

ANALYSIS OF COMPLEX TECHNOLOGY FOR VEHICLE FUELING WITH BIOMETHANE

KOMPLEKSAS TEHNOLOĢIJAS SPĒKRATA UZPILDĪŠANAI AR BIOMETĀNU ANALĪZE

Inventor Safronov A.¹⁾, Prof.PhD.Habil.Phys Gelfgat Y.²⁾, Assist. Prof. Ph.D.Sc.Eng. Šmigins R.^{3), 4)}

¹⁾Hygen Ltd., ²⁾Institute of Physics of University of Latvia; ³⁾Latvia University of Agriculture; ⁴⁾Institute of Physical Energetics / Latvia
Tel: +371-26340750; E-mail: alex@hygengroup.com

Abstract: In the paper are presented the theoretical and experimental researches of new technology for vehicle fueling with biomethane. In the result of research were realized calculations using thermodynamical and heat transfer formulas; has created a real prototype, to validate working parameters in an experimental demonstration in laboratory conditions.

Keywords: biomethane, vehicle, fueling

INTRODUCTION

The rising of oil prices and ecology aspects are factors motivating the countries around the world to support biofuel research and production. Since the global energy crisis in the 1970s, more extensive attention has been focussed on liquid renewable fuels, such as, vegetable oil, biodiesel and ethanol. All these fuels can be made from different kind of raw materials and therefore they have essential advantages comparing to fossil fuels. During the last years large attention was focused also on biogas production, and it cleaning and upgrading till natural gas standards, allowing to get biomethane. This gaseous fuel also is renewable fuel, because it is produced by the anaerobic digestion or fermentation of different types of biodegradable materials.

During last years biogas production has developed very rapidly due to a governmental support, which guarantees that the electric power, produced in the result of burning of biogas in CHP plants, has to be purchased by power company. But not all biogas companies are interested to produce only electric power, some of them are looking for bio-methane utilization in their car fleet, when biogas is cleaned and upgraded till natural gas physico-chemical properties.

The number of natural gas vehicles is growing rapidly and now it reached almost 14.5 million vehicles in the world with the growing perspective of 18% per year [1]. Best example, where large part of these vehicles is used - municipal sector: city buses, waste collection vehicles, taxis, municipal vehicles, etc. At present one of the main drawbacks for bio-methane utilization widely in private transport sector is that it is expensive and not so effective filling equipment. The objective of this research is to analyze new technology, created by Latvian inventor, which could allow to decrease maintenance expenses and increase effectivity of bio-methane filling equipment.

MATERIALS AND METHODS

Presently, during production of methane compressing equipment, there are used gas-filling multistage compressors with both mechanical and hydraulic drives, which provide the compression of natural gas for its application as a motor vehicle fuel. Complicated construction of compressors with mechanical drive, consumption of large amounts of power during their use, and generation of large amounts of heat, as well as high maintenance costs compensating a wear of movable parts of compressor resulted in the development of compressors with hydraulic drives having some advantages over the compressors with mechanical drives.

After reviewing of realized methane compressing methods, there could be marked a method of company "ECOFUELER" for multistage compressing gas (U.S. Pat.

Kopsavilkums: Dotajā rakstā ir parādīti jaunas tehnoloģijas spēkrata uzpildīšanai ar biometānu teorētiskie un eksperimentālie pētījumi. Pētījumu rezultātā tika veikti aprēķini izmantojot gan termodinamiskās likumsakarības, gan siltuma pārejas sakarības; izveidots reāls prototips darba parametru novērtēšanai eksperimentālos pētījumos laboratorijas apstākļos.

Atslēgas vārdi: biometāns, spēkrats, uzpilde

IEVADS

Pieaugošās degvielas cenas un ekoloģijas aspekti ir faktori, kas motivē valstis visā pasaulē atbalstīt biodegvielu pētījumus un ražošanu. Kopš enerģijas krīzes 1970-ajos daudz lielāka uzmanība tika pievērsta tādām atjaunojamām degvielām kā augu eļļa, biodīzeldegviela un etanols. Visas šīs degvielas var tikt saražotas no dažāda veida organiskajiem materiāliem un tādējādi tām ir nozīmīgas priekšrocības salīdzinājumā ar fosilajām degvielām. Pēdējos gados liela uzmanība pievērsta arī biogāzes ražošanai, un tās attīrīšanai un bagātināšanai līdz dabasgāzes standartiem, ļaujot iegūt biometānu. Šī gāzveida degviela arī ir atjaunojama, jo tā tiek iegūta dažāda veida bioloģiski degradējamu materiālu anaerobās apstrādes vai fermentācijas rezultātā.

Pēdējos gados biogāzes ražošana ir attīstījusies ļoti strauji saistībā ar valdības atbalstu, kas garantē elektroenerģijas iepirkumu no uzņēmumiem, kas biogāzes sadedzināšanas rezultātā koģenerācijas stacijā ražo elektroenerģiju. Taču ne visas biogāzes kompānijas ir ieinteresētas tikai ražot elektroenerģiju; dažas no tām ir ieinteresētas biometāna izmantošanā sev piederošajā autoparkā, kad biogāze ir attīrīta un bagātināta līdz dabasgāzes fizikāli-ķīmiskajām īpašībām.

Dabasgāzes transportlīdzekļu skaits pieaug strauji un tagad tas pasaulē jau ir sasniegusi gandrīz 14.5 miljonus transportlīdzekļu, ar izaugsmes perspektīvu 18% gadā [1]. Labākais piemērs, kur liela daļa šo transportlīdzekļu tiek izmantota – pašvaldības: pilsētas autobusi, atkritumu savākšanas transports, taksometri, pašvaldības transports, utt. Patlaban viens no būtiskākajiem kavēkļiem biometāna plašākai izmantošanai transporta sektorā ir pietiekoši dārgais un nepietiekoši efektīvais uzpildes aprīkojums. Šī pētījuma mērķis ir analizēt jaunu, Latvijas izgudrotāja radītu, tehnoloģiju, kas ļautu samazināt biometāna uzpildes aprīkojuma izmaksas un palielināt tā efektivitāti.

MATERIĀLI UN METODES

Izgatavojot metāna saspiešanas iekārtas, patreiz efektīvi tiek lietoti galvenokārt daudzpakāpju gāzes uzpildes kompresori, gan ar mehānisku, gan hidraulisku piedziņu, kas nodrošina dabasgāzes saspiešanu līdz tādām līmenim, pie kura iespējams izmantot dabasgāzi kā autotransporta degvielu. Kompresoriem ar mehānisku piedziņu ir sarežģīta konstrukcija, ekspluatācijas laikā tie patērē daudz enerģijas un izdala lielu siltuma daudzumu. Turklāt tiem ir augsti ekspluatācijas izdevumi, ar ko kompensē kompresora kustīgo daļu nodilumu. Minēto trūkumu dēļ parādījās kompresori ar hidraulisku piedziņu, kuriem ir vairākas priekšrocības, salīdzinot ar kompresoriem, kuriem ir mehāniskā piedziņa.

Apskatot ražošanā realizētos metāna saspiešanas paņēmienus, var atzīmēt firmas "ECOFUELER" izmantoto gāzes daudzpakāpju saspiešanas paņēmieni (ASV patents

№ 5863186) [2], which predicts multistage gas compressing in series-connected compressing vessels. This is performed by under-pressure supply of a hydraulic fluid, which is being separated from the compressed gas by pistons moving in the vessels during operating cycles of the compressor. This method has found its application in gas-filling devices of "ECOFUELER", including individual gas-filling appliances of HRA type (Home Refueling Appliance). This device is predicted for residential low pressure gas network and from standard residential electric network. The disadvantage of gas-filling devices operated according to this method is their high price limiting the broad use thereof in a private sector. The reason has to do with the need for high-technology constructional elements, mainly for precision hydraulic compressing vessels.

It is known in the art a method for hydraulic compression of gas for fueling a motor vehicle from mobile gas-filling appliances without a dividing piston between the gas and fluid (RU patent № 2128803) [3]. Transfer of gas from accumulating vessels to user's vessels is performed by a displacement of fluid by gas with the sequential transfer of fluid from a previous vessel to the next ones. This method may be used in mobile gas filling units providing large volumes of compressed gas by connection to a gas line with rather high pressure required for this method and having a power supply source of sufficient power (industrial electrical network). Moreover, because the above mentioned condition provided by this method, when upon the termination of compression cycle in a compressing vessel, a certain volume of compressed gas is left in its upper part, the effective volume of the further filling of a working vessel decreases due to significant volume expansion of this left non-displaced volume of the compressed gas. Therefore, the existence of such residual volume of compressed gas left in the working vessel at the end of a compression cycle results in the so called "stretched spring effect" at the stage of filling the compression vessel (residual compressed gas begins to increase many fold in volume).

The object of current investigation is proposed in LV patent Nr. 13661 B [4]. This is a method for compressing gas for fueling vehicles by alternate transfer of gas into two vertically arranged compressing vessels (Fig. 1), its compression and forcing into high-pressure vessels by filling the compressing vessels with working fluid under pressure by means of a hydraulic drive. A novelty of this method lies in that, according to the present invention, each cycle of gas compressing and its forcing out of the compressing vessels is performed until these vessels are fully filled with the working fluid contained in the compressing vessels and alternately forced out of one compressing vessel into the other in response to a signal sent by a fluid-level sensor capable of detecting the full filling of the corresponding compressing vessel. To increase the time required to fuel a motor vehicle, there may be provided the increase in gas pressure by its preliminary compression at the inlet of the compressing vessels.

The principal scheme of gas-filling device is provided in Fig. 1, and it comprises two compressing vessels (1), (2) and the accumulating vessel (31), in the upper necks of which there are mounted shut-off devices (3) integrated with fluid level sensors (4) capable of detecting the full filling of the compressing vessels with working fluid. Compressing vessels (1) and (2), as also accumulating vessel (31) has also lower necks connected to hydraulic mainlines. A hydraulic pump (5) with an electric drive (6) is provided with a high-pressure line (7) and low-pressure line (8), which are connected with the compressing vessels (1), (2) and accumulating vessel (31) through shut-off electromagnetic valves (9), (10), (11), (12), (36)

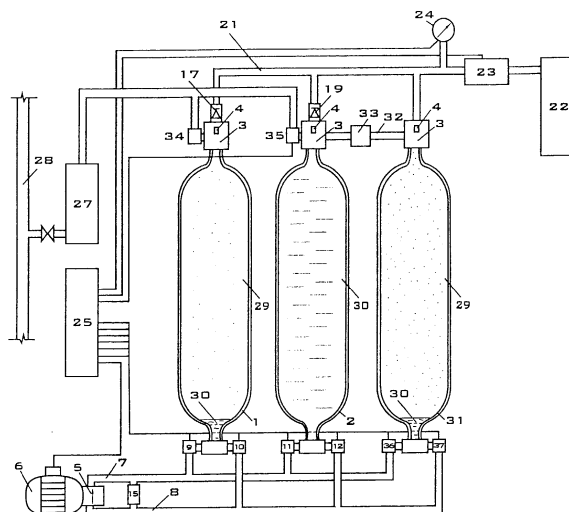
№ 5863186) [2], kas paredz gāzes daudzpakāpju saspiešanu secīgi savienotos gāzes saspiešanas cilindros. Lai gāzi saspiestu, cilindros ievada saspiestu hidraulisko šķidrums, kas atdalīts no saspiežamās gāzes ar virzuļiem, kuri kompresora darba ciklu laikā cilindros pārvietojas. Šis paņēmieni tiek izmantots firmas „ECOFUELER” gāzes uzpildes iekārtās, t.sk. arī individuālas lietošanas gāzes uzpildes iekārtās „HRA” (Home Refueling Appliance). Šīs iekārtas paredzētas pieslēgšanai zemā spiediena sadzīves gāzes sadales tīklam un standarta sadzīves elektrotīklam. Gāzes uzpildes iekārtām, kuru darbība balstās uz šādu gāzes saspiešanas paņēmieni, ir augsta cena, kas ierobežo šādu iekārtu plašu izplatību privātajā sektorā. Augsto cenu nosaka nepieciešamība pēc iekārtas konstruktīvo elementu, it sevišķi saspiešanas cilindru izgatavošanas precizitātes.

Ir zināms arī cits gāzes hidrauliskas saspiešanas paņēmieni autotransporta uzpildei no pārvietojamām gāzes uzpildes iekārtām. Šajā gadījumā kompresora cilindrā saspiežamās gāzes atdalīšanai no šķidruma netiek izmantots virzulis (KF patents № 2128803) [3]. Gāzes padevi patērētājam no uzkrāšanas tvertnēm nodrošina, gāzi izspiežot no tām ar saspiesta šķidruma palīdzību, kas tiek pārsūknēts secīgi no iepriekšējās uzkrāšanas tvertnes uz nākošām. Šo paņēmieni iespējams izmantot transportējamās gāzes uzpildes iekārtās, lai nodrošinātu lielus gāzes saspiešanas apjomus, kad iespējams pievienoties gāzes vadam ar samērā augstu spiedienu, kāds nepieciešams šī paņēmiena realizācijai, un kad ir pieejams pietiekošas jaudas elektrotīkls (rūpnieciskais elektrotīkls). Bez tam, šajā paņēmienā ietvertais nosacījums, ka saspiešanas cikla beigās saspiešanas cilindra augšējā daļā paliek ievērojams saspiešanās gāzes daudzums, samazina saspiešanas cilindra sekojošās uzpildes efektīvo tilpumu tā iemesla dēļ, ka pāri palikusī saspiesta gāze ievērojami izplešas. Tādējādi, saspiešanas ciklam beidzoties, saspiešanas cilindrā paliek pāri ievērojams daudzums saspiesta gāzes, kam jāpiedalās nākošajā saspiešanas ciklā, nosaka to, ka, uzsākot saspiešanas cilindra uzpildi ar saspiežamo gāzi, tajā atlikušās gāzes tilpums vairākkārt palielinās.

Dotā pētījuma mērķis ir ierosināts LV patentā Nr. 13661 B [4]. Šie metode tiek realizēta saspiežamo gāzi pārmaiņus ievadot divos vertikālos saspiešanas cilindros (1. att.), kuros gāzes saspiešana un sekojoša tās pārvietošana uz uzkrāšanas tvertni tiek veikta, saspiešanas cilindros ievadot saspiestu šķidrums ar sūkņa palīdzību. Jaunievedums ir tāds, ka saskaņā ar izgudrojumu, katra gāzes saspiešanas cikla beigās saspiešanas cilindrs ir pilnībā uzpildīts ar šķidrums, t.i., visa saspiesta gāze ir pārvietota uz uzkrāšanas tvertni. Turklāt, gāzes saspiešanai vajadzīgais šķidruma daudzums glabājas saspiešanas cilindros un tiek pārmaiņus pārsūknēts no viena saspiešanas cilindra uz otru pēc signāla, kas tiek saņemts no saspiešanas cilindru maksimālā šķidruma līmeņa devējiem. Lai saīsinātu automobiļa uzpildei patērējamo laiku, iespējams palielināt šī paņēmiena ražību, paaugstinot saspiešanas cilindros ievadāmās gāzes spiedienu ar papildus kompresora palīdzību.

Uzpildes iekārtas principiālā shēma ir parādīta 1. attēlā, un tā sastāv no diviem saspiešanas cilindriem (1), (2) un uzkrāšanas tvertni (31), kuru augšpusē esošajās atverēs uzstādīti noslēgvārsti (3), kuros iebūvēti devēji (4), kas nodrošina maksimālā šķidruma līmeņa kontroli saspiešanas cilindros. Saspiešanas cilindru (1) un (2), kā arī uzkrāšanas tvertnes (31) apakšpusē esošajām atverēm piemontēti šķidruma sadales kolektori. Hidrauliskais sūknis (5) ar elektrodzinēju (6) aprīkots ar augstā (7) un zemā (8) spiediena cauruļvadiem, kuri savienoti ar saspiešanas cilindriem (1) un (2), uzkrāšanas tvertni (31). Uz cauruļvadiem uzstādīti elektromagnētiskie noslēgvārsti (9), (10), (11), (12), (36) un (37). Augstā (7) un zemā (8) spiediena cauruļvadi savā starpā savienoti ar vienvirziena

and (37). High-pressure (7) and low-pressure (8) lines are connected with each other by means of a bypass valve (15). Working spaces of each compressing vessel (1) and (2) through the shut-off devices (3) and opposite connected one-way valves (34-35) and (17), (19) from one side are connected through valves (34) and (35) to an inlet pipeline for gas supply into compressing vessels (1) and (2), and from the other side they are connected through valves (17) and (19) with an outlet pipeline (21) for pumping the gas into the fuel tank of a vehicle (22) through a connector (23).



**Fig. 1 - The principal scheme of high pressure compressor system of gaseous fuel /
Gāzveida degvielas augstspiediena kompresora sistēmas principiālā shēma**

1, 2 – compressing vessels / 1, 2 - saspiešanas cilindri; 3 – shut-off device / 3 - daudzfunkcionālais vārsts; 4 – fluid level sensor / 4 - šķidruma līmeņa noteikšanas elektromagnētiskais devējs; 5 – hydraulic pump / 5 - hidrauliskais sūkņis; 6 – electric drive of hydraulic pump / 6 - hidrauliskā sūkņa elektrodzinējs; 7 – high-pressure line / 7 - augsta spiediena cauruļvads; 8 – low-pressure line / 8 - zema spiediena cauruļvads; 9, 10, 11, 12 – electromagnetic valves / 9, 10, 11, 12 - elektromagnētiskais vārsts; 15 – bypass valve / 15 - vienvirziena drošības pārplūdes vārsts; 17, 19 – one-way valves / 17, 19 - vienvirziena vārsts; 21 – outlet pipeline / 21 - spiedvads; 22 – fuel tank of a vehicle / 22 - automobiļa balons; 23 - connector / 23 - spiedvada un automobiļa balona savienošais balons; 24 – electric contact manometer / 24 - elektrokontaktmanometrs; 25 – electronic control unit / 25 - elektronikas vadības bloks; 27 – filter-drier / 27 - filtrs sausinātājs; 28 – low pressure gas pipeline / 28 - zema spiediena gāzes vads; 29 – gas / 29 - gāze; 30 – working fluid / 30 – šķidrums; 31 – accumulating vessel / 31 - gāzes uzkrāšanas tvertne; 32 – drain tube / 32 - pārplūdes caurulīte; 33 – bypass valve / 33 - vienvirziena vārsts; 34, 35, 36, 37 - electromagnetic valves / 34, 35, 36, 37 - elektromagnētiskais vārsts ;

According to patent the filling of the accumulating vessel (31) is carried out in the following sequence. When starting the gas-filling device, the electronic control unit (25), which runs an operating program, is activated, the electrical drive of the hydraulic pump (6) switches on and the electromagnetic valve (35) opens simultaneously, the electromagnetic valve (9) are brought to the condition wherein the compressing vessel (1) is connected to high pressure line (7), and the compressing vessel (2) is connected to the low-pressure line (8) through the opened valve (12). During the operation of hydraulic pump (5), the working fluid from the lower neck of the compressing vessel (2) through the open valve (12), the low-pressure line (8), the hydraulic pump (5), the high-pressure line (7), the open electromagnetic valve (9), and the lower neck of the compressing vessel (1) is pumped into the compressing vessel (1), from which the gas through the one-way valve (17), and the outline pipeline (21) is displaced into the accumulating vessel (31). This process is accompanied by filling a vacated volume of the compressing vessel (2) with the gas coming from the low-pressure gas pipeline (28) through the open electromagnetic valve (35). Once the working fluid (30) has reached the lower edge of the movable closing element in the valve construction, signal is sent to the electronic device (25) to change the hydraulic flow into a reverse mode, in which the electromagnetic valves (9) and (12) are closed, and the valves (10) and (11) are opened and the working fluid from the fully filled compressing vessel (1) starts filling the compressing vessel (2). The

drošības pārplūdes vārstu (15). Katrs saspiešanas cilindrs (1) un (2) aprīkots ar noslēgvārstu (3), kam piemontēti vienvirziena noslēgvārsti (34-35) un (17), (19), kas nodrošina iespējas savienot katra saspiešanas cilindra (1) un (2) iekšējo tilpumu atsevišķi gan ar zemā spiediena gāzes padeves kolektoru, atveroties vienvirziena noslēgvārstam (34) vai (35), gan ar saspīestās gāzes spiedvadu (21) gāzes padevei automobiļa balonā (22) caur savienošo balonu (23), atveroties vienvirziena noslēgvārstam (17) vai (19).

Atbilstoši patentā sniegtajai informācijai gāzes uzkrāšanas tvertnes (31) uzpilde norisinās atbilstoši sekojošai procedūrai. Ieslēdzot uzpildes iekārtu, aktivizējas elektroniskais vadības bloks (25), kas uzsāk darba programmas izpildi. Vienlaicīgi tiek ieslēgts hidrauliskā sūkņa elektrodzinējs (6) un atvērts elektromagnētiskais vārsts (35), elektromagnētiskais vārsts (9) tiek pārslēgts stāvoklī, kas savieno saspiešanas cilindru (1) ar augstā spiediena cauruļvadu (7), bet vārsts (12) - stāvoklī, kas savieno saspiešanas cilindru (2) ar zemā spiediena cauruļvadu (8). Darbojoties hidrauliskajam sūkņim (5), šķidrums caur saspiešanas cilindra (2) apakšējo atveri un atvērto vārstu (12), pa zemā spiediena cauruļvadu (8) caur zobratu sūkni (5), pa augstā spiediena cauruļvadu (7), caur atvērto elektromagnētisko vārstu (9) un saspiešanas cilindra (1) apakšējo atveri tiek pārsūknēts uz saspiešanas cilindra (1), no kura gāze caur vienvirziena vārstu (17) un pa spiedvadu (21) tiek pārvietota uz uzkrāšanas tvertni (31). Šo procesu pavada saspiešanas cilindra (2) pakāpeniska uzpilde ar gāzi, samazinoties šķidruma līmenim, un gāze pienāk no zemā spiediena gāzes vada (28) caur atvērto elektromagnētisko vārstu (35). Šķidrumam (30) sasniedzot speciālu kustīgo cilindrisko noslēgēlementu vārsta konstrukcijā, tiek padots signāls uz elektronisko vadības bloku (25) šķidruma plūsmu pārslēgšanai reversa režīmā. Tiek aizvērti elektromagnētiskie vārsti (9) un (12), bet atvērti vārsti (10) un (11), un šķidrums no pilnībā uzpildītā saspiešanas cilindra (1) tiek pārvietots uz saspiešanas cilindra (2). Saspīestās gāzes pārvietošanas process no saspiešanas cilindra (2) un

process of displacement of the gas from compressing vessel (2) and of filling the compressing vessel (1) is similar to the process described above. The repetition of gas filling displacement and fluid (30) pumping cycles results in gradual increase of gas pressure in the outlet pipeline (21) (filling the accumulating vessel (31)). The pressure in the outlet pipeline (21) is monitored by means of the electric contact manometer (24). Once a target pressure in the outlet pipeline (21) has been reached, the manometer (24) sends signal to the electronic control unit (25), and then, on response of the fluid-level sensor (4) of the compressing vessel (2) full with the working fluid, the electronic control unit (25) issues a command to stop the operation of the gas – filling device in the initial condition prepared to begin the filling of the fuel tank of the vehicle (22).

There was realized calculation to analyze thermodynamical processes and to check operation of system, as also realized prototype, which could allow to compare results of theoretical and experimental research.

RESULTS

Theoretical research

In the results of research there were done calculations using thermodynamical legitimacies and heat transfer laws. Calculations were done using the same dimensions of vessels, connections and other details as it is prescribed to use in preparation of the real prototype.

Taking into account that tests of the system will be done at ambient environment temperature $t_{av}=20^{\circ}\text{C}$ and temperature of methane flowing in compressing vessel t_1 is 20°C ; pressure at normal conditions $p_o=101.325$ kPa, barometric pressure $p_b=99.991$ kPa, manometric pressure of methane flowing in compressing vessel $p_{1m}=19.998$ kPa, manometric end pressure in accumulating vessel $p_{2bm}=20$ MPa, and using elementary legitimacies is possible to find out necessary basic parameters:

- Density of methane in normal conditions;
- Density and volume of methane at inflow parameters;
- Value of compression and volume of accumulation vessels;
- Mass of methane sucked in compressing vessel;
- Absolute final pressure in accumulating vessel;
- Mass of methane at the final pressure in accumulating vessel.

In the result of calculation was established that there is necessary to realize 169 compression cycles to get necessity final pressure. Attention was converted also to the changes of methane final temperature at the end of the separate compression cycles. As compression process is a polytropic, then there was accepted appropriate polytropic index. Realizing further calculations there was obtained also changes of values of the final temperature of methane depending from pressure at the end of compression process, which is shown in Fig. 2.

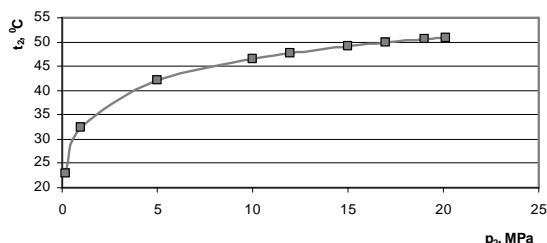


Fig. 2 – The changes of the final temperature of methane at the end of compression process /
Metāna beigu temperatūras izmaiņas saspiešanas procesa beigās

Compression process is connected with flowing of the heat, therefore in that case is important also the amount of flowed heat Q_n (kJ), which can be calculated using formula:

$$Q_n = M c_v \frac{n-k}{n-1} (t_2 - t_1), \quad (1)$$

saspiešanas cilindra (1) uzpildes process ar gāzi ir analogisks tam, kas ir aprakstīts augstāk. Atkārtotot gāzes „uzpildes-saspiešanas” ciklus un šķidrums (30) pārsūkņēšanas ciklus, pakāpeniski paaugstinās gāzes spiediens spiedvadā (21) (norisinās uzkrāšanas tvertnes (31) uzpilde). Gāzes spiediens spiedvadā (21) tiek kontrolēts ar elektrokontakmanometru (24). Kad spiedvadā (21) ir sasniegts uzdotais robežspiediens, manometrs (24) padod signālu uz elektronisko vadības bloku (25), kam seko iekārtas darbības turpināšanās līdz brīdim, kad saspiešanas cilindrā (2) šķidrums sasniedz augšējo pieļaujamo robežu un nostrādā devējs (4). Saņemot signālu no šī devēja, vadības bloks (25) pārtrauc uzpildes iekārtas darbību robežstāvoklī, kāds nepieciešams, lai uzsāktu automobiļa (22) balona uzpildes procedūru.

Tika veikts aprēķins termodinamikas procesa norisei un iekārtas darbības pārbaudei, kā arī izveidots iekārtas prototips, kas ļautu salīdzināt teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātus.

REZULTĀTI

Teorētiskie pētījumi

Pētījumu rezultātā tika veikti aprēķini izmantojot termodinamiskās likumsakarības un siltuma pārejas sakarības. Aprēķini tika veikti, izmantojot cilindru, savienojumu u.c. detaļu izmērus, kādus ir paredzēts izmantot reāla prototipa izveidē.

Ņemot vērā, ka sistēmas izmēģinājumi tiks veikti pie apkārtējās vides temperatūras $t_{av}=20^{\circ}\text{C}$ un saspiešanas cilindrā ietilpstošā metāna temperatūra t_1 arī sastāda 20°C ; normālo apstākļu spiediens $p_o=101,325$ kPa, barometriskais spiediens $p_b=99,991$ kPa, saspiešanas cilindrā ietilpstošā metāna manometriskais spiediens $p_{1m}=19,998$ kPa, manometriskais beigu spiediens uzkrāšanas tvertnē $p_{2bm}=20$ MPa, un izmantojot elementārās likumsakarības var noteikt nepieciešamos pamatparametrus:

- Metāna blīvumu normālos apstākļos;
- Metāna blīvumu un tilpumu pie ietilpdes parametriem;
- Kompresijas vērtību un saspiešanas cilindru tilpumu;
- Saspiešanas cilindrā iesūktā metāna masu;
- Absolūto beigu spiedienu uzkrāšanas tvertnē;
- Metāna masu pie beigu spiediena uzkrāšanas tvertnē.

Aprēķinu rezultātā konstatēts, ka nepieciešamā beigu spiediena iegūšanai ir nepieciešamas 169 saspiešanas cikla reizes. Uzmanība tika pievērsta arī metāna beigu temperatūras izmaiņām atsevišķo saspiešanas ciklu beigās. Tā kā saspiešanas process ir politropisks, tad aprēķinos tika pieņemts attiecīgais politropās pakāpes rādītājs. Veicot tālākus aprēķinus, tika iegūtas arī metāna beigu temperatūras vērtību izmaiņas atkarībā no spiediena saspiešanas procesa beigās, kas parādītas 2. attēlā.

Saspiešanas process ir saistīts ar siltuma novadīšanu, tāpēc būtisks dotajā gadījumā ir arī novadītā siltuma daudzums Q_n (kJ), ko nosaka pēc formulas:

where M - mass of methane sucked in compressing vessel, kg;
 C_V - heat capacity of methane, kJ/(kg·K);
 n - polytropic index;
 k - adiabatic index;
 t_1 - temperature of methane flowing in compressing vessel, °C;
 t_2 - the final temperature of methane in compressing vessel at the additional stages of the cycles, °C.

Calculated values of the amount of the flowed heat are summarized in Tab.1.

kur M - saspiešanas cilindrā iesūktā metāna masa, kg;
 C_V - metāna siltumietilpība, kJ/(kg·K);
 n - politropās pakāpes rādītājs;
 k - adiabatās pakāpes rādītājs;

t_1 - saspiešanas cilindrā ieplūstošā metāna temperatūra, °C;
 t_2 - saspiešanas cilindrā esošā metāna beigu temperatūra attiecīgajos ciklu posmos, °C.

Aprēķinos iegūtā novadītā siltuma daudzuma vērtības apkopotas 1. tabulā.

Table 1 / 1. tabula

Absolute values of the amount of flowed heat in the polytropic compression process /
 Novadītā siltuma daudzuma absolūtās vērtības politropiskā saspiešanas procesā

Temperature of methane flowing in the vessel / Cilindrā ieplūstošā metāna temperatūra t_1 [°C]	The final temperature of methane in the vessel / Cilindrā esošā metāna beigu temperatūra t_2 [°C]	Difference of temperatures / Temperatūru starpība t_2-t_1 [°C]	The amount of flowed heat / Novadītā siltuma daudzums Q_n [kJ]
20	22.9 / 22,9	2.9 / 2,9	2.75 / 2,75
20	32.4 / 32,4	12.4 / 12,4	11.7 / 11,7
20	42.2 / 42,2	22.2 / 22,2	21.0 / 21,0
20	46.5 / 46,5	26.5 / 26,5	25.2 / 25,2
20	47.7 / 47,7	27.7 / 27,7	26.3 / 26,3
20	49.1 / 49,1	29.1 / 29,1	27.6 / 27,6
20	49.9 / 49,9	29.9 / 29,9	28.4 / 28,4
20	50.6 / 50,6	30.6 / 30,6	29.1 / 29,1
20	50.9 / 50,9	30.9 / 30,9	29.3 / 29,3

For the evaluation of the amount of heat from heat transfer process, there were defined other required parameters: surface of heat dividing, speed of fluid rising, etc. During the calculation of the surface of heat dividing suppose that lower base of vessel does not deliver heat in ambient environment because it is covered by fluid layer.

As the productivity of the pump Q_s is known, which is 10 liters per minute, it is possible to calculate speed v_{sk} of fluid rising in compressing vessel during the process, as also time t_{sk} during which fluid fills the compressing vessel. In the result of calculation was established that there are necessary 4.9 minutes to fill the vessel.

The amount of heat Q_τ (kJ) from heat transfer position can be find out from following formula:

$$Q_\tau = \frac{KF(t_2 - t_{av})\tau}{1000}, \quad (2)$$

where K - heat transfer coefficient (taking into account that heat moves from one gaseous environment to another);

F - surface of heat dividing, m²;

t_2 - the final temperature of methane in compressing vessel at the additional stages of the cycles, °C;

t_{av} - ambient environment temperature, °C.

τ - length of compression process, s.

Calculated values of the amount of heat from heat transfer process are summarized in Tab.2.

Lai novērtētu novadīto siltuma daudzumu no siltuma pārejas viedokļa, tiek noteikti citi nepieciešamie parametri: siltumu atdodošā virsma, šķidruma līmeņa pacelšanās ātrums u.c. Nosakot siltuma atdodošo virsmu pieņem, ka cilindra apakšējā pamatne siltumu apkārtējā vidē neatdod, jo dotajā gadījumā to nosedz noteikts šķidruma slānis.

Zinot sūkņa ražību Q_s , kas dotajam sūknim ir 10 litri minūtē, tiek aprēķināts šķidruma līmeņa pacelšanās ātrums v_{sk} saspiešanas cilindrā procesa laikā un arī laiks

t_{sk} , kurā šķidrums piepilda saspiešanas cilindru. Aprēķinu rezultātā tiek konstatēts, ka cilindra piepildīšanai ir nepieciešamas 4.9 minūtes.

Pārvadīto siltuma daudzumu Q_τ (kJ) no siltuma pārejas viedokļa jau var noteikt pēc sekojošas formulas:

kur K - siltuma pārejas koeficients (tiek ņemts vērā, ka siltums pāriet no vienas gāzveida vides otrā);

F - siltumu atdodošā virsma, m²;

t_2 - saspiešanas cilindrā esošā metāna beigu temperatūra attiecīgajos ciklu posmos, °C.

t_{av} - apkārtējās vides temperatūra, °C.

τ - saspiešanas procesa ilgums, s.

Aprēķinos iegūtā novadītā siltuma daudzuma vērtības no siltuma pārejas viedokļa apkopotas 2. tabulā.

Table 2 / 2. tabula

Values of the amount of heat from heat transfer process / Novadītā siltuma daudzuma vērtības no siltuma pārejas viedokļa

Ambient environment temperature / Apkārtējās vides temperatūra t_{av} [°C]	The final temperature of methane in the vessel / Cilindrā esošā metāna beigu temperatūra t_2 [°C]	Difference of temperatures / Temperatūru starpība t_2-t_{av} [°C]	The amount of heat / Siltuma daudzums Q_τ [kJ]
20	22.9 / 22,9	2.9 / 2,9	2.85 / 2,85
20	32.4 / 32,4	12.4 / 12,4	12.2 / 12,2
20	42.2 / 42,2	22.2 / 22,2	21.8 / 21,8
20	46.5 / 46,5	26.5 / 26,5	26.0 / 26,0
20	47.7 / 47,7	27.7 / 27,7	27.2 / 27,2
20	49.1 / 49,1	29.1 / 29,1	28.6 / 28,6
20	49.9 / 49,9	29.9 / 29,9	29.4 / 29,4
20	50.6 / 50,6	30.6 / 30,6	30.1 / 30,1
20	50.9 / 50,9	30.9 / 30,9	30.4 / 30,4

Experimental research

Experimental prototype (Fig. 3) was a base for experimental investigation and within the framework of proper measurements were determined time t_{sk} (vessel filling with fluid), vessel final pressure p_{bc} , final heating temperature t_b in every cycle.

Results of the experimental research confirmed that the process of filling of the vessel with fluid and forcing out of the gas from it can be realized without deflections and in correspondence with safety measures. The filling of the vessel was carried out within ~5 minutes. Vessel and electric drive system complied with established safety measures.

**Eksperimentālie pētījumi**

Pēc eksperimentālā prototipa (3. att.) izveidošanas tika veikti arī attiecīgie eksperimentālie pētījumi, kuru ietvaros katrā ciklā tika noteikts cilindra piepildīšanās laiks (ar šķidrumu) t_{sk} , cilindra beigu spiediens p_{bc} , kā arī cilindra uzsilšanas temperatūra t_b .

Eksperimentālā pētījuma rezultāti apstiprināja, ka cilindra piepildīšanās ar šķidrumu un gāzes izspiešanas process noris bez novirzēm un tiek realizēts atbilstoši uzstādītajām prasībām. Cilindra piepildīšanās laiks tika realizēts ~5 minūšu laikā. Ne cilindra, ne arī elektromotora uzsilšana sistēmas darbības laikā nepārsniedza uzstādītās drošības prasības.



Fig. 3 – Realized high pressure compressor system of gaseous fuel /
Izveidotā gāzveida degvielas augstspiediena kompresora sistēma

CONCLUSIONS

- LV pat. No. 13661 B “Method and device to compress gaseous fuel for vehicles filling” describes device and method how it works in real life conditions. The invention may be applied for biomethane compression;
- In the result of experimental research was approved that the filling of one vessel is carried out within ~5 minutes.
- The prototype achieves the necessary pressure in time due to the theoretical calculation.
- The prototype can give a rise for establishment of the commercial sample, however the commercial sample should be tested in long term conditions to be convinced that the system and separate units of the sample work properly.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the funding from European Regional Development Fund (project Nr. 2010/0279/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/163).

REFERENCES[1]. NGV market growth. www.ngvaeurope.eu;

[2]. Green, J.S., Odom H. (1999) - *Method for compressing gases using a multi-stage hydraulically-driven compressor*. U.S. Pat. No. 5863186.

[3]. Аксенов, Д.Т., Лашкевич Е.Д. (1999) *Способ реализации природного газа и передвижной газозаправщик*. Патент Российской Федерации, 2128803.

[4]. Safronovs, A. (2008). *Gāzveida degvielas saspiešanas paņēmieni autotransporta uzpildei un gāzes uzpildes iekārta šī paņēmiena realizācijai*. LV Pat. LV13661 B.

SECINĀJUMI

- Patenta Nr. 13661 B “Gāzveida degvielas saspiešanas paņēmieni autotransporta uzpildei un gāzes uzpildes iekārta šī paņēmiena realizācijai” ietvaros aprakstītais izgudrojums un paņēmieni ir realizējami dabā un var tikt pielietoti biometāna saspiešanai;
- Eksperimentālo pētījumu rezultātā apstiprinājās, ka viena cilindra piepildīšanai nepieciešamais laiks sasniedz ~5 minūtes.
- Izveidotais prototips sasniedz nepieciešamo spiedienu teorētiskajos aprēķinos konstatētajā laika periodā.
- Izveidotais prototips var kalpot par pamatu komerciāla modeļa izveidošanai, taču pēc tā izveides ir nepieciešams veikt ilgstošāku komerciāla modeļa testēšanu, lai pārliecinātos par visas iekārtas un arī atsevišķu mezglu bezatzeikuma darbību.

ATZINĪBAS

Autori izsaka pateicību par finansiālo atbalstu Eiropas Reģionālās Attīstības Fondam (projekts Nr. 2010/0279/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/163).

LITERATŪRA

[1]. NGV market growth. www.ngvaeurope.eu;

[2]. Green, J.S., Odom H. (1999) - *Method for compressing gases using a multi-stage hydraulically-driven compressor*. U.S. Pat. No. 5863186.

[3]. Аксенов, Д.Т., Лашкевич Е.Д. (1999) *Способ реализации природного газа и передвижной газозаправщик*. Патент Российской Федерации, 2128803.

[4]. Safronovs, A. (2008). *Gāzveida degvielas saspiešanas paņēmieni autotransporta uzpildei un gāzes uzpildes iekārta šī paņēmiena realizācijai*. LV Pat. LV13661 B.