biķernieku iela 218	57	23 940	420	4529	79
3.	Biķernieku iela 220	75	31 500	420	5624	75
4.	Biķernieku iela 224	55	23 100	420	4373	79
5.	Biķernieku iela 226	55	23 100	420	4039	73
6.	Biķernieku iela 228	39	16 380	420	2199	56
7.	Biķernieku iela 230	39	16 380	420	2084	56
	Kopā	376	157 920	420	26 925	73



2.11. att. Esošā zemā spiediena gāzes apgādes sistēma Rīgā, Biķernieku ielā

Daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās Salaspilī, Nometņu ielā 40, 42, 44, 46, 48, 50 un Griezes ielā 31 katrā dzīvoklī uzstādīti pavardi ēdiena gatavošanai, kombinētie gāzes katli apkurei un karstā ūdens uzsildīšanai. Ēkas nodotas ekspluatācijā 2009. gadā.

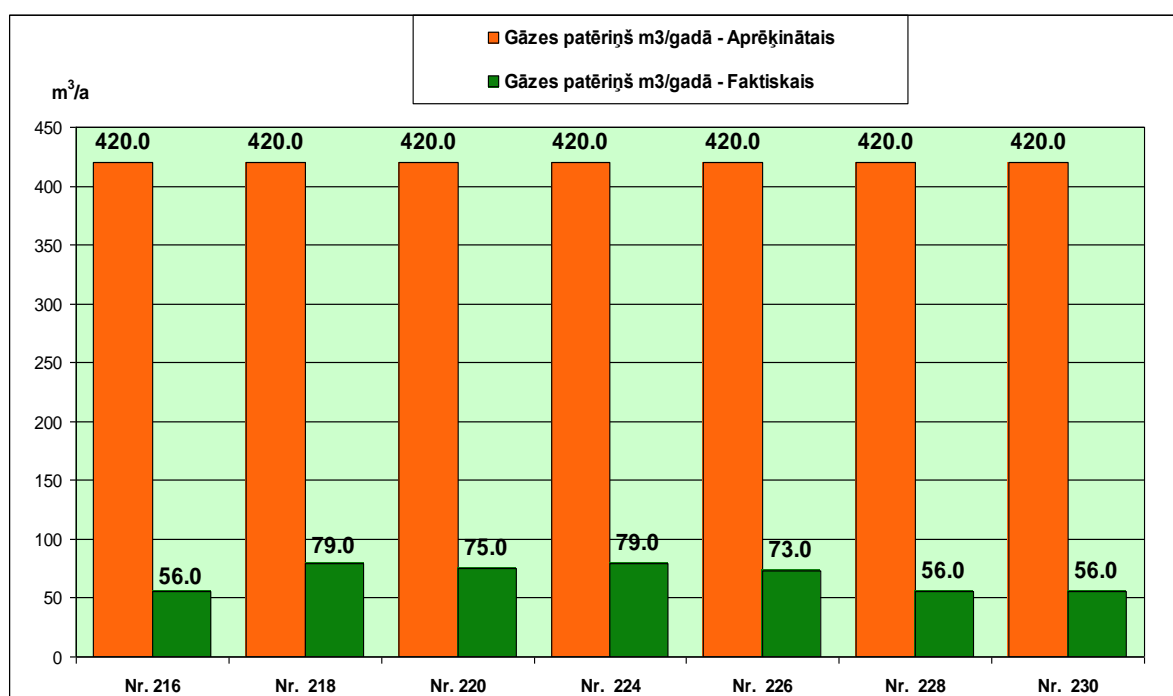


2.12 att. Esošā vidējā spiediena gāzes apgādes sistēma Salaspilī, Nometņu un Griezes ielās

Faktiskā un aprēķinātā dabasgāzes gada patēriņa salīdzinājums daudzstāvu dzīvojamām mājām Salaspilī, Nometņu un Griezes ielās

Nr. p.k.	Adrese	Dzīvokļu skaits	Dabasgāzes gada patēriņš (pavardiem, apkurei) (m <sup>3</sup> /a)			
			Aprēķinātais		Faktiskais	
			Dzīvojamai mājai	Vienam dzīvoklim	Dzīvojamai mājai	Vidējais vienam dzīvoklim
1.	Nometņu iela 40	28	42 000	1 500	22 947	820
2.	Nometņu iela 42	28	42 000	1 500	23 748	848
3.	Nometņu iela 44	28	42 000	1 500	20 218	722
4.	Nometņu iela 46	28	42 000	1 500	23 868	852
5.	Nometņu iela 48	26	39 000	1 500	19 478	749
6.	Nometņu iela 50	18	27 000	1 500	19 559	1087
7.	Griezes iela 31	7	10 500	1 500	8 772	1253
	<b>Kopā</b>	<b>163</b>	<b>244 500</b>	<b>1 500</b>	<b>138 590</b>	<b>850</b>

Pamatojoties uz iegūtajiem datiem, skatīt tabulu 2.13., aprēķinātais vidējais un faktiskais dabasgāzes patēriņš vienam dzīvoklim gadā daudzstāvu dzīvojamās mājās Rīgā, Biķernieku ielā Nr.216, 218, 220, 224, 226, 228, 230 atspoguļots 2.13. attēlā.



2.13. att. Faktiskais un aprēķinātais dabasgāzes gada patēriņu salīdzinājums dzīvoklim mājās Rīgā, Biķernieku ielā Nr.216, 218, 220, 224, 226, 228, 230

Izvērtējot pētījuma datus secināts [54], ka pieaugot inovatīvām tehnoloģijām dabasgāzes izmantošanā, kā arī paaugstinoties iekārtu lietderības koeficientiem, dabasgāzes gada patēriņi īpaši rūpniecības un lauksaimniecības uzņēmumiem samazinās, tajā skaitā mājsaimniecībās par 16%.

Pamatojoties uz promocijas darba izstrādes laikā veiktajiem pētījumiem Latvijas Valsts standartā LVS 417:2011 [26] apstiprināti šādi priekšlikumi:

- dabasgāzes patēriņu gadā  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{a}$ ) individuālajām, daudzdzīvokļu dzīvojamām mājām, sabiedriskām ēkām komercdarbībai un sadzīves pakalpojumiem rūpniecības un lauksaimniecības uzņēmumiem, nosaka pēc enerģijas patēriņa gadā, kas nepieciešams apkurei, ventilācijai, karstā ūdens sagatavošanai, tehnoloģijai, iespējams arī koģenerācijai, ņemot vērā lietderības koeficientu, pārejai uz gāzveida kurināmo, vai arī pēc nepieciešamā siltuma patēriņa;
- maksimālo dabasgāzes stundas gadā  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{a}$ ) individuālajām, daudzdzīvokļu dzīvojamām mājām, sabiedriskām ēkām komercdarbībai un sadzīves pakalpojumiem aprēķina, izmantojot iekārtu vienlaicīgas darbības koeficientu, skatīt formulu (2.1);

### **3. SADALES GĀZESVADU SISTĒMU PARAMETRU OPTIMIZĀCIJA**

#### **3.1. Gāzesvadu sistēmu aprēķināšanas teorētiskie pamati**

Lai nodrošinātu visu dabasgāzes lietotāju nepārtrauktu gāzapgādi, pie maksimālā gāzes patēriņa stundā ( $m^3/h$ ), jāaprēķina optimālie gāzesvadu sistēmu parametri (gāzesvadu diametri, spiediena zudumi, dabasgāzes plūsmas ātrums aprēķinu posmā), jāizvēlas izbūvējamā gāzesvada materiāls. Gāzesvadu hidrauliskie darba režīmi jāizvēlas pēc tādiem noteikumiem, lai maksimāli pieļaujamo gāzes zudumu gadījumā radītu ekspluatācijā ekonomiskāko un drošāko sistēmu, kas nodrošinātu gāzes regulēšanas iekārtu un lietotāju gāzes iekārtu darbības stabilitāti pieļaujamā spiediena zuduma diapazonā.

Promocijas darbā izvērtēti un salīdzināti Vācijas Federatīvās Republikas tehniskajos noteikumos “DVGW - Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches” Tehniskie noteikumi. Darba lapa GW 303-1 „Gāzesvadu un ūdensvadu tīklu aprēķināšana – 1. daļa – hidrauliskie pamatprincipi, tīkla modelēšana un aprēķināšana” [18, 19, 30] Latvijas [42, 43], Lietuvas [57], bijušās PSRS [83] un Krievijas Federācijas normatīvajos dokumentos [83, 85], noteiktos gāzapgādes sistēmu aprēķināšanas principus, sistēmu modelēšanas un dimensionēšanas nosacījumus optimālas gāzapgādes sistēmas plānošanai un projektēšanai.

Promocijas darbā noteikta gāzapgādes sistēmu diametru aprēķinu tehnoloģija:

- plānojamās gāzapgādes sistēmas modeļa –hidraulisko aprēķinu shēmu konstruēšana;
- visu lietotāju gāzes maksimālo stundas patēriņu aprēķināšana;
- dabasgāzes patēriņu sadalīšana konkrētā gāzesvadu sistēmas tīkla posmā, piemērojot lietotāju dabasgāzes patēriņa statisko vienlaicīguma principu, pamatojoties uz to, ka viena veida lietotāju grupa uzrāda vienādu patēriņa režīmu laika intervālā no vienas stundas līdz vienam gadam, skatīt 2.4.tabulu [42, 43, 57, 83, 85].

Esošo un projektējamo gāzesvadu sistēmu aprēķinus veic pielietojot promocijas darbā uzrādītās formulas, nomogrammas, tabulas, licencētas datorprogrammas (piemēram, Caddy, OptiPlan u.c.). Individuālo dzīvojamo māju apbūves teritorijām dabasgāzes patēriņus aprēķina 70 % māsaimniecībām no visas esošās apbūves. Izstrādājot sadales gāzesvadu sistēmu investīciju ekonomiskos aprēķinus (rentabilitātes aprēķinus) aprēķinos pieņem, ka dabasgāzes sistēmai pieslēgsies 60 % lietotāju no maksimālās apbūves. Jaunbūvējamās individuālo dzīvojamo māju apbūves teritorijās aprēķina, ka dabasgāzes sistēmai pieslēgsies 80% no plānojamās apbūves [3, 46, ].

Plānojot visu spiedienu gāzesvadu sistēmas rūpniecības, lauksaimniecības, sadzīves un komunālās saimniecības uzņēmumu, kā arī mājsaimniecību lietotāju gāzapgādes nodrošināšanai, gāzes spiediena zudums jāaprēķina atkarībā no lietotājam nepieciešamā gāzes spiediena pieslēguma vietā, ņemot vērā lietotāja uzstādāmo gāzes iekārtu un aparātu, drošības automātikas ierīču un siltumagregātu tehnoloģiskā režīma regulēšanas automātikas tehniskos raksturojumus.

Spiediena zudumus gāzesvada tīkla posmā aprēķina, izmantojot sekojošas formulas:

**vidējā un augstā spiediena tīkliem** pēc formulas:

$$P_s^2 - P_b^2 = \frac{P_0}{81 \times \pi^2} \times \lambda \times \frac{Q_0^2}{d^5} \times \rho_0 \times l = 1,2687 \times 10^{-4} \times \lambda \times \frac{Q_0^2}{d^5} \times \rho_0 \times l, \quad (3.1.)$$

**zemā spiediena tīkliem** pēc formulas:

$$P_s^2 - P_b^2 = \frac{10^6}{162 \times \pi^2} \times \lambda \times \frac{Q_0^2}{d^5} \times \rho_0 \times l = 626,1 \times 10^{-4} \times \lambda \times \frac{Q_0^2}{d^5} \times \rho_0 \times l, \quad (3.2.)$$

kur  $P_s$  - absolūtais spiediens gāzesvada sākumā, MPa;

$P_b$  - absolūtais spiediens gāzesvada beigās, MPa;

$P_0$  - =0,101325 (MPa);

$\lambda$  - hidrauliskās berzes koeficients;

$l$  - gāzesvada garums ar nemainīgu diametru, m;

$d$  - gāzesvada iekšējais diametrs, cm;

$\rho_0$  - gāzes blīvums standarta apstākļos, kg/m<sup>3</sup>;

$Q_0$  - gāzes patēriņš standarta apstākļos, m<sup>3</sup>/h.

Hidrauliskās berzes koeficientu  $\lambda$  nosaka atkarībā no plūsmas režīma (lamināra, turbulenta), kādā gāzes pārvietojās pa gāzesvadu, to raksturo:

Reinoldsa skaitlis (Re), skatīt formulu (3.3):

$$Re = \frac{Q_0}{9 \times \pi \times d \times \nu} = 0,0354 \frac{Q_0}{d \times \nu}, \quad (3.3.)$$

gāzesvada sieniņas iekšpuses hidrauliskais gludums, kuru izsaka no nevienādības pēc formulas (3.4):

$$Re \left( \frac{n}{d} \right) < 23, \quad (3.4.)$$

kur Re - Reinoldsa skaitlis;

$\nu$  - gāzes kinemātiskās viskozitātes koeficients standarta apstākļos;

$d$  - gāzesvada iekšējais diametrs, cm;

- $Q_0$  - gāzes patēriņš standarta apstākļos, m<sup>3</sup>/h ;
- $n$  - caurules sienīgas iekšpusē ekvivalents absolūtais raupjums, kas jaunām tērauda caurulēm 0.01 cm, lietotām tērauda caurulēm – 0.1 cm, polietilēna caurulēm neatkarīgi no ekspluatācijas laika – 0.0007 cm.

Spiediena kritumu zemspiediena sistēmās uz lokālajām pretestībām (līkumi, T – veidgabali, noslēgierīces u.c.) var aizvietot ar gāzesvada faktiskā garuma palielinājumu par 5 – 10 % [46.]. Gāzesvada cilpveida tīkla hidrauliskais aprēķins jāveic aprēķināmās cilpas mezgla punktos. Spiedienu zudumu nesaiste cilpā nedrīkst būt lielāka par 10 % [43]. Gāzesvadu hidrauliskajos aprēķinos jāņem vērā arī trokšņu līmeni, ko rada gāzes plūsma, tās ātrums ir jāpieņem ne lielāks par 7 m/s zemā spiediena gāzesvados, vidējā un augstā spiediena gāzesvados – 25 m/s [46]. Gāzesvadu hidrauliskos aprēķinus veik pēc formulām (3.1)-(3.4.), kā arī ar licencētajām datorprogrammām, kas sastādītas, izmantojot šīs formulas. Aptuvenu gāzesvada iekšējo diametru var noteikt pēc formulas (3.5):

$$d = 0,036238 \sqrt{\frac{Q \times (273 + t)}{P_m \times V}}, \quad (3.5.)$$

- kur  $d$  - gāzesvada aprēķina iekšējais diametrs, cm;
- $Q$  - aprēķina gāzes stundas patēriņš standarta apstākļos, m<sup>3</sup>/h;
- $t$  - gāzes temperatūra, °C;
- $P_m$  - gāzesvada aprēķina posma vidējais (abs.) gāzes spiediens, MPa;
- $V$  - gāzes plūsmas ātrums, m/s.

Gāzesvada iekšējais diametrs ir jāizvēlas tuvākais lielākais (tērauda gāzesvadiem) vai tuvākais mazākais (polietilēna gāzesvadiem) diametrs no cauruļvadu iekšējo diametru standartu rindas. Sadales sistēmu vidējā spiediena pazemes gāzesvadu cauruļu nominālo diametru jāizvēlas ne mazāku par DN 50 mm, savukārt sadales sistēmu tranzīta gāzesvadu diametru jāizvēlas ne mazāku par DN 100 mm. Sadales sistēmu vidējā spiediena gāzesvadu pievadu nominālo diametru pieļaujams izvēlēties ne mazāku par DN 32 mm, bet zemā spiediena gāzesvadu pievadu nominālo diametru – DN 50 mm. Pamatojoties uz augstāk minēto aprēķinu metodiku, izmantojot formulas (3.1.) – (3.5.) manuāli veiktie gāzesvadu hidraulisko aprēķinu rezultāti tiek apkopoti tabulās, kurās uzrāda gāzesvadu aprēķina posma numurus, garumus, dabasgāzes patēriņu posmā, posma sākuma un beigu spiedienu, piemēru skatīt 3.1. tabulā.

3.1. tabula

### Manuālā aprēķina datu noformējuma paraugs

Aprēķina posms	Gāzes vada diametrs, mm	Aprēķina stundas patēriņš, m <sup>3</sup> /h	Posma garums, km		$\frac{P_s^2 - P_b^2}{L}$	P <sub>s</sub> (ata)	P <sub>b</sub> (ata)	Piezīmes
			Faktiskais	aprēķina				
202-290	80	225,0	0,30	0,33	0,32	3,89	3,87	
290-Nr.40	50	35,0	0,20	0,22	1,96	3,87	3,87	
290-291	80	153,0	0,05	0,055	-	3,87	3,87	
291-292	40	45,0	0,43	0,47	0,51	3,87	3,84	

Gāzesvadu sistēmu aprēķināšana manuāli, izmantojot formulas vai nomogrammas, ir ļoti darbietilpīga, līdz ar to arvien biežāk tiek izmantotas datorprogrammas.

### 3.2. Datorprogrammu pielietojums gāzapgādes sistēmu aprēķināšanā

Pēdējos 20 gados ir būtiski mainījušās cauruļvadu tīklu aprēķināšanas metodes, izmantojot datorus un datorprogrammas, piemēram Caddy, OptiPlan.

Cauruļvadu tīklu aprēķinu programma OptiPlan tiek pielietota vairākās valstīs Vācijā, Austrijā, Ungārijā, Lietuvā arī Latvijā, plānots ieviest arī Krievijā.

Programmas aprēķināšanu pielietojums:

- maksimumstundu slodzes aprēķinos;
- dimensionēšanas aprēķinos;
- iekārtu atteikuma aprēķinos;
- normālslodzes un mazas slodzes aprēķinos;
- kapacitātes izpētē;
- sanācijas plānu izstrādāšanai, sistēmas sekcionēšanai.

Gāzapgādes sistēmu aprēķina modeļi arī plāni tiek sagatavoti digitāli, koordinātu sistēmās, iespējams izmantot ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (GIS), kurā uzkrāti dati par cauruļvadu sistēmas parametriem – projektēto un darba spiedienu, cauruļvada materiālu (tērauds, polietilēns), garumu [57]. No informācijas datu bāzēm (PUNS), kurās uzkrāti dati par dabasgāzes lietotāju patēriņu (m<sup>3</sup>/a, m<sup>3</sup>/h), iekārtu tipiem to jaudām (kW), iespējams nodrošināt datu importu uz aprēķinu modeli.

Gan sadales, gan pārvades gāzapgādes sistēmu tehnisko iekārtu vidū (cauruļvadi, regulēšanas iekārtas, noslēgierīces u.c.) galvenā nozīme ir cauruļvadu tīklam, kas sastāda

lielāko daļu no sadales un pārvades sistēmu pamatkapitāla un piesaista ievērojamus finansiālos līdzekļus uzturēšanai, paplašināšanai un atjaunošanai.

Pat vienkāršus cauruļvadu tīklu aprēķinus izpilda ar datorprogrammām OptiPlan [17, 57, 58] aprēķinu modulis [79], tāpēc spiediena zudumu diagrammas un manuālos spiediena zudumu aprēķinus izmanto reti. Informācijas sistēmu pieaugošais lietojums gāzapgādes uzņēmumos, tajā skaitā akciju sabiedrībā akciju sabiedrībā „Latvijas Gāze”, tiek konvertēts ar datu bāzēm (GIS, PUNS) ar tīkla matemātiskā modeļa datiem [GW 303-2].

Cauruļvadu tīkla aprēķināšana ir svarīgs instruments, optimizējot cauruļvadu tīklu plānošanu, projektēšanu un ekspluatāciju. Mērķtiecīgas izmaiņas gāzsvadu sistēmā un apgādes iekārtu nevainojama un ekonomiska ekspluatācija ir iespējama tikai tad, ja ir precīzi zināmas spiediena un plūsmas proporcijas. Plānošanas un projektēšanas mērķis ir izvēlēties gāzapgādes sistēmas parametrus, lai tīkla paplašināšanas un iekārtu komponentu nomaiņas gadījumā sistēmu varētu droši un ekonomiski ekspluatēt [ 60, 61, 63].

Cauruļvadu tīklu aprēķināšana sastāv no četriem darba posmiem:

1. cauruļvadu tīkla modeļa izveides;
2. spiediena un apjoma aprēķinu veikšanas;
3. salīdzinošo aprēķinu veikšanas;
4. rezultātu izvērtēšanas.

Cauruļvadu tīkla aprēķināšanas apjoms pastāvīgi pieaug, jo ar cauruļvadu tīklu aprēķināšanas metodēm var efektīvi iegūt šādus datus:

- iegūt raksturlielumus sadales tīklu ekonomiskuma noteikšanai;
- tīkla vājo vietu atklāšanai;
- avārijas iespēju simulācijai;
- vajadzīgās tīkla kapacitātes atjaunošanai;
- apgādes drošībai, atslēdzot galvenos cauruļvadus;
- tehniskā pamatojuma noteikšanai tīkla atjaunošanas koncepcijai;
- līdzdarbība plānošanas uzdevumos;
- cauruļvadu tīkla optimāla iedalīšana viegli kontrolējamos mērīšanas iecirkņos;
- projektēšanas variantu izstrādāšana cauruļvadu tīkla optimālai pārbūvei.

Lai uzsāktu cauruļvadu tīkla aprēķināšanu ar datorprogrammu nepieciešams izstrādāt matemātiskā tīkla modeli. Tīkla matemātiskais modelis ir matemātisks un iespējami reāls gāzapgādes sistēmas atveidojums. Tīkla matemātiskā modeļa dati ar visu cauruļvadu sistēmu,

pievienojuma vietu, spiediena regulēšanas iekārtu datiem tiek apkopoti no cauruļvadu tīklu plāniem un pārējiem tīklu raksturojošiem elementiem.

Lai izveidotu matemātisko tīkla modeli, ir nepieciešami šādi dati:

- caurules iekšējais diametrs –  $d$ ;
- aprēķina posmu vai cauruļvada sekciju garums –  $l$ ;
- cauruļvadu ekspluatācijas raupjums (atkarīgs no cauruļvada materiāla un spiediena cauruļvadā) –  $k$ ;
- dabasgāzes izejas spiediens no gāzes regulēšanas iekārtām –  $P$ ;
- mezgla punktu ģeodēziskais augstums –  $h_g$ ;
- gaisa temperatūra –  $T$ ;
- gaisa spiediens  $P_{abs}$ ;
- dabasgāzes spiediens sākuma mezglā  $P$ ;
- tīkla posma vai mezgla dabasgāzes patēriņš  $Q$ ;
- dabasgāzes temperatūra  $T$ ;
- blīvums  $\rho$ ;
- kinemātiskā viskozitāte  $\nu$

Tīkla matemātiskā modeļa pamatelementi ir posmi un mezgli. Posmu definē ar sākuma un beigu mezglu. Shematizējot cauruļvadu tīklu, precīzi jāatveido reālās cauruļvada trases, uzrādot ielu nosaukumus, upes u.c. ģeogrāfiskos elementus, lai izvērtējot iegūtos aprēķinu datus orientētos atbilstoši tīklu plānam.

Tā kā matemātisko rezultātu ticamību stipri ietekmē ievadītie dati, līdz ar to datu sagatavošanai ir ļoti liela nozīme. Klientu patēriņš ir jāsadala pa atsevišķiem tīkla modeļa mezgliem un/ vai posmiem. Tiek pielietots statistiskais klientu patēriņa vienlaicīguma princips, kas pamatojas uz to, ka viena veida klientu grupa uzrāda vienādu patēriņa režīmu laika intervālā no vienas stundas līdz vienam gadam. Patēriņa sadalījuma pamatā ir konkrētas tīkla daļas visu klientu patērētais dabasgāzes daudzums noteiktā laika intervālā. Līdz ar to jāzina visu klientu patēriņš šajā laika intervālā. Noteicošais iekārtu dimensionēšanā ir slodzes maksimumu variantu aprēķināšana projektētajā temperatūrā, gāzes temperatūras ietekme uz aprēķinu rezultātu ir niecīga, jo gāze ātri pieņem grunts temperatūru no 10 līdz 16 o C. Blīvums un kinemātiskā viskozitāte tiek uzrādīta dabasgāzes normālstāvoklim.

Būtiska priekšrocība, izmantojot cauruļvadu tīkla aprēķinus praksē, ir iespēja modelēt tīklā dažādu noslogojumu un situācijas, lai panāktu plānoto mērķi un atrastu labāko risinājumu pēc variantu rezultātu izvērtēšanas. Plānošanas aprēķini ir jāveic tā, lai varētu

skaidri redzēt un izsecināt katra varianta tehniskās un ekonomiskās priekšrocības un trūkumus, noteikt izdevīgāko risinājumu.

Promocijas darba 1. un 2. daļā secināju, ka gāzes patēriņš un tā sadalījums sistēmas tīklā būtiski ietekmē aprēķinu rezultātu, tāpēc liela loma ir detalizētai patēriņa izpētei, kas jāievada aprēķinu modelī.

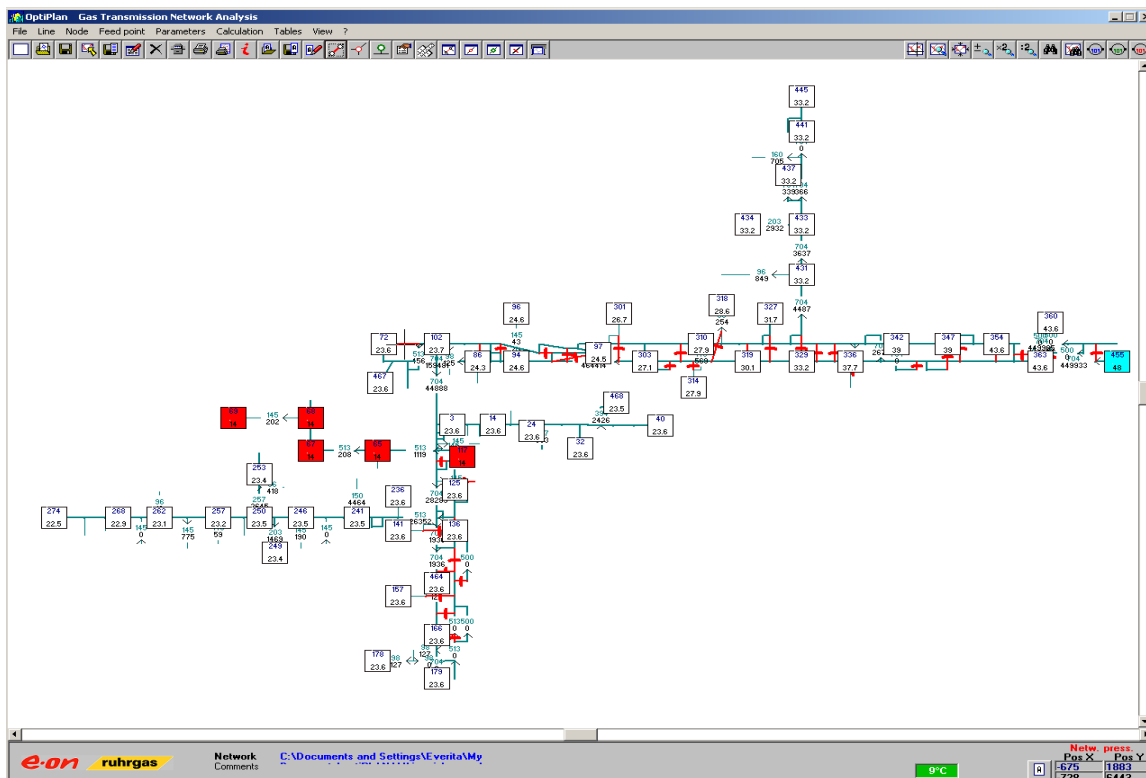
Gāzes tīklu aprēķinu modelī, programmā tiek ievadīti sekojoši tehniskie parametri:

- dabasgāzes patēriņš m<sup>3</sup>/h;
- gāzesvadu tīklu posmu attālumi, m,
- gāzesvadu iekšējie diametri, mm;
- gāzes sastāvs un kvalitāte, kg/m;
- caurules raupjums, mm;
- plūsmas ātrums, m/s;
- gāzes spiediens – sākuma, beigu, bar;
- ārgaisa temperatūra un spiediens (°C, mbar);
- gāzes temperatūra (°C), skatīt 3.1.att.

	Gas A	Gas B	Gas C	Gas D
Gas density kg/m <sup>3</sup>	0,685	0,772	0,776	0,775
Dyn. viscosity E+6 Pa s	10,940	12,000	12,000	12,100
Gas law dev. factor A	0,930	1,000	1,000	1,000
Gas law dev. B (1/bar) :	2,000	2,000	2,000	2,000
Gross calorific value kWh/m <sup>3</sup>	10,4	11,15	11,2	11,1
Gas temperature °C	8,0			
Default roughness mm	0,02			
Air pressure mbar	1013,25			
Default min pressure bar	12,0			
Critical velocity m/s	20,0			
Network load %	100,0			
Calculation temperature °C	9,0			
Number of gas type	4			

3.1.att. Parametru tabula datorprogrammā OptiPlan

Programma piedāvā izvēli aprēķināt gāzesvadu diametrus gadījumos, ja ir dažādi padeves avoti, dažāds gāzes sastāvs. Saikne ar Ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (GIS), ļauj iegūt ģeogrāfiski atbilstošu shēmu.



3.2.att. Aprēķinu modeļa piemērs datorprogrammā OptiPlan

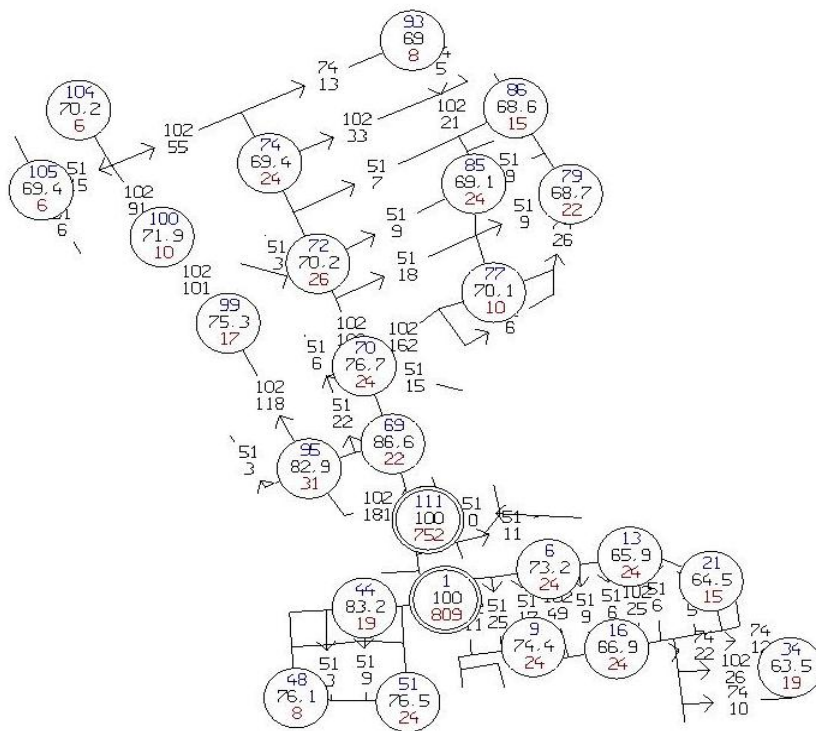
Programmas lietošana ir vienkārša, kā arī elastīga. Iespējams izmaiņas veikt gan pašas programmas datu logos, gan eksportēt šos datus Microsoft Access programmā.

Line	Node	Feed point
From node: 71	Node: 71	Inlet node: 457
to node: 72	Network name: 1	Network name: 2
Network name: 1	Offtake kWh/h: 0	Adjustment: P
locked: <input type="checkbox"/>	Temp. dependence %/°C: 0,0	Pressure bar: 14,00
Status: 0	Pressure bar: 23,64	Inlet flow m <sup>3</sup> /h: 1132,4
Start pressure bar: 23,64	Gr. cal. value kWh/m <sup>3</sup> : 10,400	Max inlet flow m <sup>3</sup> /h:
End pressure bar: 23,64	Min pressure bar: 20,0	Previous node: 116
Diameter mm: 704	Geod. elevation m+NN: 0,0	Previous network: 1
Length m: 20,0	Coordinate X: -400	Feed point name: Ziemeļi
Roughness mm: 0,02	Coordinate Y: 1900	
Flow rate m <sup>3</sup> /h: 116356,1		
Velocity m/s: 3,1		
Gr. cal. value kWh/m <sup>3</sup> : 10,400		
Buttons: Divide, System, Delete, Cancel, Modify, Add	Buttons: Draw, Cancel, Modify, Add	Buttons: Delete, Cancel, Modify, Add

3.3.att. Parametru tabulas (līnijai, mezgla punktam, gāzes padeves punktam) OptiPlan

Lai samazinātu kļūdu iespējamību ievadot aprēķinātos dabasgāzes patēriņus (m<sup>3</sup>/h) gāzesvadu aprēķinu modeļa tīkla slodžu punktos, promocijas darba izstrādes laikā tika analizēta iespēja izmantot klientu datu bāzē (PUNS), uzkrātos esošo dabasgāzes lietotāju

uzstādīto iekārtu datus (kW) un sagatavoti priekšlikumi šo datu turpmākai savietošanai ar aprēķinu modeli OptiPlan.

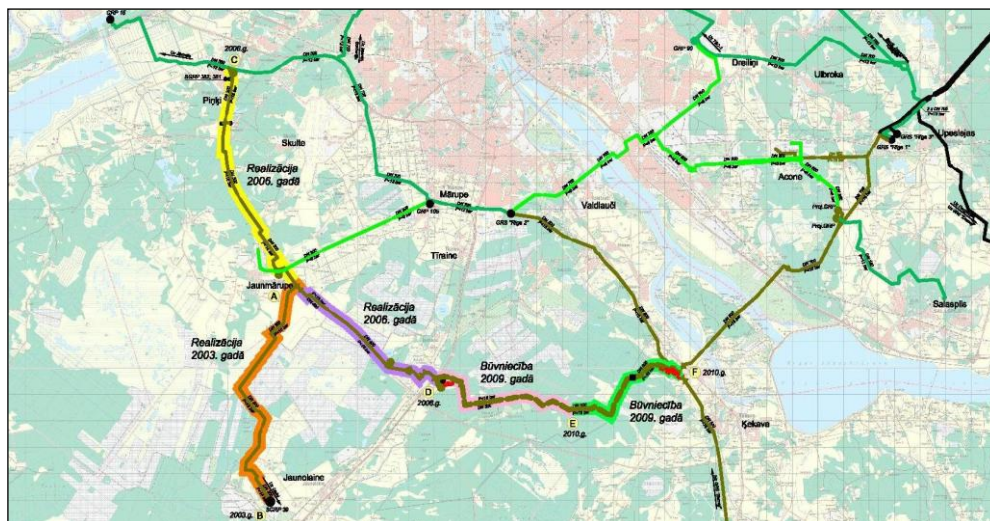


3.4. Gāzesvadu hidrauliskās aplēses shēma individuālo dzīvojamo māju rajonam Garciemā

### 3.3. Sadales gāzesvadu sistēmas modelēšana

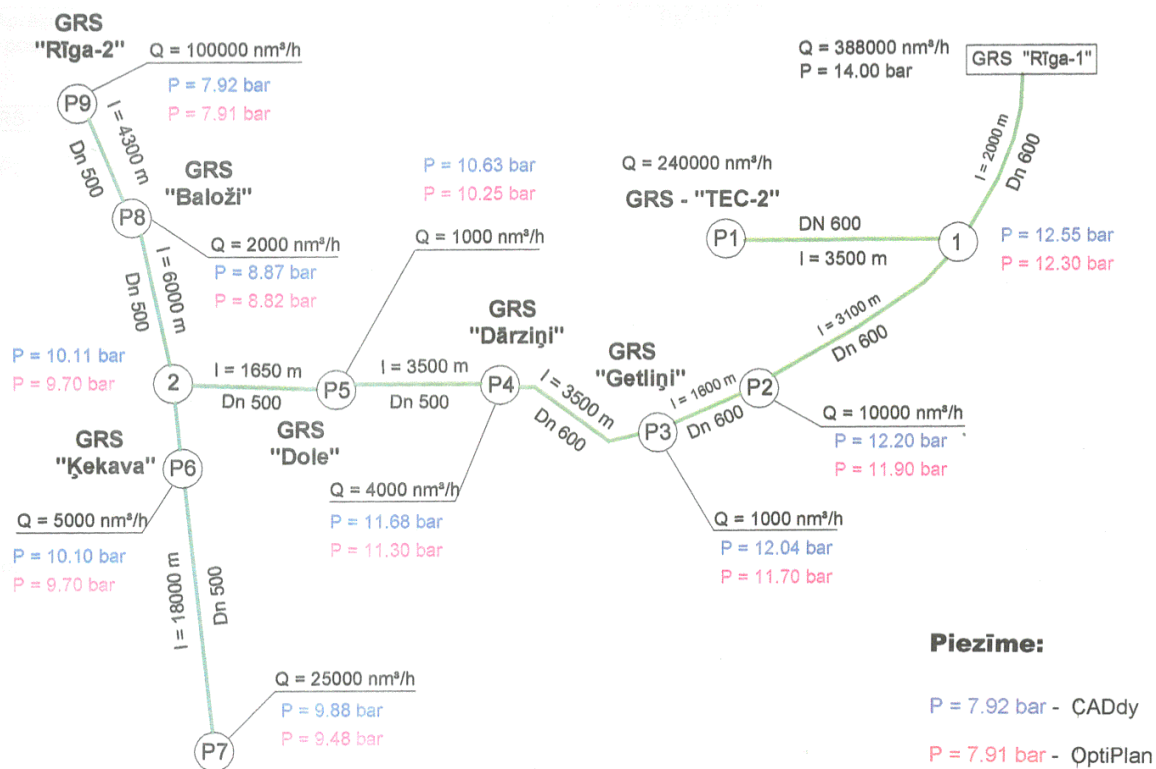
Šobrīd Latvijas Republikā augstā spiediena sistēmas kategorijā galvenokārt darbojas  $PN \leq 0,6$  MPa (6 bar) sadales gāzesvadi. Jo reizē ar rūpniecības uzņēmumu likvidāciju 90 – to gadu sākumā esošie augstā spiediena sadales gāzesvadi  $PN \leq 1,2$  MPa tika renovēti darbam  $PN \leq 6$  MPa režīmā. Adaptējot Eiropas normatīvos dokumentus Latvijas teritorijā, atbilstoši LBN 242-02 [38] un LVS 417:2011 [46] nosaka, ka augstā spiediena  $PN \leq 1,6$  MPa (16 bar) gāzesvadi ir sadales sistēmas. Kā piemēru var minēt esošās pārvades (maģistrālā) gāzesvada sistēmas posmā no GRS “Ziemeļi” līdz GRS “Rīga - 2” (tagad GRP 110) pārvešanu augstā spiediena  $PN \leq 1,6$  MPa sadales gāzesvada statusā, nodrošinot Rīgas pilsētas Pārdaugavas rajona, Mārupes, Babītes, Ķekavas un Olaines novadu papildus gāzapgādi. Savukārt izbūvējot augstā spiediena  $PN \leq 1,6$  MPa gāzesvadu sistēmu uz “Latvenergo” ražotni TEC – 2 Aconē, un savienojot to ar augstāk minēto renovēto sistēmu, izveidota stabila gāzapgādes sistēma, kas var nodrošināt Rīgas pilsētas gāzapgādi gan no gāzes regulēšanas stacijas (GRS) „Rīga - 3” Stopiņu novadā, gan no GRS „Ziemeļi” Iecavas novadā, skatīt 3.4. attēlu. Lai izvērtētu un

salīdzinātu dažādu datorprogrammu (OptiPlan un Caddy) aprēķinu rezultātu precizitāti, promocijas darbā veikti aprēķini augstā spiediena  $P < 1,6$  MPa gāzesvadu sistēmai Rīgas pilsētas dienvidu rajona un TEC – 2 ražotnes gāzapgādei, skatīt 3.5. attēlu. Hidraulisko aprēķinu shēmu un iegūto aprēķinu datu salīdzinājumu, skatīt 3.6. attēlā.



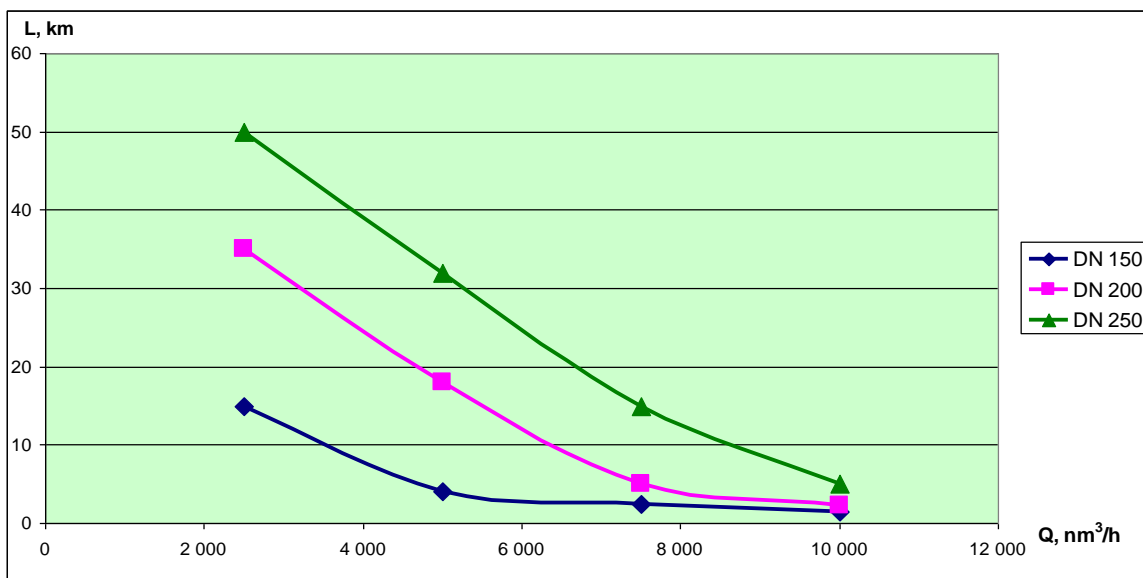
3.5. att. Rīgas pilsētas dienvidu rajona un TEC -2 ražotnes augstā spiediena  $P \leq 1,6$ MPa gāzapgādes shēma

TEC-2 piegulošās teritorijas, Getliņu, Dārziņu, Ķekavas, Rīgas pilsētas Pārdaugavas rajona hidrauliska aprēķina shēma.

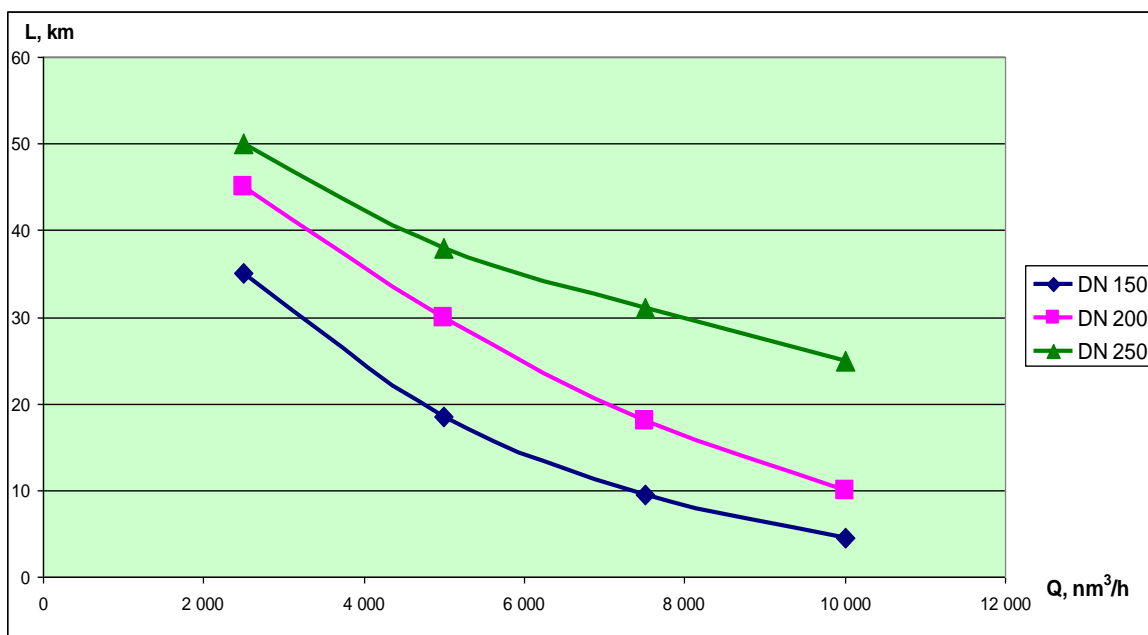


3.6. att. Aprēķinu shēma, OptiPlan un Caddy programmu aprēķinu datu salīdzinājums

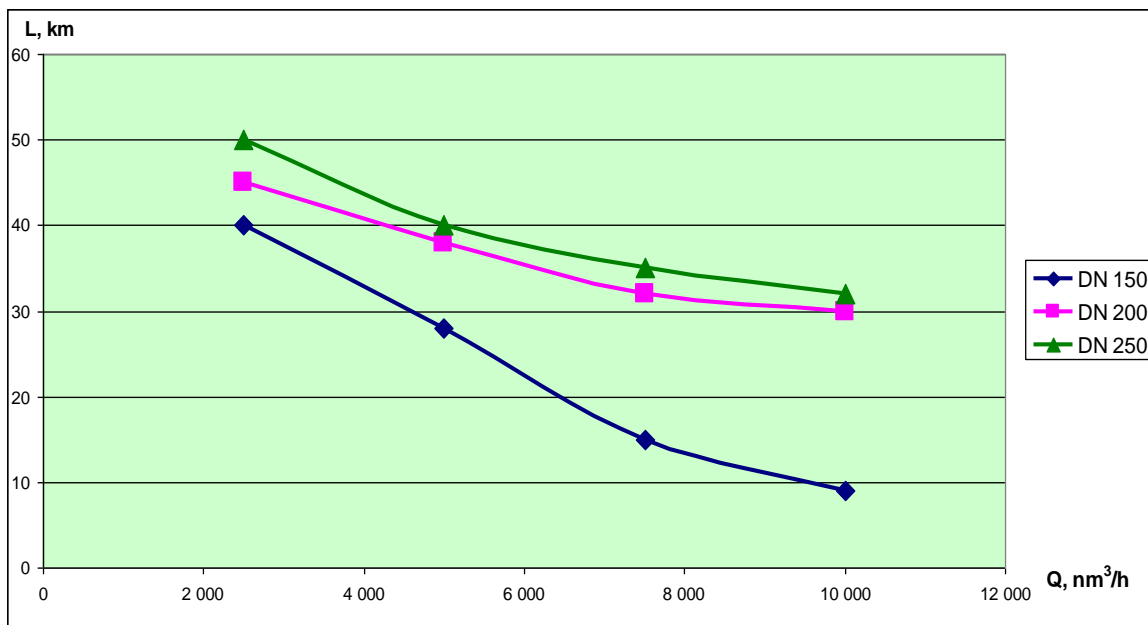
Izstrādājot teritoriju perspektīvās gāzapgādes plānojumus nepieciešams aprēķināt optimālas gāzapgādes sistēmas, to darbības attālumus. Promocijas darbā veikti perspektīvo gāzesvadu hidrauliskie aprēķini augstā spiediena sadales gāzes apgādes sistēmām  $P < 0,6 \text{ MPa}$ ,  $P < 1,2 \text{ MPa}$ ,  $P < 1,6 \text{ MPa}$ , izmantojot licencētu datorprogrammu „OptiPlan”. Tika modelētas dažādu patēriņu ( $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $7500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $10000 \text{ m}^3/\text{h}$ ), noslodzes situācijas DN 150mm, DN 200mm un DN 250mm diametru gāzesvadiem, nosakot darbības attālumus (rādīsi), skatīt 3.7., 3.8. un 3.9. attēlus.



3.7. att. Augstā spiediena  $PN \leq 0,6 \text{ MPa}$  sadales gāzapgādes sistēmas darbības attālums, km

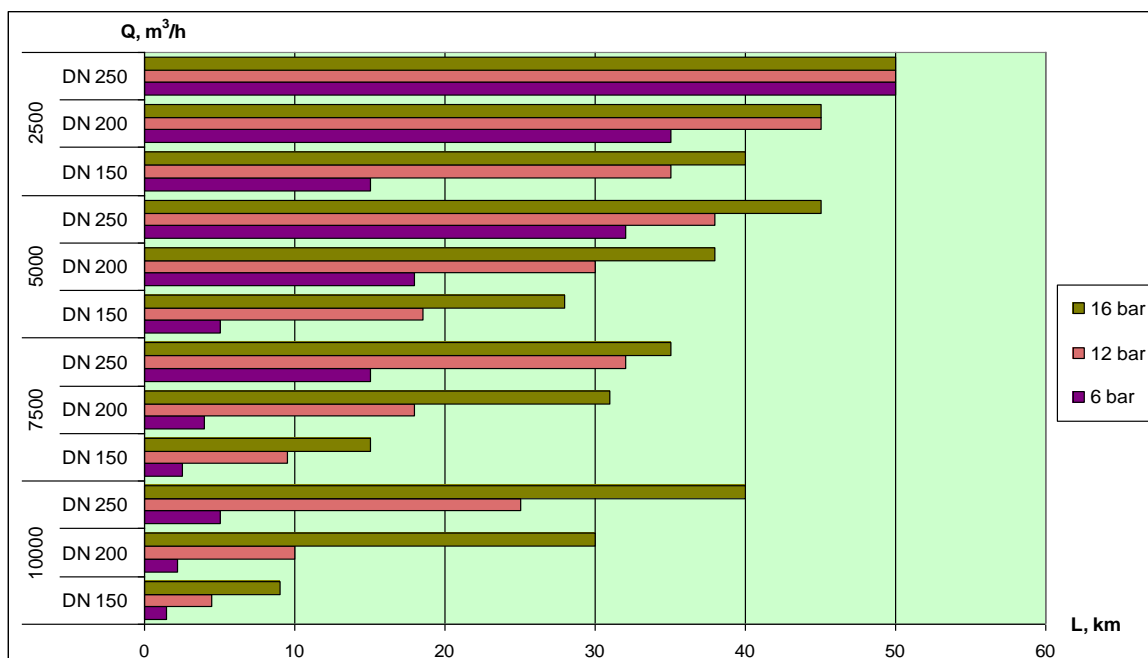


3.8.att. Augstā spiediena  $PN \leq 1,2 \text{ MPa}$  sadales gāzapgādes sistēmas darbības attālums, km



3.9. att. Augstā spiediena  $PN \leq 1,6$  MPa sadales sistēmas darbības attālums, km

Augstā spiediena ( $PN \leq 0,6$  MPa,  $PN \leq 1,2$  MPa un  $PN \leq 1,6$  MPa) gāzesvadu hidrauliskajās aplēsēs, kurās aprēķināti optimālie darbības attālumi konkrētam dabasgāzes stundas patēriņam, iegūti rezultāti atspoguļoti 3.10. attēlā.



3.10. att. Augstā spiediena sadales gāzes apgādes sistēmas darbības attāluma salīdzinājums

Apdzīvoto vietu gāzapgādes nodrošināšanai pamatnoslodzes gāzesvadi lielākoties tiek būvēti ar polietilēna caurulēm. Pēdējos divdesmit gados būtiski pilnveidota gan polietilēna, gan

metāla cauruļvadu ražošanas tehnoloģija, kas ļauj būtiski samazināt spiediena zudumus, līdz ar to gāzesvadu cauruļvadu iekšējo sieniņu raupjuma koeficients ir samazināts. Būtiski uzlabojušies arī gāzes regulēšanas iekārtu darbības tehniskie rādītāji, nav vajadzīgs paaugstināts spiediens gāzes regulēšanas iekārtu ieejā, lai regulators darbotos un samazinātu spiedienu no augstāka spiediena pirms regulatora uz zemāku spiedienu pēc regulatora. Tas nozīmē, ka ir iespējas palielināt spiediena zudumus, tādējādi samazināt plānojamo (projektējamo) gāzesvadu sistēmas diametrus. Spiediena zudumus gāzesvada tīkla posmā aprēķina pēc formulām 3.1 un 3.3. Latvijas valsts standarts LVS 417:2002 [46] līdz 2011. gadam noteica šādus pieļaujamus dabasgāzes spiediena zudumus:

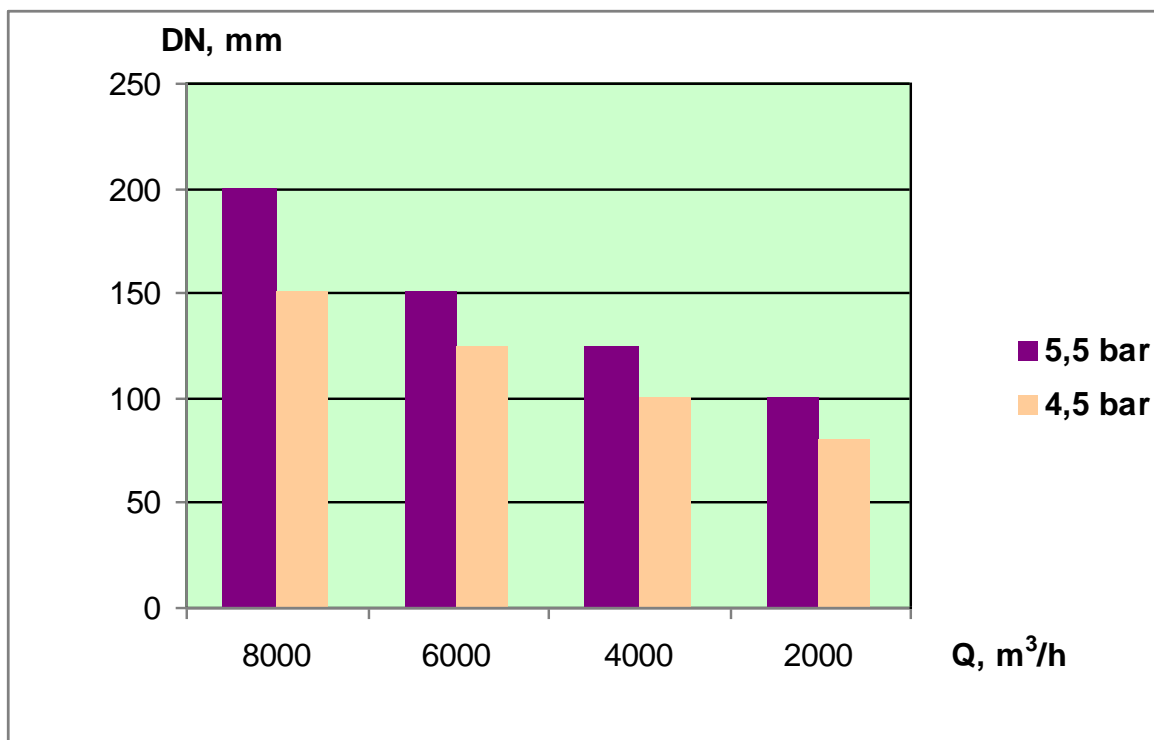
- augstā spiediena gāzesvados pieļaujami 0,15 līdz 0,2 MPa virs atbilstošā spiediena kategorijas apakšējās robežas;
- vidējā spiediena gāzesvados pieļaujami līdz 0,1 MPa virs vidējā spiediena kategorijas apakšējās robežas;
- zemā spiediena gāzesvados summārie zudumi jāpieņem robežās, kas nodrošina spiedienu pirms gāzes aparāta 17 – 25 mbar.

Promocijas darbā, veicot gāzesvadu hidrauliskās aplēses, modelēta augstā spiediena gāzesvadu sistēma 1000 m garumā, ar dažādām patēriņu slodzēm 2000 (m<sup>3</sup>/h), 4000 (m<sup>3</sup>/h), 6000 (m<sup>3</sup>/h), 8000 (m<sup>3</sup>/h), nosakot optimālus spiediena zudumus aprēķināmajā gāzesvadu posmā. Sagatavoti priekšlikumi dabasgāzes spiediena zudumu robežas palielināšanai augstā spiediena gāzesvadu aprēķinos – tas ir ja aprēķinu posmā sākuma spiediens  $P_N \leq 0,6$  MPa, beigu posmā  $P_N \leq 0,45$  MPa. Gāzesvadu hidrauliskajās aplēsēs iegūtie rezultāti - gāzes cauruļvadu diametru samazinājums, atkarībā no spiediena aprēķina posma beigās –  $P_b = 5,5$  bar,  $P_b = 4,5$  bar, uzrādīti tabulā 3.2. Gāzesvadu diametru starpības atspoguļotas attēlā 3.11.

Tabula 3.2.

Cauruļvadu diametru samazinājums atkarībā no spiediena zudumiem ( $\Delta P$ ) aprēķinu posmā

$P_b$ (bar)	Dabasgāzes patēriņš Q (m <sup>3</sup> /h)			
	2000	4000	6000	8000
	Diametrs (mm)	Diametrs (mm)	Diametrs (mm)	Diametrs (mm)
5,5 bar	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
4,5 bar	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150



3.11. att. Cauruļvadu diametru (mm) atkarība no spiediena zudumiem aprēķinu posmā

Sagatavotie grozījumi standartā LVS 417:2011 ļaus samazināt aprēķinu gāzesvadu cauruļvadu diametrus no 7 līdz 10%, iespējams samazināt būvniecības izmaksas jaunas sadales gāzesvadu sistēmas izbūvei 15 % apmērā.

## **4. PRIEKŠLIKUMI ESOŠĀS SADALES GĀZESVADU SISTĒMAS TURPMĀKAI IZMANTOŠANAI**

Pamatojoties uz promocijas darbā veiktajiem pētījumiem, kuri tika aprakstīti darba 1. daļā, tika aprēķināts, ka vēsturiski būvētai tranzīta un pamatnoslodzes sadales gāzapgādes sistēmas izbūvēto gāzesvadu diametri ir par 20% līdz 30 % lielāki nekā nepieciešams pašreizējai noslodzei. Laika periodā no 2006. gada līdz 2008. gadam tika izbūvēti 450 km sadales gāzesvadu, ieguldītas investīcijas 26 milj. latu apmērā, nodrošināti pieslēgumi 3 tūkst. mājsaimniecībām. Šajā laika posmā ieguldītās investīcijas nav atmaksājušās, ekonomiskā lejupslīde lika koriģēt aprēķinātos dabasgāzes gada patēriņus.

Dabasgāzes tirgus paplašināšanās nākotnē iespējama:

- būvējot un nododot ekspluatācijā jaunus rūpniecības objektus, elektroenerģijas ražošanas uzņēmumus, jaunus mājokļus, veicot pieslēgumus esošajai sadales gāzapgādes sistēmai,
- paplašinot gāzapgādes sistēmu, tas ir izbūvējot jaunus sadales gāzesvadus.

Enerģijas gala patēriņa prognozē turpmāk jāievērtē enerģijas taupīšanas pasākumiem [25, 26], atbilstoši Enerģētikas pamatnostādņem [22, 23]. Mūsdienās un tuvākā nākotnē izmantojamās inovatīvās tehnoloģijas ļaus būtiski ekonomēt enerģiju, vienlaicīgi samazinot arī dabasgāzes patēriņu Lietotājiem, tajā skaitā mājsaimniecībām.

Lai palielinātu esošās gāzapgādes sistēmas kapacitāti, nepieciešams veidot pieslēgumus esošajai gāzapgādes sistēmai, vai nodrošināt esošo dabasgāzes lietotāju jaudas palielinājumus, izmantojot inovatīvas gāzes apkures iekārtas, tajā skaitā mikrokoģenerācijas stacijas mājsaimniecībām. Paaugstinoties dabasgāzes iekārtu lietderības koeficientiem, dabasgāzes gada patēriņi samazināties, līdz ar to ir iespēja izmantot esošo dabasgāzes sistēmas infrastruktūru uzstādot jaunas inovatīvas tehnoloģijas, kā piemēram:

1. kondensācijas tipa apkures katlus komplektācijā ar saules kolektoriem;
2. dabasgāzes siltumsūkņus;
3. auto uzpildes iekārtas mājsaimniecībās personīgās automašīnas uzpildei ar dabasgāzi;
4. mikrokoģenerācijas iekārtas – apkures nodrošināšanai, karstā ūdens sagatavošanai un papildus elektroenerģijas ražošanai;
5. sadzīves iekārtas – dabasgāzes kamīnus, grīlus, veļas žāvējamās mašīnas.

Apkures iekārtu ražotāji investē līdzekļus jaunu tehnoloģiju izstrādē un testēšanā. Sadarbībā starp gāzes aparātu ražotājiem un energoapgādes kompānijām tiek meklētas iespējas jauniem tehnoloģiskiem risinājumiem, paaugstinot iekārtu lietderības koeficientus, tādejādi samazinot energopatēriņu. Šobrīd Eiropā ļoti plaši izmanto kondensācijas tipa apkures aparātus, plānota iespēja piesaistīt alternatīvus enerģijas avotus un risinājums, līdz pat privātmājās uzstādāmām mikrokoģenerācijas iekārtām [1, 13, 53, 69]. Mājsaimniecību apkurei un karstā ūdens sagatavošanai pieejami inovatīvi risinājumi - kondensācijas tipa gāzes apkures aparāti un saules enerģijas piesaiste karstā ūdens patēriņa nodrošinājumam, tiek strādāts pie kokskaidu granulu tehnoloģiju sasaistes ar gāzes apkures tehnoloģijām. Siltumapgādes nodrošināšanai ir pieejamas dažādas tehnoloģijas un dažādi tehnoloģiskie risinājumi. Kā viens no efektīvākajiem risinājumiem tiek atzīta kondensācijas tipa katla izmantošana kopā ar saules kolektoriem. Nākotnē siltumapgādes nodrošināšanai ir paredzēts izmantot siltumsūkni, kurš darbojas ar dabasgāzi.

Viena no jaunākajām iekārtām ir dabasgāzes mikrokoģenerācijas iekārta mājsaimniecību apkurei, siltā ūdens sagatavošanai, kā arī elektrības ražošanai [1, 13, 53, 69]. Mērķis ir ar mazākām izmaksām panākt efektīvāku energoapgādi un izmešu samazinājuma. Tā ir jauna pieeja ilgtspējīgas attīstības plānošanā, iespēju robežās nodrošinot kļiedētu enerģijas ražošanu jau mājsaimniecību līmenī, tādā veidā mazinot lielo uzņēmumu joprojām dominējošo ietekmi tirgū. Minētās iekārtas Eiropas valstīs (Nīderlandē, Dānijā, Vācijā) tiek uzstādītas arī mājsaimniecībās, papildus tiek veikti pētījumi lai uzlabotu iekārtu lietderības koeficientu. Daudzās valstīs arvien vairāk sāk izmantot mazās koģenerācijas stacijas, kuras darbojas uz dabasgāzi. Šādu koģenerācijas iekārtu elektriskā jauda ir jau sākot no 1 kW. Lietderīgi tiek izmantots arī viss pēc dzinēja darbināšanas atlikušais siltums. Automātiskā vadības sistēma nodrošina, ka iekārta ražo elektrību tikai tad, ja ir siltuma pieprasījums. Iekārtas elektroenerģijas ražošanas jauda apzināti paredzēta neliela no 1 kW līdz 5 kW, lai bez transportēšanas zudumiem nosegtu vidējas ģimenes pašpatēriņa pamatslodzi. Mājokļa mikroģenerators nodrošina to pašu komforta līmeni, ko augstas efektivitātes gāzes katls, bet ar zemākām enerģijas izmaksām un mazākiem siltumnīcefekta gāzu izmešiem. Mikroģenerācijas iekārtas var viegli kombinēt ar solārajiem paneļiem un citām atjaunojamās enerģijas formām. Efektīvāka enerģijas ražošana ekonomē primāros energoresursus, ietaupa naudas līdzekļus un samazina videi kaitīgos izmešus. Koģenerācija ir vienlaicīga elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošana vienotā termodinamiskā ciklā, pielietojot vienu kurināmā veidu. Šo procesu sauc par kombinētu siltuma un elektroenerģijas ražošanu. Enerģiju iespējams ražot ar tvaika un gāzes turbīnas vai iekšdedzes dzinēja palīdzību, kas savukārt savienots ar

elektroenerģijas ģeneratoru. Koģenerāciju īsteno, pielietojot: iekšdedzes dzinējus; tvaika un gāzes turbīnas; kurināmā elementus; mikroturbīnas. Koģenerācijas iekārtu uzstādītās siltuma jaudas attiecību pret patērētāja maksimālo siltuma slodzi sauc par termofikācijas koeficientu, un to nosaka sekojoši:

$$\alpha_{thermo} = \frac{Q_{cog}}{Q_{max}} = \frac{Q_{cog}}{Q^{cog} + Q^{p.boiler}} = \frac{Q_{cog}}{Q^{max(heat+vent)} + Q^{aver(hot.water)}}, \quad (4.1)$$

kur  $\alpha_{thermo}$  - termofikācijas koeficients,  
 $Q_{cog}$  - uzstādītā jauda koģenerācijai (kWh),  
 $Q_{max}$  - maksimālā apkures jauda (kWh)

Attiecību pieņemts apzīmēt ar  $\alpha$  un tā ir koģenerācijas sistēmas kvalitātes rādītājs, raksturojot cik kWh elektroenerģijas var izstrādāt uz vienu kWh patērētājam atdotās siltumenerģijas bāzes. Šis rādītājs raksturo termisko dzinēju iespējas elektroenerģijas izstrādē koģenerācijas sistēmā un ir atkarīgs no daudziem faktoriem, tajā skaitā siltuma patēriņa: slodzes; siltuma nesēja veida (tvaiks, ūdens); siltuma nesēja parametriem (temperatūra, spiediens). Termofikācijas koeficients parasti ir robežās no 0,4 - 0,5, lai iegūtu pēc iespējas lielāku koģenerācijas iekārtu uzstādītās jaudas izmantošanas stundu skaitu. Ja koģenerācijas iekārta ir projektēta atbilstoši siltuma pieprasījumam, tai ir vairākas priekšrocības:

- efektīvāka enerģijas izmantošana;
- izmešu daudzuma samazinājums;
- ievērojams enerģijas ražošanas izmaksu samazinājums, kas paaugstina uzņēmuma konkurētspēju;
- iespēja piedāvāt patērētājiem, tai skaitā iedzīvotājiem, lētāku enerģiju;
- mazāki pārvades zudumi decentralizētā sistēmā;
- konkurences radīšana enerģijas ražošanas sfērā;
- samērā īss iekārtu atmaksāšanās periods.

Koģenerācijas ciklā iegūto siltumenerģiju iespējams izmantot:

- ūdens uzsildīšanai apkures un karstā ūdens apgādes vajadzībām;
- tvaika ražošanai;
- aukstuma ražošanai;
- tehnoloģiskajos procesos, izmantojot izplūdes gāzu siltumu.

Koģenerācijas ciklā iegūto elektroenerģiju iespējams izmantot pašas koģenerācijas iekārtas vajadzībām – tās ražošanas procesa nodrošināšanai; pārpalikumu pārdodot licencētam elektroenerģijas pārvades vai sadales uzņēmumam, skatīt 4.1. tabulu.

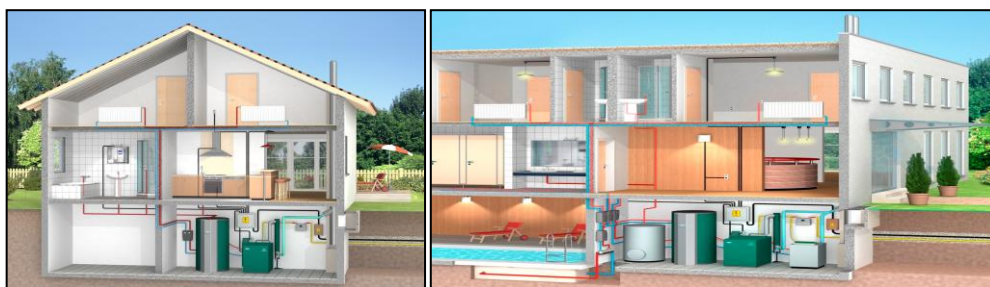
Triģenerācija ir kombinēta elektroenerģijas, siltumenerģijas un aukstuma ražošana. Aukstumu var ražot - kompresora tipa aukstuma mašīnās, piedziņai izmantojot elektromotoru; absorbcijas tipa aukstuma mašīnās, kuru darbināšanai izmanto ne elektroenerģiju, bet lētus siltuma avotus – aizplūstošās dūmgāzes, karstu ūdeni u. tml.

Koģenerācijas iekārtas iedala, pamatojoties uz uzstādīto elektrisko jaudu:

- **mikroģenerācijas** iekārta - izmantojama māsaimniecībās (individuālās un daudzdzīvokļu mājās), viesnīcās, slimnīcās, peldbaseinos - apkurei, vēdināšanai un karstā ūdens sagatavošanai, iespējama elektriskā slodze līdz 50 kW;
- **mazas jaudas koģenerācijas** iekārta - izmantojama daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās, viesnīcās, slimnīcās, peldbaseinos - apkurei, vēdināšanai un karstā ūdens sagatavošanai, iespējama elektriskā slodze līdz 1MW;
- **lielas jaudas koģenerācijas stacija** – energoapgādes un ražošanas procesu nodrošināšanai - apkurei, vēdināšanai un karstā ūdens sagatavošanai, iespējama elektriskā slodze virs 1 MW.

Decentralizēta kombinēta elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošana ir nozīmīgs tehnoloģisks risinājums, kas uzlabotu energoefektivitāti, ekonomē primāros energoresursus, enerģijas piegādes drošību un samazinātu CO2 emisijas, ietaupot arī naudas līdzekļus. Mazām, lokālām koģenerācijas iekārtām ir arī mazāki enerģijas pārvades zudumi. Mikro un mazas jaudas koģenerācijas iekārtas darbojas ar iekšdedzes dzinēja moduli vai gāzes turbīnu.

Mikro un mazas jaudas koģenerācija iekārtas iespējams izvietot māsaimniecībās, komercuzņēmumos, sadzīves pakalpojumu un sabiedriskās iestādēs, skatīt 4.1. attēlu.



4.1. att. Koģenerācijas iekārtu izmantošana veidi publiskajām ēkām, māsaimniecībām

Mikro un mazas jaudas koģenerācijas ciklā iegūtās enerģijas izmantošanas veidi

Dabasgāzes lietotājs	Siltuma izmantošana	Elektroenerģijas izmantošana
Centralizēta siltumapgāde – katlu mājas	Apkurei, karstā ūdens sagatavošanai	Pašpatēriņam - apgaismošanai, sūkņu darbināšanai, pārdot sadales tīklā
Iestādes, ēkas - viesnīcas, slimnīcas, peldbaseini	Apkurei, karstā ūdens sagatavošanai	Pašpatēriņam - apgaismošanai, ventilācijai, pārdot sadale tīklā
Mājsaimniecības	Apkurei, karstā ūdens sagatavošanai	Pašpatēriņam -apgaismošanai, sūkņu darbināšanai, pārdot sadales tīklā

Eiropas Savienības valstu - Dānijas, Holandes, Vācijas un Lielbritānijas valdības veicina mikro – koģenerācijas izmantošanu, lai sasniegtu gan starptautiskos, gan nacionālos mērķus attiecībā uz oglekļa dioksīda emisijas samazināšanu. Piemēram, Lielbritānijas valdība ir noteikusi mērķi līdz 2050. gadam samazināt CO<sub>2</sub> emisijas mājsaimniecību sektorā līdz 60%. Līdz 2050. gadam mikro – koģenerācijas sistēmas varētu nodrošināt 30-40% no elektroenerģijas vajadzībām Lielbritānijā. Kopumā lielākas un mazākas koģenerācijas sistēmas rūpniecības vajadzībām vai lietošanai nelielās organizācijās kā skolās, slimnīcās, mikrorajonu centros vai apdzīvotās vietās jau ir parādījušas labus rezultātus. Mikrokoģenerācija ir izdevīga mazām un vidējām ģimenes mājām, daudzdzīvokļu mājām, maziem un vidējiem uzņēmumiem, sekojošu to tehnisko un realizācijas īpašību dēļ:

- augsta kopējā enerģijas pārveidošanas efektivitāte (piemēram, vairāk kā 90%);
- zemas uzturēšanas prasības salīdzinot ar līdzīgu mājas gāzes apkures katlu;
- zems trokšņa un vibrāciju līmenis iekārtām mājā;
- zemas NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> un cieto daļiņu emisijas.

Uzstādot koģenerācijas iekārtu var panākt:

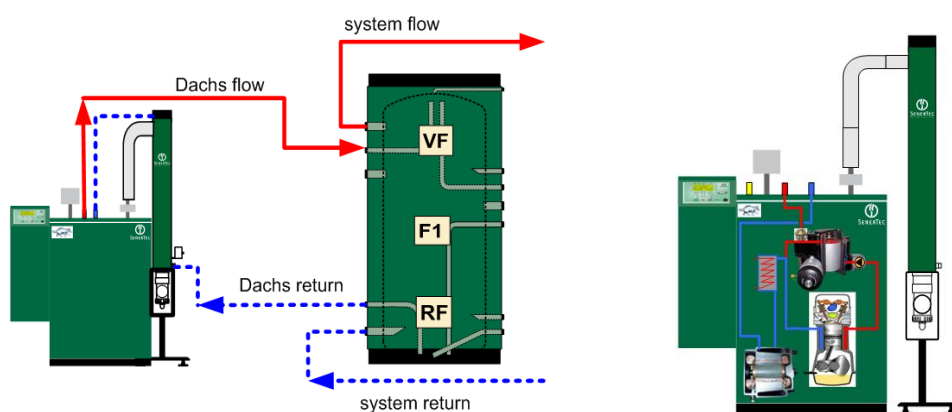
- ēkas siltumapgādes un daļējas elektroapgādes nodrošinājumu;
- ēkas elektroenerģijas izmaksu samazinājumu;
- ēkas kopējo enerģijas izmaksu samazinājumu
- CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu.

Uzstādot mikro koģenerācijas iekārtas vecā tipa apkures katlu vietā, tiek samazināts kurināmā patēriņš, līdz ar to samazinās apkārtējai videi kaitīgo izmešu daudzums [76]. Plašāk pielietojot koģenerāciju mājsaimniecībās ir veids kā iespējams samazināt oglekļa dioksīda izmešu daudzumu, tādejādi izpildīt Kioto protokolā paredzētās saistības Eiropas valstīm. Vispopulārākais kurināmais, kas tiek izmantots mazas jaudas koģenerācijas iekārtās ir dabasgāze. Tas ir viens no izdevīgākajiem un videi draudzīgākajiem kurināmā veidiem, jo

dabasgāze, salīdzinot ar akmeņoglēm vai mazutu, rada mazāku CO<sub>2</sub> un NO<sub>x</sub> izmešu daudzumu, nerada pelnus un sēra savienojumus (SO<sub>2</sub> un SO<sub>3</sub>). Vācijā ir uzbūvēts ciemats ar 30 individuālām dzīvojamām mājām, kurās uzstādītas mikrokoģenerācijas iekārtas. Vācijā ir pārdotas 85 tūkstoši mikro un mazas jaudas koģenerācijas iekārtas mājsaimniecību, komercuzņēmumu un publisko ēku energoapgādei.

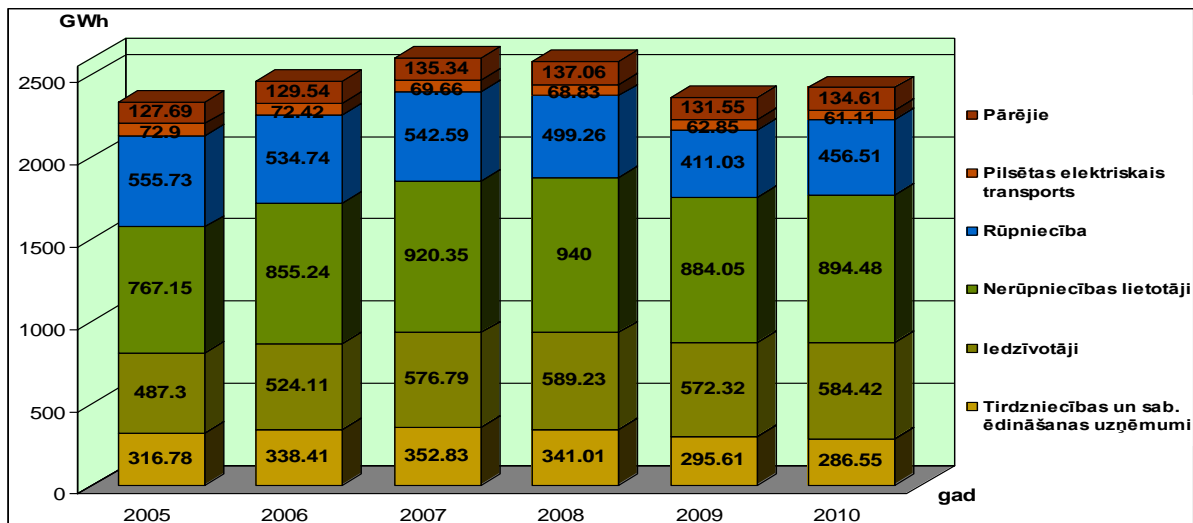
Mikro koģenerācijas iekārtas tehniskie parametri – dabasgāzes patēriņš – 2,1 m<sup>3</sup>/h; siltuma jauda – 12,5 kW; elektriskā jauda – 5,5 kW; kondensācijas gāzes degļa siltuma jauda 15,5 kW; kopējais lietderības koeficients – 89%; lietderības koeficients kondensācijas režīmā 100%, gabarīti 720x1070x1000 mm; svars 530 kg; apkope ik pēc 3500 h, principiālā shēma attēlota 4.2.attēlā.

Eiropā mikrokoģenerācijas iekārtas ražo šādi uzņēmumi - Viessmann, WhisperGen, Bosch Thermotechnik/ Buderus, Baxi, Vaillant, Senertec.



4.2. att. Mikrokoģenerācijas iekārtas darbības principālā shēma

Latvijā visas mājsaimniecības vidēji patērē 38 % no kopējā Latvijas enerģijas patēriņa. Mājokļu siltumapgādei un siltā ūdens sagatavošanai tiek izmantoti 87 % no kopējā energoresursu patēriņa, 13 % (elektroenerģija) sadzīves iekārtu darbības nodrošināšanai un apgaismojumam. Latvijā ir liels elektroenerģijas ražošanas jaudu deficīts. 2010. gada laikā mājsaimniecības Rīgas reģionā patērējušas 580 GWh elektroenerģijas, kas sastāda orientējoši 25% no kopējā enerģijas patēriņa Rīgas reģionā [65], skatīt 4.3. attēlu.



4.3. att. Lietotājiem realizētais elektrības patēriņš GWh Rīgas reģionā

Nodrošinot atbilstošus valsts atbalsta instrumentus mikrokoģenerācijas iekārtu uzstādīšanai mājāsaimniecībās, kā arī motivējot mājāsaimniecības ieguldīt līdzekļus savā energo neatkarībā, iespējama papildus elektroenerģijas ražošana arī mājāsaimniecībās, kas samazinātu elektroenerģijas deficītu. Latvijas teritorijā uzstādītas dabasgāzes apkures iekārtas 39 tūkstošu mājāsaimniecībās, no tām 60% Rīgas reģionā, tas ir 24 tūkstoši mājāsaimniecības (atļautā slodze ir līdz 6 m<sup>3</sup>/h). Mājāsaimniecības apkures iekārta gadā strādā vidēji 5800 h, uzstādot mikrokoģenerācijas iekārtu (ar elektrisko jaudu 1-3 kW), var nodrošināt vidējas ģimenes pašpatēriņu. Vienā mājāsaimniecībā gadā iespējams saražot elektroenerģiju 15 000 kWh apmērā. Darbā aprēķināts, ka veicot esošo gāzes apkures iekārtu nomaiņu 30% mājāsaimniecībās (7,2 tūkstoši mājāsaimniecību) un uzstādot mikrokoģenerācijas iekārtas, Rīgas reģionā viena gada laikā iespējams saražot 108 GWh elektroenerģijas, jeb 18 % no visa nepieciešamā elektroenerģijas apjoma mājāsaimniecībām Rīgas reģionā [53].

Promocijas darba izstrādes laikā izvērtēta Eiropas Savienības pieredze mikrokoģenerāciju iekārtu uzstādīšanā mājāsaimniecībās, aprēķināts elektroenerģijas patēriņš, ko papildus iespējams saražot koģenerācijā mājāsaimniecībās, tas ir līdz 15 000 kWh gadā. Uzstādot koģenerācijas iekārtas mājāsaimniecībās tiek ekonomēti primārie energoresursi. Nomainot vecā tipa neekonomiskos gāzes apkures katlus un uzstādot mikrokoģenerācijas iekārtas mājāsaimniecībās Rīgas reģionā iespējams saražot līdz 18% elektroenerģijas, ko izmantot mājāsaimniecību pašpatēriņam. Tā kā vidējas mājāsaimniecības mikrokoģenerācijas iekārtas dabasgāzes patēriņš nepārsniedz 6 m<sup>3</sup>/h, esošās vidējā spiediena sadales gāzesvadu sistēmas individuālo dzīvojamo māju rajonos var nodrošināt papildus jaunu inovatīvu iekārtu uzstādīšanu.

Viens no dabasgāzes izmantošanas veidiem ir dabasgāze, kā degviela transporta līdzekļos:

- individuāla transporta līdzekļa konversija, kuru veic atbilstoši sertificēta firma;
- standartizēta transporta līdzekļa konversija, kuru veic atbilstoši sertificēta firma izmantojot sertificētas tehnoloģijas;
- sērijveida automašīnu ražošana, kura ir konstruēta dabasgāzes izmantošanai.

Atsaucoties uz augstāk minētajām inovatīvajām tehnoloģijām dabasgāzes izmantošanā, nepieciešams piemērot korektus dabasgāzes patēriņus esošās gāzapgādes sistēmās hidraulisko aprēķinu veikšanai. Lai nodrošinātu gāzes piegādes stabilitāti un iekārtu ekspluatācijas drošību, esošajiem gāzes lietotājiem, kā arī iespēju uzstādīt jaunās inovatīvās iekārtas, nepieciešams aprēķināt maksimālos dabasgāzes stundas patēriņus ( $m^3/h$ ). Aprēķina gāzes patēriņš stundā  $Q_d^h$  ( $m^3/h$ ) jānosaka summējot nominālo gāzes patēriņu, ko patērē gāzes aparāti, un ņemot vērā to darbības vienlaicīguma koeficientu [26]. Gāzapgādes sistēmu aprēķinu piemērus skatīt promocijas darba 3. daļā.

Pamatojoties uz dabasgāzes patēriņa aplēsēm, nepieciešams arī veikt esošās gāzesvadu sistēmas hidrauliskos aprēķinus - īpaši esošai zemā spiediena gāzapgādes sistēmai, papildus izvērtējot pieļaujamos spiediena zudumus.

Šobrīd esošie zemā spiediena ārējie sadales gāzesvadi ir ievērojami noslogoti un spiediena kritumi tajos sāk pārsniegt normatīvi pieļaujamos, savukārt esošā vidējā spiediena sadales gāzesvadu sistēma var nodrošināt papildus iekārtu slodzi individuālās apbūves teritorijās. Ja ir nepieciešama sadales gāzesvadu pārlikšana, papildus nepieciešams veikt tehniski ekonomisko pamatojumu iespējamo investīciju aprēķināšanai.

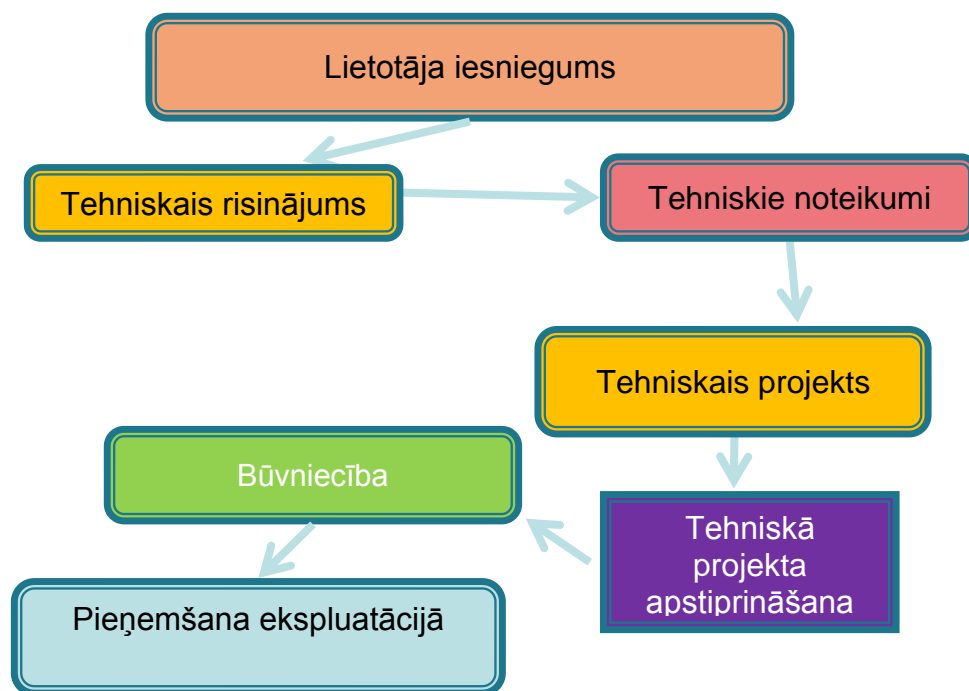
Atsaucoties uz Eiropas Savienības dalībvalstu atbalstu viedās enerģijas ražošanai, kā piemēram mikrokoģenerācija mājāsaimniecībās, kurās tiek izmantota dabasgāze, arī Latvijā būtu nepieciešams valdības atbalsts energoefektīvu tehnoloģiju ar augstu lietderības koeficientu izmantošanā tajā skaitā mikrokoģenerāciju iekārtu, kondensācijas tipa apkures katlu komplektā ar saules kolektoriem uzstādīšanai mājāsaimniecībās, tādējādi vienlaicīgi samazinot CO<sub>2</sub> izmešus.

## 5. IETEIKUMI JAUNBUVĒJAMO GĀZAPGĀDES SISTĒMU IZMAKSU SAMAZINĀJUMAM

### 5.1. Pastāvošā būvniecības shēma un dalībnieki

Lai nodrošinātu katra perspektīvā dabasgāzes lietotāja (turpmāk – Lietotājs) gāzapgādi un veidotu drošu un stabilu gāzapgādes sistēmu valstī ir noteikta konkrēta gazifikācijas kārtība [9, 10].

Pirmkārt tiek izstrādāts perspektīvās gāzapgādes plānojums vai tehniskais risinājums. Savukārt, lai noteiktu tehniski un ekonomiski izdevīgāko gāzapgādes sistēmu [3], nepieciešams izvērtēt perspektīvās gāzapgādes plānojuma tehniskos risinājumus, aprēķinot gāzesvadu diametrus un analizējot dažādu spiedienu gāzapgādes sistēmas gan individuālās apbūves teritorijās, gan jauktas apbūves, gan rūpnieciskajās teritorijās. No klienta ieceres - iesnieguma saņemšanas brīža līdz jauna pieslēguma nodrošināšanai nepieciešamais laika periods ir no dažiem mēnešiem līdz pat vairākiem gadiem, skatīt 5.1. attēlu.



5.1. att. Dabasgāzes pieslēguma nodrošināšanas procesa shēma

Akciju sabiedrība “Latvijas Gāze” ir licencēts komersants – dabasgāzes piegādātājs (turpmāk tekstā - Piegādātājs) pilda dabasgāzes pārvades, sadales, dabasgāzes uzglabāšanas funkcijas un atbild par ekspluatāciju, uzturēšanas nodrošināšanu [52] un attīstību noteiktā

teritorijā [11, 12, 19, 31], kā arī par sistēmas savstarpēju savienošānu ar citām sistēmām un par sistēmas spēju ilgtermiņā nodrošināt pamatotu pieprasījumu attiecībā uz dabasgāzes pārvadi, sadali un uzglabāšanu [80, 81, 85].

Laika patēriņš jaunu pieslēgumu veidošanai ļoti atkarīgs no dažādiem faktoriem:

- perspektīvā dabasgāzes Lietotāja aktivitātes;
- tehniskā risinājuma sagatavošanas uzstādāmās jaudas nodrošināšanai;
- plānotās gāzesvadu sistēmas, jeb trases novietnes ierādes ielu sarkanajās līnijās, ceļu un ielu servitūtos;
- tehniskā projekta izstrādes un saskaņošanas ar nekustamā īpašuma īpašniekiem, iespējamām kompensācijām zemes īpašniekiem;
- būvobjektu realizācijas - izbūves.

Lai nodrošinātu tehniski un ekonomiski pamatotu tehnisko risinājumu, nepieciešams zināt kāds nepieciešamais dabasgāzes patēriņš un spiediens ir jānodrošina, kāds pieslēgums ir jāveido un kādā administratīvajā teritorijā.

Pieslēgumus var sadalīt sekojošās grupās:

1. pieslēgums pie jaunbūvējamās sadales gāzapgādes sistēmas (Investīciju līgums, Pilnvarojuma līgums), jāizbūvē jauns sadales gāzesvads, pievads un iekšvadi dzīvojamai mājai vai ražotnei, darbības pieslēguma nodrošināšanai:
  - būvobjekta (BO) komplektācija – klientu iesniegumu apstrāde, dati par plānoto pieslēgumu skaitu BO;
  - gāzapgādes plānojums, tajā skaitā tehniskais risinājums un gāzesvadu hidrauliskais aprēķins;
  - tehniskie noteikumi - sadales gāzesvadam, pievadam, iekšvadiem;
  - Piegādātāja investīciju līgumu tehnisko projektu izstrādes koordinācija;
  - sadales gāzesvadu, pievadu, iekšvadu tehnisko projektu saskaņošana;
  - tehniski ekonomiskie aprēķini - projektēšanas uzsākšanai, būvniecības uzsākšanai, investīciju analīze;
  - līgumu slēgšana, akta par gāzesvadu izbūvi noformēšana, pavadzīmes un rēķina izrakstīšana (pieslēguma maksa, pieslēgšanas izmaksas, pievada projektēšana un izbūve),
2. pieslēgums pie esošās sadales gāzes apgādes sistēmas, tajā skaitā jaudas palielinājums, nepieciešama pievada un iekšvadu izbūve dzīvojamai mājai vai ražotnei darbības pieslēguma nodrošināšanai:

- Lietotāju iesniegumu apstrāde;
- tehniskais risinājums, gāzesvadu hidrauliskais aprēķins ja plānots lielas jaudas pieslēgums;
- tehniskie noteikumi - pievadam, iekšvadiem;
- pievadu, iekšvadu tehnisko projektu skaņošana;
- vienošanās slēgšana, rēķins (pieslēguma maksa, pieslēgšanas izmaksas).

Pamatojoties uz izstrādāto un saskaņoto teritorijas perspektīvās gāzapgādes plānojumu Piegādātājs izsniedz tehniskos noteikumus [10] un pašvaldību būvvaldēm pieprasa "Plānošanas un arhitektūras nosacījumus" konkrētā būvobjekta tehniskā projekta izstrādei.

Atbilstoši spēkā esošai likumdošanai, nepieciešams izstrādāt gāzes apgādes tehnisko projektu vai tehnisko shēmu. Vispirms veicot ģeodēziskos uzmērījumus un apzinot zemes īpašniekus pa kuru zemi sadales gāzesvadi tiks izbūvēti, kā arī vienojas par apgrūtinājumu kompensācijas izdevumiem. Izstrādāto tehnisko projektu saskaņo ar visiem inženierkomunikāciju turētājiem, juridiskajām un fiziskajām personām, pašvaldības būvvaldi. Individuālo dzīvojamo rajonu, mikrorajonu vai to daļu gāzes apgādes tehnisko projektu izstrādi nodrošina Lietotājs vai Piegādātājs.

Jaunu gāzesvadu izbūve tiek veikta saskaņā ar Lietotāju un Piegādātāja noslēgto pieslēguma līgumu, kurā noteikti sistēmas pieslēguma vada izbūves nosacījumi, pieslēguma maksa, pieslēguma maksas samaksas termiņi un pieslēguma ierīkošanas termiņi.

Ir noteiktas divas Lietotāju grupas:

- māsaimniecības Lietotāji ar gāzes patēriņu līdz 25 tūkst.m<sup>3</sup> gadā;
- rūpnieciskie Lietotāji ar gāzes patēriņu virs 25 tūkst.m<sup>3</sup> gadā.

Promocijas darba 2. daļā aprakstīju dabasgāzes patēriņu aprēķināšanas metodes un sadalījumu atbilstoši Lietotāju grupām. Pamatojoties uz maksimālo dabasgāzes stundas patēriņu aplēsēm pēc promocijas darba 3. daļā dotajām formulām tiek aprēķināti nominālie gāzesvadu diametri. Atbilstoši izstrādātajam gāzapgādes plānojumam, kuros uzrādītas apbūves teritorijas, veicamas būvobjekta plānoto būvismaksu aplēses, kas ir atkarības no sadales gāzapgādes sistēmu tehniskajiem risinājumiem konkrētai gazificējamai teritorijai (vidējā spiediena  $P \leq 0,4$  MPa, vai  $P \leq 100$  mbar, zemā spiediena  $P \leq 25$  mbar), izvēlētajiem gāzesvadu diametriem. Zinot dabasgāzes gada patēriņu apjomu jeb pieslēgumu skaitu desmit gadu periodā un būvobjekta izmaksas izstrādā tehniski ekonomisko pamatojumu Piegādātāja investīciju aprēķinam.

Pamatojoties uz veiktajiem tehniski ekonomiskajiem aprēķiniem tiek pieņemts lēmums par konkrētu līguma formu starp Lietotāju - Piegādātāju. Jauno sadales gāzesvadu būvniecības realizācijai iespējamās šādas līguma formas:

- investīciju līgums;
- pilnvarojuma līgums;
- drošības naudas līgums.

Nākošais etaps ir ārējo sadales gāzesvadu un pievadu, kā arī iekšējo gāzesvadu būvniecība, ko pamatojoties uz konkursu veic licencēta būvsabiedrība, skatīt 5.1 attēlu. Pēc ārējo sadales gāzesvadu, pievadu un iekšējo gāzesvadu izbūves, tiek veikti pasākumi gāzes apgādes sistēmas pārbaudei un nodošanai ekspluatācijā. Ārējos gāzesvadus kā apgrūtinājumu nepieciešams ierakstīt zemesgrāmatā. Katra no šīm uzskaitītajām darbībām ietver papildus pasākumus un saskaņošanas procedūras.

## **5.2. Būvniecības finansēšanas vadlīnijas Latvijas apstākļos**

Gāzesvadu būvniecības finansiālie nosacījumi tiek noteikti, ņemot vērā tarifu struktūru un Piegādātāju aprēķinātos kapitālieguldījumu efektivitātes rādītājus [3]. Par pieslēguma ierīkošanu Lietotājs maksā pieslēguma maksu, kuras veidi, lielumi un pielietošanas nosacījumi noteikti metodikā, kuru apstiprinājis Latvijas Republikas Sabiedrisko pakalpojumu regulators. Pieslēguma noteikumi, kārtība, termiņi un konkrētā pieslēguma maksa tiek fiksēta pieslēguma līgumā starp Piegādātāju un Lietotāju. Pieslēguma ierīkošanas izmaksu daļu pie jaunbūvējamās sadales sistēmas, ko saskaņā ar šo metodiku nemaksā Lietotājs, Piegādātāju iekļauj tarifu veidojošajās izmaksās. Kapitālieguldījumu efektivitātes rādītāji tiek izmantoti, lai pamatotu plānoto kapitālieguldījumu lielumu dotajā objektā un izvērtētu plānoto programmu (īkgadējo un perspektīvo) efektivitāti [3]. Ja pieslēguma ierīkošanas atbalstam izmanto Eiropas Savienības strukturālo fondu, pašvaldību, valsts budžeta vai citus finanšu līdzekļus Piegādātāju ir tiesības ierīkot pieslēgumu bez maksas vai noteikt speciāli šim gadījumam aprēķināto pieslēguma maksu Lietotājam.

Tā kā akcionāri ir noteikuši Piegādātāju investīciju projektiem kapitāla atdeves diskonta likmi 8,0 % apmērā, līdz ar to, lai realizētu jaunu teritoriju (pilsētu, apdzīvotu vietu) gazifikāciju ir nepieciešama papildus finanšu resursu piesaiste. Konkrēts izmaksu sadalījums starp Piegādātāju un Lietotāju var tikt precizēts tikai pēc konkrēta tehniskā projekta un ekonomiskā pamatojuma izstrādes.

Investīciju ietilpīgu projektu - jaunu teritoriju gāzes apgādes iespējamie finansēšanas avoti ir:

- Piegādātāja investīcijas;
- pašvaldības kredītresursi;
- valsts grants;
- Eiropas Savienības līdzfinansējums.

Piegādātāju sava līdzfinansējuma apjomu, pārvades un sadales sistēmas izbūvei, nosaka atkarībā no esošā un perspektīvā gāzes patēriņa apjoma realizējot konkrēto gazifikācijas projektu.

### 5.3. Ekonomiskie aprēķini

Jauno gāzesvadu būvniecības ekonomiskos aprēķinus veic, pielietojot tipveida algoritmus un noteiktās formas. Ekonomiskajos aprēķinos atspoguļo plānoto/faktisko izmaksu struktūru: topogrāfijas izmaksas, projektēšanas izmaksas, būvniecības izmaksas, izmaksas, kas saistītas ar kompensāciju par zemi un pārējās izmaksas.

Kapitālieguldījumu ekonomiskā pamatojuma aprēķinos pielietotās maržas tiek diferencētas, izmantojot vidēji svērtās koeficientu vērtības, starp trim sistēmas lietotāju grupām:

- ar dabasgāzes patēriņa apjomu līdz 25 tūkst.m<sup>3</sup> gadā;
- ar dabasgāzes patēriņa apjomu no 25 tūkst.nm<sup>3</sup> līdz 20 milj.m<sup>3</sup> gadā;
- ar dabasgāzes patēriņa apjomu virs 20 milj.m<sup>3</sup> gadā.

Ekonomiskā pamatojuma aprēķinu veic atbilstoši Piegādātājam apstiprinātai metodikai. Aprēķinā norāda:

- iekšējo projekta ienesīguma normu (IRR);
- kapitālieguldījumu diskontēto atmaksāšanās periodu (gadi);
- projekta tīros diskontētos ienākumus (NPV);
- projekta rentabilitātes indeksu (RI).

Iekšējā ienesīguma norma (IRR) ir diskonta likme, kuru pielietojot, projekta nākotnes ieguvumi un izmaksas ir vienādas ar sākotnējām investīcijām. Investīciju projektu vērtēšana, piemērojot IRR, ir balstīta uz diskonta likmes maksimālā lieluma noteikšanu, pie kuras projekti joprojām ir rentabli [27].

Precīza IRR aprēķināšana ir iespējama tikai ar datora palīdzību, bet manuāli to var aprēķināt, variējot ar dažādām diskonta likmēm, tas ir, ar mēģinājumu un kļūdu palīdzību, vai ar interpolizācijas palīdzības formulu (5.1):

$$IRR = r_1 + \frac{(r_2 - r_1) \times NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \quad (5.1)$$

kur  $r_1$  – lielākā diskonta likme, ar kuru NPV vēl ir pozitīvs;

$r_2$  – mazākā diskonta likme, ar kuru NPV ir negatīvs;

$NPV_1$  – NPV ar diskonta likmi  $r_1$ ;

$NPV_2$  – NPV ar diskonta likmi  $r_2$ .

Kapitālieguldījumu diskontētais atmaksāšanās laiks ir laika periods, kas nepieciešams, lai diskontēto uzkrāto ienākumu summa kļūtu vienāda ar kapitālieguldījumu un ekspluatācijas izmaksu summu. Projekta atmaksāšanās periods tiek noteikts kā paredzamais gadu skaits, kas nepieciešams pilnīgai investīciju izmaksu kompensācijai. Tas ir laika posms gados līdz tam brīdim, kad kapitāla ieguldījuma izmaksas ir pilnībā segtas ar peļņu (neto naudas ieņēmumiem), kas gūta ar šiem ieguldījumiem.

Investīciju projekta atmaksāšanās periods ir visvieglāk nosakāmais projekta vērtības nediskontētais rādītājs, kura aprēķini balstās uz grāmatvedības uzskaites informāciju. Tā vienkāršības dēļ to plaši lieto privāto sektoru mazu investīciju projektu analīzē. Galvenā ideja – jo īsāks laika periods, jo projekts ir izdevīgāks un mazāk riskants. Atmaksāšanās periodu aprēķina - pilnu gadu skaitam pirms atmaksāšanās gada pieskaita nekompensēto vērtību uz atmaksāšanās gada sākumu un dala ar naudas līdzekļu ienākumu atmaksāšanās gada laikā.

NPV (tīrie diskontētie ienākumi) ir projekta (kapitāla) diskontētās vērtības aprēķina metode, kuru izsaka formula (5.2). NPV metode balstās uz naudas plūsmas diskontēšanu. Par diskonta likmi sauc kopējo ieguldījumu atdeves likmi, kuru investors vēlētos saņemt papildus projektu atdevei un kas atspoguļo laika faktoros un ar šo projektu saistītos riskus. Diskontētie neto ieņēmumi ir rādītājs, ko aprēķina, diskontējot visus no projekta gaidāmos naudas izdevumus un ieņēmumus līdz pašreizējai vērtībai. Diskontētie neto ienākumi ir diskontēto naudas ieņēmumu un izdevumu starpība.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (5.2)$$

kur  $CF_t$  – naudas plūsma (*cash flow*) laika periodā,  $t$ ;

$I_0$  – sākuma investīcijas, LVL;

R – diskonta likmes vērtība;

t – laiks (gada numurs).

Rentabilitātes indekss (RI) ir projekta diskontētās vērtības attiecība pret ieguldījumu summu. Būtībā tā ir tā pati NPV metode, tikai izteikta kā proporcija – naudas ieņēmumu NPV pret investīciju apjomu. Projekta peļņas norma dod iespēju salīdzināt investīciju projektus, kuri atšķiras ar izmaksu un ienākumu plūsmām.

Optimālā projekta izvēle ir balstīta uz izmaksas vienības efektivitātes novērtējumu jeb rentabilitāti, ko aprēķina pēc formulas (5.3):

$$RI = \frac{NPV}{PC} \times 100\% \quad (5.3)$$

Efektivitātes koeficientu mēra procentos, un tas rāda tīrās tagadnes naudas plūsmas vērtības līmeni uz investīcijas izmaksu vienību.

Pamatojoties uz Piegādātāja aprēķinātajām katra iepriekšējā kalendārā gada gāzesvadu būvniecības vidējām izmaksām, aprēķina sadales sistēmas būvniecības izmaksas, kuras turpmāk piemēro vienreizējās atlīdzības aprēķinos.

Tiek noteikti prognozētie dabasgāzes patēriņa apjomi: sistēmas lietotājiem, kuriem paredzēts pieslēgums pie jaunbūvējamā gāzesvada un sistēmas lietotājiem, kuru pieslēgums tiek prognozēts pie perspektīvā gāzesvada.

Piegādātāja akcionāri ir noteikuši, ka atgūto kapitālieguldījumu naudas plūsmas iekšējai ienesīguma normai (IRR) jābūt  $\geq 8,0\%$ , attiecībā uz 10 gadu periodu jauno gāzesvadu projektos Klientiem ar gāzes patēriņu virs  $25 \text{ tūkst.m}^3$  gadā un attiecībā uz 12 gadu periodu jauno gāzesvadu projektos Klientiem ar gāzes patēriņu līdz  $25 \text{ tūkst.m}^3$  gadā. Jauno kapitālieguldījumu izvērtēšanai bāzes diskonta likme noteikta  $8,0\%$  apmērā katram gadam visiem Klientiem, rentabilitātes indeksa (RI) vērtībai jābūt  $\geq 1,0$  attiecībā uz 10 gadu periodu jauno gāzesvadu projektos Lietotājam ar gāzes patēriņu virs  $25 \text{ tūkst.m}^3$  gadā un attiecībā uz 12 gadu periodu jauno gāzesvadu projektos Klientiem ar gāzes patēriņu līdz  $25 \text{ tūkst.m}^3$  gadā. Gāzapgādes būvobjekta projekts tiek novērtēts kā ekonomiski pamatots, ja tiek izpildītas šīs metodikas prasības par IRR un diskontētā atmaksāšanās perioda vērtībām, kā arī tiek izpildīti papildus nosacījumi, kad  $RI \geq 1$ .

Visos aprēķinos, kuros pamatota gāzesvadu diametru starpība perspektīvai attīstībai (t.i. perspektīvie dabasgāzes patērētāji), tai skaitā vienreizējas atlīdzības aprēķinos, kapitālieguldījumu izvērtēšanai tiek pielietota diskonta likme  $13,0\%$  apmērā katram gadam visiem sistēmas lietotājiem un iekšējai ienesīguma normai (IRR) jābūt  $> 13,0\%$ , attiecībā uz 10 gadu periodu perspektīvo dabasgāzes vadu projektos sistēmas lietotājiem ar dabasgāzes

patēriņu virs 25 tūkst.m<sup>3</sup> gadā un attiecībā uz 12 gadu periodu perspektīvo dabasgāzes vadu projektos sistēmas lietotājiem ar dabasgāzes patēriņu līdz 25 tūkst.m<sup>3</sup> gadā.

Jaunu sadales vadu izbūve tiek uzsākta tādos apbūves rajonos, pilsētās un ciematos, kur prognozējamais gazificējamo māju skaits ar vidējo gāzes patēriņu 3,0 tūkst. m<sup>3</sup> gadā nav mazāks par 30% otrajā gadā pēc gāzes lietošanas uzsākšanas un 60% desmitajā gadā no maksimāli iespējamā māju skaita vai iespējamā maksimālā gāzes patēriņa 100 tūkst. m<sup>3</sup> gadā. Tehniski ekonomiskā pamatojuma aprēķina piemēru, skatīt tabulā 5.1.

Kapitālieguldījumu efektivitātes rādītāji periodiski tiek izvērtēti katra nākamā gada budžeta izstrādes gaitā un tie var tikt mainīti. Rādītāju izmaiņu gadījumos var tikt pielietoti citi pieslēguma ierīkošanas noteikumi.

5.1. tabula

Tehniski ekonomiskā aprēķina piemērs

Apbūves rajona gazifikācijas tehniski ekonomiskais pamatojums										
Max dzīvojamo māju skaits būvobjektā, <i>gab</i>	140	Dzīvojamās mājas dabasgāzes gada patēriņš, <i>tūkst.m<sup>3</sup></i>			3.0	Kapitālieguldījumi (bez PVN), <i>Ls</i>				79920.00
1.kārtas dzīvojamo māju skaits, <i>gab</i>	50	Piesaistītie līdzekļi par sadales gāzesvada izbūvi no vienas dzīvojamās mājas, <i>Ls</i>			590,00	Operatora iespējamās investīcijas, <i>Ls</i>				54538.00
60% dzīvojamo māju skaits no max, <i>gab</i>	84	Dzīv. Mājas gada abonentmaksa, <i>Ls</i>			7.80	Piesaistīto līdzekļu summa, <i>Ls</i>				25382.00
Zemes gabalu (dzīvojamo māju) blīvums uz 1km	47	Sadales gāzes vada garums, <i>m</i>			3000	Operatora investīcijas vienai dzīvojamai mājai, <i>Ls</i>				556.51
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dzīvojamo māju skaits, <i>gab.</i>	50	58	66	74	82	90	98	98	98	98
Dabasgāzes patēriņš, <i>tūkst.m<sup>3</sup></i>	150	174	198	222	246	270	294	294	294	294
Dabasgāzes cena, <i>Ls/tūkst.m<sup>3</sup></i>	89.49	95.81	95.81	95.81	95.81	95.81	95.81	95.81	95.81	95.81
Piesaistīto līdzekļu summa (klientu vienreizēja iemaksa), <i>Ls</i>	12950	2072	2072	2072	2072	2072	2072	2072	2072	2072

Pieaugot sadzīves pakalpojumu un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumu nozīmei, kā arī energoefektīvu apkures iekārtu uzstādīšanai mājāsaimniecībās, dabasgāzes patēriņš mājāsaimniecībām īpaši ēdiena gatavošanai ir samazinājies un turpina samazināties, līdz ar to

īpaši jāizvērtē investīcijas daudzdzīvokļu dzīvojamo māju un individuālo dzīvojamo māju sadales gāzapgādes sistēmu izbūvē.

#### 5.4. Priekšlikumi gazifikācijas procesa optimizēšanai un būvniecības izmaksu samazināšanai

Atsaucoties uz darba 3. daļā veiktajiem pētījumiem, kuros tika veiktas gāzesvadu hidrauliskās aplēses augstā spiediena  $P < 0,6$  MPa gāzapgādes sistēmai, modelējot dažādas noslodzes - 2000 ( $m^3/h$ ), 4000 ( $m^3/h$ ), 6000 ( $m^3/h$ ), 8000 ( $m^3/h$ ), ar datorprogrammu OptiPlan tika aprēķināti gāzesvadu diametri, dabasgāzes spiediena zudumi ( $\Delta P$ ), izvērtēti optimālie tehniskie risinājumi, aprēķinātas būvniecības izmaksas 1000 m gāzesvadu posmiem ar diametriem - DN 80 mm, DN 100 mm, DN 125 mm, DN 150 mm, DN 200 mm. Izmaksu salīdzinājums veikts, pamatojoties uz vidējām 2011. gada būvniecības izmaksām, tērauda caurulēm (DN 80 mm, DN 100 mm, DN 125 mm, DN 150 mm, DN 200 mm) bez asfalta seguma atjaunošanas, skatīt 5.2., 5.3. un 5.4. tabulas.

5.2. tabula

Cauruļvadu izmaksu samazinājums, optimizējot spiediena zudumus, pie dabasgāzes patēriņa - 2000( $m^3/h$ ), 4000( $m^3/h$ )

Patēriņš Spiediens	2000 ( $m^3/h$ )		4000 ( $m^3/h$ )	
	Diametrs (DN)	LVL/1000m	Diametrs (DN)	LVL/1000m
5,5 bar	100	52 0100	125	53 7000
4,5 bar	80	43 2800	100	52 0100
Izmaksu samazinājums		8 7300 (16,8 %)		1 6900 (3,0 %)

5.3. tabula

Cauruļvadu izmaksu samazinājums, optimizējot spiediena zudumus, pie dabasgāzes patēriņa - 6000( $m^3/h$ ), 8000( $m^3/h$ )

Patēriņš Spiediens	6000 ( $m^3/h$ )		8000 ( $m^3/h$ )	
	Diametrs (DN)	LVL/1000m	Diametrs (DN)	LVL/1000m
5,5 bar	150	62 7900	200	79 3700
4,5 bar	125	53 7000	150	62 7900
Izmaksu samazinājums		9 0900 (14,5 %)		16 5800 (20,9 %)

5.4. tabula

Cauruļvadu izmaksu samazinājuma kopsavilkums

Dabaszāzes spiediena starpība (bar)	Dabaszāzes patēriņš (m <sup>3</sup> /h)	Diametru samazinājums (mm)	Izmaksu samazinājums LVL/1000 m
5,5 / 4,5	2000	100 / 80	8 7300
5,5 / 4,5	4000	125 / 100	1 6900
5,5 / 4,5	6000	150 / 125	9 0900
5,5 / 4,5	8000	200 / 150	16 5800

Pamatojoties uz darbā veiktajiem pētījumiem:

- pamatotu dabaszāzes patēriņu aprēķināšanai [52, 54];
- optimālu gāzapgādes sistēmu parametru (diametrs, materiāls, spiediens, plūsmas apjoms) izvēlei,

secināts, ka iespējams ekonomēt būvniecības izmaksas jaunu sadales sistēmu izbūvei 15% apmērā.

Lai uzlabotu gāzapgādes plānojumu izstrādes, tehniski ekonomisko aprēķinu veikšanas kārtību, kā arī optimizētu būvobjektu gazifikācijas procesu sagatavoti šādi priekšlikumi sadales gāzapgādes sistēmu projektu sagatavošanai:

1. noteikt dabaszāzes Lietotāju grupas, atbilstoši pašvaldību teritorijas plānojumos atļautajai izmantošanai (zonējumam) - mazstāvu, daudzstāvu, jaukta, rūpniecības apbūve, lauksaimniecības teritorijas;
2. izmantojot ģeogrāfiskā informācijas sistēmu (ĢIS), kurā atspoguļota esošā gāzapgādes sistēma, kā arī esošā kadastra informācija, ar poligonu palīdzību vienkāršot maksimālā klientu skaita aprēķināšanu individuālo dzīvojamo māju rajonos, konkrētā būvobjekta robežās;
3. aprēķināt pamatotus dabaszāzes maksimālos stundas un gada patēriņus;
4. izmantojot datorprogrammas OptiPlan modelēt optimālas gāzapgādes sistēmas, izvērtējot spiediena zudumus, plānot gāzesvadu sistēmas atbilstoši Lietotāju grupām;
5. hidrauliskajās aplēsēs aprēķinātos sadales gāzesvadu parametrus (cauruļvadu diametru, materiālu, posma garumu) iespējams importēt uz Access datu bāzi un ar Excel palīdzību sagatavot būvniecības izmaksu apjomus;
6. veikt ekonomiskos aprēķinus.

## SECINĀJUMI

1. Konstatēts, ka laika periodā līdz deviņdesmito gadu beigām Latvijas pilsētās izbūvēto augstā un vidējā spiediena sadales gāzesvadu (tranzīta un pamatnoslodzes cauruļvadu) diametri ir par 20% - 30 % liekāki nekā nepieciešams pašreizējai esošajai dabasgāzes slodzei – maksimālajam dabasgāzes stundas patēriņam ( $\text{m}^3/\text{h}$ ):
  - pierādīts, ka aprēķinos piemēroti paaugstināti maksimālie stundas patēriņi, nav ņemta vērā dabasgāzes lietotāju iekārtu vienlaicīgā darbība, sezonālais princips,
  - sadales gāzesvadu diametri aprēķināti ar minimāliem spiediena zudumiem, kas būtiski palielina gāzesvadu diametrus.
2. Pēdējos piecos gados veiktā statistiskā analīze rāda, ka, paaugstinoties iekārtu lietderības koeficientiem un energoefektivitātei, kā arī elektroenerģijas pieprasījumam (20 gados palielinājies par 180%), dabasgāzes gada patēriņi rūpniecībā un lauksaimniecībā samazinās, tajā skaitā māsaimniecībās par 16%.
3. Vidējais faktiskais gada patēriņš māsaimniecībām Latvijā ir - daudzdzīvokļu mājās -  $65 \text{ m}^3/\text{a}$ , individuālās mājās -  $2700 \text{ m}^3/\text{a}$ .
4. Darbā izstrādāta dabasgāzes sadales sistēmu parametru aprēķināšanas metodoloģija, uzlabota tehniski ekonomisko aprēķinu veikšanas kārtība:
  - izmantojot ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (GIS), iespēja vienkāršot maksimālā klientu skaita aprēķināšanu dzīvojamo māju teritorijās,
  - veicot gāzesvadu aplēses ar datorprogrammu OptiPlan, aprēķinātos gāzesvadu parametru datus importēt uz Access datu bāzi un sagatavot būvniecības apjomus.
5. Pilnveidoto cauruļvadu ražošanas tehnoloģiju rezultātā, kas samazina polietilēna un metāla cauruļvadu iekšējo raupjumu un uzlaboto gāzes regulēšanas iekārtu darbības tehniskos rādītājus, var samazināt gāzes regulēšanas iekārtās ieejošā un izejošā gāzes spiediena starpību līdz  $0,005 \text{ MPa}$ , palielināt dabasgāzes caurplūdes apjomu, samazināt augstā spiediena gāzesvadu aprēķinu diametrus no 7 līdz 10%,
6. Veikto pētījumu - pamatotu dabasgāzes patēriņu aprēķināšanai, optimālu gāzapgādes sistēmu parametru (diametrs, materiāls, spiediens, plūsmas apjoms) izvēlei, rezultātā iespējams ekonomēt būvniecības izmaksas jaunu sadales sistēmu izbūvei 15% apmērā.
7. Promocijas darba rezultāti izmantoti divu standartu grozījumu izstrādē - Latvijas Valsts standartā LVS 417:2011 "Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana", nozares standartā LV NS GS 26:2012 „Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrāde”.

## LITERATŪRA

1. AGFW Regelwerk, Arbeitsblatt FW 308, Zertifizierung von KWK – Anlagen – Ermittlung des KWK – Stromes. - Berlin: AGFW, 2009. – 5 S.
2. Aizsargjoslu likums. LR Saeimas likums, 25.02.1997. (Grozījumi 01.01.2013.)
3. Akciju sabiedrības "Latvijas Gāze" metodikai ekonomisko nosacījumu noteikšanai jaunu dabasgāzes vadu būvniecībā. Rīga: AS „Latvijas Gāze”, 2008. – 6 lpp.
4. Akciju sabiedrības “Latvijas Gāze” 2011. gada pārskats. Rīga: AS „Latvijas Gāze”, 2012. - 48 lpp.
5. Balodis M., E.Vesperis E. Elektroenerģētika topošajā Eiropas Savienības Energoefektivitātes direktīvā// Enerģija un Pasaule. – 2011. - Nr. 6. - 41.-48. lpp.
6. Barkāns J. Enerģijas racionāla izmantošana. - Rīga: RTU izd., 2003. - 283 lpp.
7. Bode I., Laube I., Platais I. Assessment of the technical condition of the system of distribution gas pipelines// Būvzinātne. - Rīga: RTU izd., 2013. - 6 lpp. [Pieņemts publicēšanai]
8. Būvniecības likums. LR Saeimas likums, 30.08.1995. (Grozījumi 26.12.2012.)
9. Dabasgāzes piegādes un lietošanas noteikumi. LR MK noteikumi Nr.1048, 29.12.2008. – 16 lpp.
10. Dabasgāzes sistēmas pieslēguma noteikumi. Sabiedrisko Pakalpojumu Regulēšanas Komisijas padomes lēmums Nr.233, 16.07.2008. – 5 lpp.
11. Dāvis A. Latvian Natural Gas System and Its Development// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. - 2000. - No 1. – pp 9-34
12. Davis A., Kreslins A., Zebergs V., Zeltins N. Evaluation of a Risk Level of Gas Supply of the Baltic Countries and Risk Criteria of UGS// Proc. 24<sup>th</sup> World Gas Conference Buenos Aires, Argentina, 2009. - 7 p CD
13. Dāvis A., Laube I., Bode I. Use of Natural Gas in Cogeneration at Households. - Bukarest: Proc. WEC Central & Eastern Europe energy forum, FOREN 2012, Romania, 2012. - 6 p. CD
14. Denafas G., Revoldas V., Kudrenickis I. etc. Environmental Consequences of the Use of Biomass and Combustible Waste in the Baltic Region// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2002. - No 2. – pp 24 - 44.
15. Deutsche normen DIN 2425 Teil 3. Planwerke für die Versorgungswirtschaft, die Wasserwirtschaft und für Fernleitungen, Pläne für Rohrfernleitungen Technische Regel des DVGW. - Berlin: NAW im DIN, 1980. - 12 S.

16. Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches DVGW Regelwerk. Technische Mitteilung Hinweis GW 126. Verfahren zur Erstellung von Basiskarten. - Bonn: DVGW, 1998. - 20 S.
17. Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches DVGW Regelwerk. Technische Regel Arbeitsblatt GW 303-1. Berechnung von Gas und Wasserröhrnetzen - Teil 1. „Hydraulische Grundlagen, Netzmodellierung und Berechnung. - Bonn: DVGW, 2006. - 42 S.
18. Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches DVGW Regelwerk. Technische Mitteilung Hinweis GW 303-2. Berechnung von Gas und Wasserröhrnetzen - Teil 2. „GIS – gestützte Röhrnetzberchnung“. - Bonn: DVGW, 2006 - 16 S.
19. Dravnieks D., Preimate I., Laube I. u.c. Informatīvais ziņojums „Dabas gāzes piegādes infrastruktūras pieejamības paaugstināšanas iespējas Latvijas teritorijā“. – Rīga: Ekonomikas ministrija, 2007. – 8 lpp. Internets. - <http://195.244.155.183/lv/mk/tap/?pid=30336317>
20. Dzelzītis E. Siltuma, gāzes un ūdens inženiersistēmu pamati. - Rīga: Gandrs, 2005.- 414 lpp.
21. Energy – Efficiency. A Shortcut to Kyoto Targets. The vision of European home appliance manufactures. European Committee of Manufacturers of Domestic Equipment. - Brussels: Ceced, 2005. – 32 p.
22. Energy Efficiency Requirements in Building Codes - Energy Efficiency Policies for New Buildings. –Brussels: OECD/IEA, 2008. -132 p.
23. Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2007.–2016. gadam. LR MK rīkojums Nr.571, 01.08.2006.
24. Enerģētikas likums. LR Saeimas likums, 22.09.1998. (Grozījumi 27.11.2012.).
25. Ēku energoefektivitātes likums. LR Saeimas likums, 21.12.2012.
26. Gazificēto pilsētu un apdzīvoto vietu gāzes apgādes shēmu korekcijas noteikumi, Akciju sabiedrība “Latvijas Gāze”, 2001. – 6 lpp.
27. Hofs K.G. Biznesa ekonomika. - Rīga: Jāņa Rozes apgāds, 2002. - 560 lpp.
28. Horlacher H. B. Lüdecke H. J. Strömungsberechnung für Rohrsysteme. – Deutschland: Berlin, 2006. – 341 S.
29. Jansons L. Latvijas gāzes sektora attīstība pirmās Latvijas Republikas pastāvēšanas laikā (1918-1940)// Enerģija un pasaule. - 2004. - Nr.3. - 70.-72. lpp.
30. Jansons L. Lielo pārmaiņu laiks – Latvijas gāzes sektora attīstība PSRS (1945-1991)// Enerģija un pasaule. - 2004. - Nr.4. - 74.-77. lpp.

31. Ješina A. Promocijas darbs Pasaules naftas tirgus ietekme uz gāzes tirgu Latvijā: tehniskie un komerciālie aspekti.- Rīga: RTU izd., 2006. – 123 lpp.
32. Kreslins A., Gedrovics M., Jesinska A. On the Substitutability of Natural Gas and Liquid Fuels (oil products)// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. - 2003. - No. 6 p 14 - 22.
33. Latvijas būvnormatīvs LBN 002-01 Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika. LR MK noteikumi Nr. 495, 30.11.2001.
34. Latvijas būvnormatīvs LBN 003-01 Būvklimatoloģija. LR MK noteikumi Nr. 376, 29.08.2011.
35. Latvijas būvnormatīvs LBN 202-01 Būvprojekta saturs un noformēšana. LR MK noteikumi Nr. 658, 05.10.2007.
36. Latvijas būvnormatīvs LBN 208-00 Publiskās ēkas un būves. LR MK noteikumi Nr.411, 01.12.200.
37. Latvijas būvnormatīvs LBN 211-98 Daudzstāvu daudzdzīvokļu dzīvojamie nami. LR MK noteikumi Nr. 409, 23.10.1998.
38. Latvijas būvnormatīvs LBN 242-02 Gāzes sadales un lietotāju ārējie tīkli. LR MK noteikumi Nr. 485, 03.07.2008.
39. Latvijas enerģētika skaitļos. - Rīga: Gandrs, 2010. – 61 lpp.
40. Latvijas Valsts Nozares Standarts LV NS GS 03-2004 Gāzapgādes sistēmas. Dabasgāzes gāzesvadu ar spiedienu līdz 1,6 MPa (16 bar) un to iekārtu (ierīču) plāni un apzīmējumi. - Rīga: Latvijas Standarts, 27.08.2004. - 25 lpp.
41. Latvijas Valsts Nozares Standarts LV NS GS 06-2006 Dabasgāzes uzpildes stacijas un uzpildes iekārtas. - Rīga: Latvijas Standarts, 2006. – 28 lpp.
42. Latvijas Valsts Nozares Standarts LV NS GS 16:2010 Sadales gāzesvadu sistēmas. Spiediena paaugstināšana ekspluatācijā esošos gāzesvados. - Rīga: Latvijas Standarts, 2010. - 9 lpp.
43. Latvijas Valsts Nozares Standarts LV NS GS 22:2011 Gāzes regulēšanas iekārtas ar ieejas spiedienu līdz 1,6 MPa (16 bar). - Rīga: Latvijas Standarts, 2011. – 46 lpp.
44. Latvijas Valsts Nozares Standarts LV NS GS 26:2010 Perspektīvās gāzapgādes plānojumu izstrāde. - Rīga: Latvijas Standarts, 2012. – 10 lpp.
45. Latvijas Valsts Standarts LVS 417:2002 Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana. - Rīga: Latvijas Standarts, 28.11.2002. - 28 lpp.

46. Latvijas Valsts Standarts LVS 417:2011 Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Ārējie gāzesvadi un regulēšanas iekārtas. Projektēšana. - Rīga: Latvijas Standarts, 28.11.2002. – 28 lpp.
47. Latvijas Valsts Standarts LVS 418:2010 Gāzapgādes sistēmas. Ārējie gāzesvadi. Būvdarbi. - Rīga: Latvijas Standarts, 28.11.2002. – 41 lpp.
48. Latvijas Valsts Standarts LVS 419:2010 Iekšējie gāzesvadi. Ierīkošana. - Rīga: Latvijas Standarts, 2010. - 13 lpp.
49. Latvijas Valsts Standarts LVS 420:2010 Gāzes iekārtas. Gāzes aparātu uzstādīšanas noteikumi - Rīga, Latvijas standarts, 2010. - 35 lpp.
50. Latvijas Valsts Standarts LVS 421:2010 Gāzes sadales un lietotāju sistēmas. Papildprasības polietilēna gāzesvadu projektēšanā, būvniecībā un remontā. - Rīga: Latvijas Standarts, 28.11.2002. – 28 lpp.
51. Latvijas Valsts Standarts LVS 422:2010 Dabāsgāzes transporta (maģistrālās) sistēmas cauruļvadu projektēšana. - Rīga: Latvijas Standarts, 19.12.2002. – 18 lpp.
52. Laube I., Platais I. Experimental research of natural gas consumption// Proc. 5th annual conference of young scientists on energy issues „CYSENI 2008” - Kaunas, Lithuania, 29.05.2008. – 6. p. CD
53. Laube I., Bode I., Platais I. Efficient Use of Natural Gas Energy in Cogeneration in Households// Būvzinātne. - Rīga: RTU izd., 2013. - 7 p. [Pieņemts publicēšanai]
54. Laube I., Bode I., Platais I. Methodology of Calculating Natural Gas Consumption// Būvzinātne. - Rīga: RTU izd., 2013. - 10 p. [Pieņemts publicēšanai]
55. Lietuvos Respublikos ūkio ministro isakymas. Skirstomųjų plienu dujotiekiu irengimo taisykles. - Vilnius: Rekona, 2008. - 78 lpp.
56. Martinsone I. Gāzes Latvijā 140 (1862-2002). - Rīga: Aģentūra VB Plus, 2003. - 85 -113 lpp.
57. Method of Test for Measurement of Flow of Gas, ASHRAE Standart 41.7-1984(RA2006). - Atlanta: ASHRAE, 2006. - 14 p.
58. Metodiskie norādījumi par dabāsgāzes uzskaitē un dokumentos piemērojamām mērvienībām, to terminiem, apzīmējumiem, pārrēķināšanas koeficientiem un saīsinājumiem. - Rīga: Akciju sabiedrība "Latvijas Gāze", 2005. – 8 lpp.
59. Nacionālā plānojuma noteikumi. LR MK noteikumi Nr.515, 26.11.2002. - 3 lpp.
60. National Control Commission for Prices and Energy. Annual Report on Electricity and Natural Gas Markets of the Republic of Lithuania to the European Commission. - Vilnius: NCC, 2011. - 118 p.

61. Noteikumi par ārējo inženierkomunikāciju izvietojumu pilsētās, ciemos un lauku teritorijās. LR MK noteikumi Nr.1069, 28.12.2004. - 5 lpp.
62. Platais I., Graudiņš P. Gāzapgāde. 1. daļa Ogļūdeņražu deggāzes, to īpašības, metroloģija un sadedzināšana. - Rīga: RTU izd., 2008. - 100 lpp.
63. Platais I., Graudiņš P. Gāzapgāde. 2. daļa Dabasgāzes gāzapgādes sistēmu izveide, ierīkošana un apkalpe. - Rīga: RTU izd., 2008. - 220 lpp.
64. Platais I., Smirnovs J. Gāzu īpašības un sadedzināšana. - Rīga: Liesma, 1975. - 83 lpp.
65. Rīgas pilsētas ilgtspējīgas enerģētikas rīcības plāns 2010.-2020.gadam. Rīgas domes lēmums Nr. 1644, 06.07.2010.
66. Shobr J., Novak J., Rehak K. SI Units and Conversion Factors for Some Physico – chemical Quantities. - Prague: Copyright, 1997. – 78 p.
67. Statistical model of segment-specific relationship between natural gas consumption and temperature in daily and hourly resolution.- 2010./Internets.- <http://cdn.intechopen.com/pdfs/11496/InTech->
68. Teritorijas attīstības plānošanas likums. LR Saeimas likums, 03.11.2011.
69. The European Educational Tool on Cogeneration. Second Edition. - European Union: COGEN, 2001. - 18 p.
70. Vietējās pašvaldības teritorijas plānošanas noteikumi. Ministru Kabineta noteikumi Nr.883, 12.05.2009.
71. Vispārīgie būvnoteikumi. Ministru Kabineta noteikumi Nr.112, 04.04.1997. (Grozījumi 06.08.2011).
72. Vostrikovs S. Latvijas energoresursu attīstības prognozes. Promocijas darbs. – Rīga: RTU, 2008. - 102 lpp.
73. Zeltiņš N. Pazemes gāzes krātuves// Enerģija un pasaule. - 2004. - Nr.4. - 68.-73. lpp.
74. Zeltiņš N., Zēbergs V., Kudreņickis I. Siltuma procesu gazifikācijas efektivitāte un gāzes tirgus paplašināšana Latvijā. 2. etaps. Siltuma patēriņa normu un attiecīgu gāzes patēriņa normu novērtēšana un precizēšana gāzes tīklu aprēķiniem. - Rīga: Latvijas Zinātņu Akadēmijas Fizikālās enerģētikas institūts, 1999. - 41 lpp.
75. Ляубе И.С., Батраков А.Е. Экспериментальное изучение стантартов потребления природного газа в Латвийской республике// Тр. II-я Международная научная заочная конференция Российская Федерация, „Актуальные вопросы современной технологии”, - Липецк, 02.10.2010. – с. 278-284.

76. Лаубе И.С., Батраков А.Е. Инновационные технологии в энергоснабжении домашних хозяйств// Тр. III-я Международная научная заочная конференция „Актуальные вопросы современной технологии”, - Липецк, 29.01.2011.– с. 51-56.
77. Ионин А. А. Газоснабжение. - Москва: Стройиздат, 1989. - 440 с.
78. Карпюк И. А. Газоснабжение Методическая разработка по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1208. - Рига: Рижский Политехнический Институт, 1985. - 109 с.
79. Прикладной модуль ПГС. Схемы газовых сетей. - Москва: ZIEGLER – informatics GmbH, 1994. - 138 с.
80. Прогноз развития системы магистральных газопроводов Латвии с учетом расширения Инчукалнского ПХГ, оптимизация потоков газа на территории Латвии и развитие услуг по поставке газа в Эстонию, Литву и на Запад России, Том 1 Рынок газа и потребность в подземных газохранилищах. - Санкт- петербургб: ОАО Гипроспецгаз, 2004. - 143 с.
81. Прогноз развития системы магистральных газопроводов Латвии с учетом расширения Инчукалнского ПХГ, оптимизация потоков газа на территории Латвии и развитие услуг по поставке газа в Эстонию, Литву и на Запад России, Том 2 Рынок газа и потребность в подземных газохранилищах. - Санкт- петербургб: ОАО Гипроспецгаз, 2004. - 211 с.
82. Свод правил по проектированию и строительству СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. - Москва: Полимергаз, 2008. - 112 с.
83. Строительные нормы и правила СНиП 2.04.08-87\* Газоснабжение. - Москва: Государственный строительный комитет СССР, 1988. - 63 с.
84. Строительные нормы и правила РФ СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. - Москва: Полимергаз, 2011. - 66 с.
85. Техничко-экономических предложений подачи газа реконструируемой ТЭЦ-2, - Санкт- петербургб: ОАО Гипроспецгаз, 2005. - 192 с.

## PUBLIKĀCIJAS

1. Laube I., Platais I. Experimental research of natural gas consumption// Proc. 5th annual conference of young scientists on energy issues „CYSENI 2008” - Kaunas, Lithuania, 29.05.2008. – 6. p. CD
2. Батраков А.Е., Лаубе И.С. Анализ коррозионных дефектов на магистральном газопроводе с пленочным покрытием// Тр. II-я Международная научная заочная конференция Российская Федерация, „Актуальные вопросы современной технологии”, - г. Липецк, 02.10.2010. – с. 85-87.
3. Лаубе И.С., Батраков А.Е. Экспериментальное изучение стандартных потребления природного газа в Латвийской республике// Тр. II-я Международная научная заочная конференция Российская Федерация, „Актуальные вопросы современной технологии”, - Липецк, 02.10.2010. – с. 278-284.
4. Батраков А.Е., Лаубе И.С. Расчет коррозионного повреждения на магистральном газопроводе с учетом анализа данных внутритрубной диагностики// Тр. II-я Международная научная заочная конференция Российская Федерация, „Актуальные вопросы современной технологии”, - Липецк, 02.10.2010.– с. 87-90.
5. Лаубе И.С., Батраков А.Е. Инновационные технологии в энергоснабжении домашних хозяйств// Тр. III-я Международная научная заочная конференция „Актуальные вопросы современной технологии”, - Липецк, 29.01.2011.– с. 51-56.
6. Davis A., Laube I., Bode I. Use of natural gas cogeneration at households// Proc. WEC Central & Eastern Europe Energy Forum “FOREN 2012” - Bucharest, 17. - 21.06.2012. – 10 p. CD
7. Bode I., Laube I., Platais I. Assessment of the technical condition of the system of distribution gas pipelines// Scientific Journal of RTU. 2 series., Būvzinātne. - 2013. – 6 p. [Pieņemts publicēšanai]
8. Laube I. Bode I. Platais I. Energy efficient use of natural gas in cogeneration in households// Scientific Journal of RTU. 2 series., Būvzinātne. - 2013. – 7 p. [Pieņemts publicēšanai]
9. Laube I. Bode I. Platais I. Methodology of Calculation Natural Gas Consumption// Scientific Journal of RTU. 2 series., Būvzinātne. 2013.– 10 p. [Pieņemts publicēšanai]
10. Dravnieks D., Preimate I., Laube I., u.c. I Informatīvais ziņojums “Dabas gāzes piegādes infrastruktūras pieejamības paaugstināšanas iespējas Latvijas teritorijā”// Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija. – Rīga, 2007. – 8 lpp.  
<http://195.244.155.183/lv/mk/tap/?pid=30336317>