



**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA“ DIN
TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA
DEPARTAMENTUL DE MASINI TERMICE SI
TRANSPORTURI
CENTRUL DE CERCETARI PENTRU MASINI SI
ECHIPA DE REZERVĂ, TRANSPORTURI SI
COMBATAREA POLUARII**

Catedra de Termotehnica, Masini Termice și Autovehicule Rutiere
Bd. Mihai Viteazul 1, 1900 Timisoara ☎: +40-256-403661
E-mail: tmtar@mec.utt.ro

TEZA DE DOCTORAT:

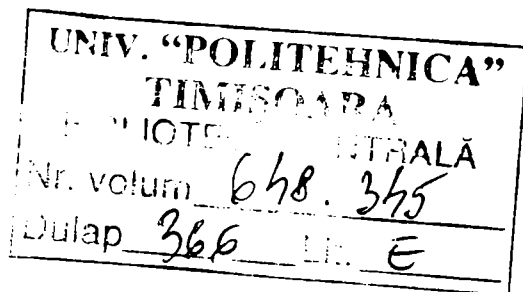
**CONTRIBUȚII LA STUDIUL UTILIZĂRII
GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE ÎN
SISTEME AUTONOME**

DOCTORAND:

Ing. Dan ALEXANDRU

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

Prof. Dr. Ing. Mihai NAGI



2005

Lucrarea

CONTRIBUȚII LA STUDIUL UTILIZĂRII GAZELOR PETROLIERE LICHIDE ÎN SISTEME AUTONOME

are la bază activitatea de cercetare de peste 10 ani a autorului la firma S.C. SISTEMGAS TIMISOARA; a putut fi elaborată și datorită colaborării contractuale a întreprinderii cu Departamentul de Mașini Termice și Transporturi, Facultatea de Mecanică, Universitatea Politehnica din Timișoara

Îmi exprim mulțumirile și considerația față de D-l prof.dr.ing. Mihai NAGI, conducătorul științific al acestei lucrări pentru întreaga activitate de îndrumare științifică și profesională.

Mulțumesc referenților, d-lui prof. dr. ing. Marin BICĂ, d-lui prof. dr. ing. Mircea MARINESCU și d-lui prof. dr. ing. Daniel IORGA pentru atenția deosebită cu care au lecturat manuscrisul, pentru observațiile și sugestiile făcute.

Mulțumesc pe această cale tuturor colaboratorilor de la Universitatea Politehnica din Timișoara, în special d-lui S.l. dr. ing. Dorin LELEA, pentru ajutorul acordat la rezolvarea numerică a ecuațiilor diferențiale precum și domnilor prof. dr. ing. Virgil NEGREA, prof. dr. ing. Mihai JĂDĂNEANȚ și conf. dr. ing. Liviu MIHON pentru sugestiile făcute la susținerea referatelor.

Timișoara, octombrie 2005

AUTORUL

CONTRIBUTIONS TO THE STUDY OF LIQUID PETROLIUM GAS UTILISATION IN AUTONOMOUS SYSTEMS

ABSTRACT

This work tackles liquid petroleum gas utilization in autonomous systems, namely: in domestic and industrial consumption and for internal combustion motors carburetion.

The use of L.P.G. as a fuel offers the possibility of reducing pollution because of a smaller fuel consumption, a bigger output and a low impact on the environment. It has been stood out the absence of lead, additives and material particles and the low presence of other noxas, in relation with gasoline and diesel oil.

Having studied, the author of this thesis has succeeded in finding out an answer to many questions, answers that cannot be found in the specialized literature, such as those linked to the functioning of L.P.G. installations with no vaporizers tanks.

The author has established equations which describe the phenomenon of the vaporization phenomenon of the propane-butane binary mixture in a tank with heat exchange to the environment; the differential equations have been solved using the finite differences method and a calculation programme has been realized. The author has established equations which describe the vaporization phenomenon of the propane-butane binary mixture in a tank with heat exchange to the environment; the differential equations have been solved using the finite differences method and a calculation programme has been realized. The author has built different diagrams, such as: residual liquid mass variation from the tank, the variation in time of the pressure of the gas in the tank, of the temperature of the propane concentration etc.

The experimental researches, on stands allowed the check up of theoretical researches and the raising of some diagrams, such as: the variation in time of the main measured dimensions (over-pressure in the tank, in pipes, the final over-pressure of the gas to the consumer, the debit of the continuously furnished gas by the tank, the gas density in the pipe etc.), the variation of the abrasion coefficient depending on Reynolds' number, etc. All the experimental dates have been interpreted comparatively to those from the calculations and the specialized literature, resulting a good concordance between the two types of values. This result will allow the simulation on the computer of the investigated phenomena.

For other types of tanks and other conditions. It has been established (theoretically and experimentally checked) which are the debits of L.P.G. vapours continuously furnished by a small tank with L.P.G.

The theoretical and experimental researches have already been put in to practice at S.C. SISTEMGAS S.R.L. TIMISOARA.

CUPRINS

Introducere.....	5
Principalele simboluri utilizate.....	5
<i>Capitolul 1</i>	
Utilizarea gazelor petroliere lichefiate.....	8
1.1. Gazele petroliere lichefiate GPL (LPG).....	8
1.2. Scurt istoric privind utilizarea GPL.....	9
1.3. Evoluția prognozată a pieței de GPL.....	12
1.4. Efectele poluării și reducerea lor	13
<i>Capitolul 2</i>	
Stadiul actual al sistemelor autonome de GPL.....	16
2.1. Considerații generale.....	16
2.2. Instalații de utilizare a gazelor petroliere lichefiate.....	17
2.2.1. Instalații casnice de GPL.....	18
2.2.2. Instalații de uz public	19
2.2.3. Instalațiile industriale de GPL.....	19
2.2.4. Părțile componente ale unei instalații de GPL.....	21
2.2.4.1. Rezervoarele de depozitare.....	21
2.2.4.2. Vaporizatoarele de GPL.....	24
2.2.4.3. Regulatele de presiune.....	25
2.2.4.4. Conductele de GPL.....	27
2.2.4.5. Contoare de GPL.....	27
2.2.5. Realizarea instalațiilor de GPL.....	27
2.3. Alimentarea autovehiculelor cu GPL	29
2.3.1. Instalații de GPL pe autoturism	29
2.3.2. Instalații de tip SKID.....	30
2.4. Transportul gazelor petroliere lichefiate	33
<i>Capitolul 3</i>	
Proiectarea instalațiilor de GPL.....	34
<i>Capitolul 4</i>	
Proprietățile termo-fizice ale GPL.....	41
4.1 Probleme generale	41
4.2. GPL-amestec de hidrocarburi.....	43
4.3 Masa specifică a GPL-ului lichid.....	50
4.4 Masa specifică a vaporilor de GPL.....	53
4.5 Capacitatea termică masică.....	54
4.6 Entalpia și entropia specifică pentru GPL.....	56
4.7. Vâscozitatea gazelor petroliere lichefiate.....	58
4.8. Conductivitatea gazelor petroliere lichefiate.....	60
4.9. Tensiunea vaporilor de GPL.....	62
4.10 Parametrii critici pentru GPL.....	64
4.11 Alte proprietăți ale GPL	66
4.11.1. Formare de zăpadă și gheață	66
4.11.2. Punctul de rouă.....	66
<i>Capitolul 5</i>	
Cercetări teoretice privind vaporizarea GPL.....	69

5.1. Relații de echilibru lichid vapori GPL pentru amestecuri binare	70
5.1.1. Diagrama fazelor la temperatura constanta	70
5.1.2. Curba de echilibru la presiune constanta	73
5.1.3. Constanta de echilibru.....	76
5.2. Vaporizarea gazului petrolier lichificat.....	78
5.2.1. Procesul și ecuațiile de vaporizare	78
5.2.2 Rezolvarea sistemului ecuațiilor diferențiale.....	81
5.2.3 Efectul transvazărilor de GPL asupra lichidului rezidual.....	94
<i>Capitolul 6</i>	
Cercetări experimentale privind utilizarea gazelor petroliere lichificate.....	95
6.1. Necesitatea determinărilor experimentale. Considerații generale.....	95
6.2. Stand pentru cercetări experimentale.....	95
6.2.1. Descrierea standului.....	95
6.2.2. Realizarea standului. Materialele și aparatele de măsură.....	99
6.2.3. Gazul petrolier utilizat în cercetările experimentale.....	104
6.2.4. Metodica cercetării experimentale	106
6.2.5. Aparatura de control și verificare din laborator.....	107
6.3. Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale.....	109
6.3.1. Mărimi determinate experimental.....	109
6.3.2. Interpretarea datelor experimentale comparativ cu datele din calcule...	118
6.3.3. Concluzii privind determinările experimentale	123
6.3.4. Calculul erorilor.....	123
6.3.4.1. Erorile de măsurare și propagarea lor.....	123
6.3.4.2. Abaterile mărimilor măsurate direct și calculate	126
<i>Capitolul 7</i>	
Concluzii. Contribuții personale.....	128
7.1. Concluzii.....	128
7.2. Contribuții personale.....	131
Anexe cu diagrame, tabele și normative.....	134
A.1. Constanta de echilibru pentru propan.....	135
A.2. Constanta de echilibru pentru izobutan.....	136
A.3. Constanta de echilibru pentru n-butan.....	137
A. 4. Proprietățile vaporilor saturați de propan.....	138
A. 5. Proprietățile vaporilor saturați de izobutan.....	139
A .6. Programul de calcul VAPGPL.....	140
A.7. Valori obținute în urma rulării programului VAPGPL și experimentale.....	143
Bibliografie.....	153
CV Dan Alexandru.....	159

INTRODUCERE

Teza de doctorat abordează utilizarea gazelor petroliere lichefiate (GPL) în sisteme autonome și anume: în consumul casnic, industrial și pentru carbuția motoarelor cu ardere internă. Utilizarea G.P.L.-ului ca și combustibil oferă posibilitatea reducerii poluării printr-un consum mai mic de combustibil, datorită unui randament mărit și impact mai mic asupra ecosistemului. Se evidențiază absența plumbului, aditivilor și a particulelor materiale și prezența mai scăzută a celorlalte noxe, în raport cu benzina sau motorina. Cercetările au urmărit determinarea parametrilor necesari pentru proiectarea instalațiilor de GPL în general și în special funcționarea celor care nu sunt prevăzute cu vaporizatoare de GPL.

Capitolul 1 are ca obiect descrierea domeniului de utilizare a gazelor petroliere lichefiate, un scurt istoric privind utilizarea GPL, apoi se prezintă evoluția prognozată a pieței de GPL în întreaga lume și în finalul capitolului sunt prezentate pe larg efectele poluării.

Stadiul actual al sistemelor autonome de GPL este prezentat în capitolul 2, unde se trece în revistă toate tipurile de instalații de utilizare a gazelor petroliere lichefiate; casnice, de uz public și cele industriale. Se descriu: modul de realizare a instalațiilor de GPL, alimentarea autovehiculelor cu autogaz și instalațiile de alimentare denumite SKID-uri, precum și instalații de GPL de pe autoturisme și sunt analizate pe larg avantajele și dezavantajele utilizării combustibililor gazoși la autovehicule.

Se fac considerații privind transportul gazelor petroliere lichefiate, acestea fiind considerate *mărfuri periculoase* și transportul lor este reglementat de ADR.

În capitolul 3 se tratează proiectarea instalațiilor de GPL; se pune problema determinării debitului de gaz consumat, stabilirea volumului rezervorului de stocare, dimensionarea conductelor, a reguletoarelor de presiune și a armăturilor.

Capitolul 4 prezintă proprietățile termo-fizice ale GPL, fiind considerat ca un amestec de hidrocarburi. Se analizează principalele mărimi și modul de calcul ale acestora. Este de menționat contribuția autorului la determinarea masei specifice și a tensiunii autogazului.

Capitolul 5, prezintă cercetările teoretice privind vaporizarea GPL-ului în rezervoarele de stocare a instalațiilor fără vaporizatoare. Contribuțiile sunt legate de cercetări privind vaporizarea gazului petrolier lichefiat, în general, și în particular tratarea teoretică a acestui combustibil ca un amestec binar de propan și butan. S-au stabilit ecuațiile care descriu fenomenul vaporizării amestecului binar de propan-butan într-un rezervor fără vaporizator cu schimbul de căldură cu mediul ambiant. Ecuațiile diferențiale au fost rezolvate cu ajutorul metodei diferențelor finite și s-a realizat un program de calcul, scris în limbajul Visual FORTRAN v. 6.0; s-au obținut o serie de diagrame.

Capitolul 6, "Cercetări experimentale privind utilizarea gazelor petroliere lichefiate", este în totalitate contribuția autorului la studiul sistemelor autonome de GPL. După ce se prezintă necesitatea determinărilor experimentale, autorul descrie standul propriu conceput și realizat cu aparatura de măsură și control și metodica cercetării experimentale. Încercările efectuate au permis să se determine mărimile necesare pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor de GPL.

Autorul a interpretat critic toate datele experimentale comparativ cu datele din calcule sau din literatura de specialitate; este o bună concordanță între cele două tipuri de valori, rezultat care permite simularea pe calculator a fenomenelor investigate și pentru alte tipuri de rezervoare și alte condiții

Capitolul 7 este dedicat concluziilor și contribuțiilor personale.

În "Anexe cu diagrame, tabele și normative" sunt trecute diagrame utilizate și tabelele cu mărimi măsurate și calculate. Lucrarea se încheie cu bibliografia consultată și un scurt CV, în limba engleză, al autorului.

PRINCIPALELE SIMBOLURI UTILIZATE

A, S	[m ²]	- aria, suprafața
$c_{ t_1}^{t_2}$	[J/kgK]	- capacitatea termică masică medie
c_p	[J/kgK]	- capacitatea termică masică la presiune constantă
c_v	[J/kgK]	- capacitatea termică masică la volum constant
C_N	[W/m ² K ⁴]	- constanta de radiație a corpului negru
D	[m]	- diametrul
d_e	[m]	- diametrul echivalent
I	[J/kg]	- entalpia masică
I	[J]	- entalpia
k	[W/m ² K]	- coeficientul de transfer termic total
l	[m]	- lungimea, dimensiunea caracteristică
m, N	[-]	- molecule, număr de molecule
m	[kg]	- masa
\dot{m}	[kg/s]	- debitul masic
p, P	[N/m ²]	- presiunea
p_b	[N/m ²]	- presiunea barometrică
q_t	[J/kg]	- căldura latentă de topire
\dot{Q}	[W]	- fluxul termic
S	[m ²]	- secțiunea
T	[°C]	- temperatura (în grade Celsius)
T	[K]	- temperatura absolută
T_N	[K]	- temperatura în starea fizică, normală
v	[m ³ /kg]	- volumul masic
v	[-]	- participare volumică
V	[m ³]	- volumul
W	[m/s]	- viteza
α_t	[W/m ² K]	- coeficientul de transfer termic
α	[-]	-volatilitatea relativă
β	[1/K]	- coeficientul de dilatare liniară
δ	[m]	- grosimea
ζ	[1/K]	- coeficientul de dilatare volumică
ε	[-]	- coeficient de emisie
μ	[-]	- participare masică
η	[Ns/m ²]	- vâscozitatea dinamică
λ	[W/m K]	- conductivitatea termică
v	[m ² /s]	- vâscozitatea cinematică
ρ	[kg/m ³]	- masa specifică
τ	[s]	- timpul
x	[-]	- fracție molară în lichid
y	[-]	- fracție molară în gaz

CAPITOLUL 1

UTILIZAREA GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE

1.1. GAZELE PETROLIERE LICHEFIATE GPL (LPG)

Gazele petroliere lichefiate [1,2] sunt cunoscute în literatura de specialitate a țărilor de origine latină [3,4] cu numele prescurtat de GPL sau în literatura anglo-saxonă LPG (Liquid Petroleum Gas) [5]; aceste prescurtări sunt utilizate atât în scris cât și în discuțiile tehnice curente. Denumirea internațională standard este **LPG**; inscripție care se trece și în cartea de identitate a autovehiculelor alimentate cu gaze petroliere lichefiate.

GPL este un amestec de hidrocarburi, în special C₃ (propan-C₃H₈) și C₄, (izobutan și normal butan-C₄H₁₀, butene-C₄H₈, etc.) cantități mici de hidrocarburi C₅ (pentan) și cantități foarte mici (urme) de hidrocarburi C₂. (etan, propilena, etc.) Aceste hidrocarburi se obțin din prelucrarea petrolului brut și a derivatelor acestuia dar pot fi obținute și din gaze naturale.

În România denumirea de GPL și proporția hidrocarburilor în componența lor, au variat în funcție de politica economică a țării [7] și anume:

- În Indicativul I 31/76 "*Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de utilizare cu G.P.L.*" se definește ca GPL, "Un amestec de hidrocarburi format din butan 90%, propan 9 %, și pentan 1%" (făcându-se referire la ceea ce se numește astăzi "butanul comercial"). *Butanul comercial* s-a folosit până în anul 1990, în țara noastră, în domeniul casnic [8]; proporția de propan (STAS 66-78) fiind limitată la max. 12% din masa de gaz.

- În Indicativul I 31/99 "*Normativ pentru proiectarea și executarea sistemelor de alimentare cu G.P.L.*" se definește ca GPL "*Amestecul de hidrocarburi menținute în stare lichefiată, sub presiune, ce poate fi utilizat în faza gazoasă drept combustibil (propan, propilenă, izo- și normal butan, butene).*"

După 1990 produsele petroliere, din țara noastră, au început tot mai mult să fie aliniate calitativ la nivelul normelor Uniunii Europene [9,10]

În general prin gaze petroliere lichefiate se înțelege propanul comercial și butanul comercial (precum și amestecul dintre ele). Propanul (C_3H_8) și butanul (C_4H_{10}) sunt compuși chimici alcătuiți din carbon (C) și hidrogen (H), ceea ce le justifică denumirea de “hidrocarburi”. *Propanul comercial* este un amestec compus în principal din propan și/sau propenă, restul fiind etan/etenă și izomeri butan/butena [11]; se folosește în instalațiile industriale și civile, inclusiv pentru încălzire. *Butanul comercial* este format în principal din butan și/sau butene și propan/propenă și izomeri pentan; se utilizează aproape exclusiv în domeniul casnic. În locul butanului se folosește de regulă un amestec de butan și propan; cum este cazul *autogazului* utilizat ca și combustibil la motoare cu ardere internă [12,13].

Raportul C3/C4 se stabilește în funcție de utilizarea gazului. Dacă stocarea GPL se face în rezervoare supraterane fixe, raportul C3/C4 trebuie astfel ales încât conținutul recipientului să se vaporizeze în totalitate, asigurând în același timp o presiune suficientă unei utilizări satisfăcătoare [14]; în zonele geografice cu climat rece, gazul lichefiat este constituit practic numai din propan, în timp ce în zonele temperate se folosește un amestec din propan-butan.

Gazele petroliere lichefiate finite trebuie să conțină și cantități foarte mici de substanțe puternic mirositoare (ex. mercaptan) pentru sesizarea olfactivă a prezenței gazelor în atmosferă, în scopul evitării pericolului de explozie (incendiu).

1.2. SCURT ISTORIC PRIVIND UTILIZAREA GPL

În țările puternic industrializate, GPL a fost utilizat de mai bine de 60 de ani și sfera de utilizare continuă să se extindă. Aceste state manifestă o preocupare continuă pentru protecția mediului ambiant și prin stimularea consumului de GPL, stabilind accize foarte mici la GPL și prețuri mai mici la GPL în comparație cu ceilalți carburanți și se acceptă deductibilitatea TVA [15]. Utilizarea GPL-ului ca și combustibil la motoare cu ardere internă (m.a.i.) s-a început încă din anii 80, făcându-se ciclic, perioada de glorie fiind urmată de o perioadă de uitare, deoarece anumite probleme tehnice nu au putut fi rezolvate sau au fost doar parțial rezolvate [16].

Consumul mondial de GPL pentru utilizări casnice, industriale și în autotracțiune era de 136 milioane tone în anul 1999, cu o creștere de 4% pe an în perioada 1995-1997 [17]. Sectorul domestic și de mic comerț reprezenta în 1999 deja 72% din totalul pieței energetice a GPL (exclusiv chimizare), în timp ce ponderea consumului industrial era de 17%. În anul 2000, pe plan mondial existau peste 5 milioane de autovehicule alimentate cu GPL.

În Europa cea mai mare piață de GPL a fost și este Italia. Olanda era pe poziția a doua, în 1999, cu vânzări de 662.773 tone; numărul stațiilor de alimentare a automobilelor cu GPL era în 1999 de 9.145 iar în 2000 existau 315.000 de autovehicule alimentate cu GPL și 1.347 autobuze [18].

În Belgia, Germania, Franța și Anglia se stimulează atât consumul de GPL, prin accize foarte reduse cât și convertirea autovehiculelor pe combustie de GPL.

În Ungaria s-a început aprovizionarea cu GPL la începutul anilor 60; iar din 2000 accizele sunt foarte scăzute pentru stimularea consumului de GPL.

Din anul 2000 în Grecia s-a acceptat utilizarea GPL pentru combustie la toate tipurile de autovehicule.

În țara noastră, până în 1990 GPL era utilizat cu precădere în procese de chimizare, butanul comercial se folosea la consumul casnic. În jurul anilor 70 sunt consemnate și alte încercări, fără o importanță majoră, fără promovare de echipamente și reglementari specifice. După 1990, s-a extins utilizarea GPL ca resursă energetică, în consumul domestic, în turism, sănătate, amenajări locative de grup, în transporturi rutiere, întreprinderile mici și mijlocii, etc.

Piața românească de GPL opera deja în anii 2000 cu peste 150 de agenți economici în domeniile [19]:

- producției și al distribuției GPL-cca.65;
- fabricației de echipamente și aparate pentru GPL- cca.25;
- consultanță tehnică – cca.10;
- montaj și instalații –cca. 45;

Utilizarea GPL se poate clasifica în trei ramuri principale:

- consum casnic și industrial,
- carburant pentru autovehicule,

- petrochimie

În prezent, în România, oferta de resurse energetice primare din producția internă este scăzută, ea situându-se sub nivelul consumului. Deficitul dintre cerere și ofertă este acoperit în principal de importul de gaze naturale și țiței.

În 1996, producția internă de energie primară a fost de circa 48 de milioane de tone de combustibil convențional, ponderea principalelor resurse având-o gazele naturale cu 44%, cărbunele cu 26%, și țițeiul cu 18%;

În anul 2000 gazele naturale importate au avut o pondere de 15% din totalul consumului intern; consumul total al populației fiind de 20% .

Satisfacerea cererii de gaze naturale, chiar utilizându-se alte resurse energetice locale, este dependentă în mare măsură de import. În acest sens, România a întreprins o serie de acțiuni privitoare la diversificarea resurselor de import, pentru interconectarea sistemului național de transport cu sistemele din Ucraina, Ungaria și Republica Moldova. O echilibrare a raportului dintre cerere și oferta de resurse energetice poate fi determinată de creșterea producției interne de gaz petrolier lichefiat GPL și de importul acestui combustibil, precum și de extinderea utilizării acestuia la diferite tipuri de consumatori. Această perspectivă este deja materializată în majoritatea țărilor dezvoltate din Europa occidentală, la ora actuală existând cca. 50 de terminale marine de GPL cu capacități între 5000-10000 m³, amplasate în Marea Nordului, Oceanul Atlantic, Marea Mediterană.

Oferta de GPL de pe piața românească în anul 2000 a fost situată la 600 mii tone. Potențialii consumatori de GPL sunt: grupuri de gospodării din sate, ansambluri de blocuri izolate, vile, hoteluri, unități militare, unități de ocrotire a sănătății, ferme agro-zootehnice, sere și multe altele.

În octombrie 1996 s-a constituit Asociația Româna a Gazului Petrolier Lichefiat (ARGPL), având inițial 29 de agenți economici din domeniul GPL [19] ajungând în 2000 la peste 150 de agenți economici. ARGPL este o "asociație profesională a agenților economici care activează în domeniul GPL din România"; asociație neguvernamentală și persoană juridică non-profit. Obiectul de activitate al ARGPL se concretizează prin [20] elaborarea normelor profesionale, aplicarea normelor și standardelor internaționale în domeniul GPL din România [21] și promovarea cercetării în domeniul GPL.

Din octombrie 2000 apare Buletinul informativ ``*Info GPL*`` editat de ARGPL, revista prin care se prezintă materiale care încearcă să impulsioneze utilizarea gazelor petroliere lichefiate .

1.3. EVOLUȚIA PROGNOZATĂ A PIETEI DE GPL

Un studiu întocmit de DATAMONITOR [17], a analizat evoluția cererii și a consumului de GPL și bazat pe date statistice a prognozat următoarele evoluții, pe plan mondial, pana în anul 2009:

- consumul mondial de GPL pentru alte utilizări decât materii prime petrochimice crește de la 136 milioane tone din anul 1999 la 227 milioane tone, ceea ce revine la o creștere de 5% pe an față de 4% pe an, cât a fost creșterea în perioada 1995-1997.

- piața Europeană de GPL va crește într-un ritm de 5% pe an, principala motivație a acestei creșteri fiind emisiile reduse ale automobilelor alimentate cu GPL, ajungându-se la un consum de 5,4 milioane tone pe an iar numărul stațiilor de distribuție a GPL pentru automobile va crește într-un ritm de 5,3% pe an. Numărul total al autovehiculelor alimentate cu GPL, în Europa , va fi de cca 5 milioane, ca urmare a unei creșteri de 6.5% pe an în primul deceniu al secolului XXI.

- cea mai mare piață va rămâne Italia, cu o creștere de 3,5% pe an și va ajunge la un consum anual de 2,3 milioane tone GPL; Numărul stațiilor de alimentare a automobilelor cu GPL va crește la 14.848, ce vor alimenta peste 1.5 milioane de automobile.

- Turcia tinde să devină a doua piață ca mărime în privința GPL pentru tracțiune auto, ajungând la 691.971 tone/an, cu 500000 de automobile.

- Olanda va cădea de pe poziția a doua, ocupată în 1999, pe poziția a treia, cu vânzări de 662.773 tone/an;

- Polonia va ajunge la 2.824 stații, cu 725000 automobile, urmată îndeaproape de Franța.

- Marea Britanie va ajunge la un volum al vânzărilor de GPL pentru tracțiune auto de 25.753 tone/an, cu cca. 500000 de automobile, ceea ce reprezintă doar 0,4% din totalul vânzărilor de GPL în Europa.

- Zona Asia-Pacific va înregistra o creștere a acestui consum de 52% (creșterile cele mai importante înregistrându-se în China și India), în așa fel încât această regiune va reprezenta 40% din piața mondială a GPL, utilizată în alte scopuri decât pentru chimizare. Consumul rezidențial (domestic) în Asia se va dubla: China va înregistra o creștere de 19,2 milioane tone/ an.

- America de Nord, datorită creșterii consumului de gaze naturale, va cunoaște un declin de 0,6% pe an la consumul de GPL.

- America Latină va înregistra un declin al consumului de GPL de cca 1,7% pe an, datorită competiției cu gazele naturale.

Prognoza pe plan mondial, până în anul 2020, prevede existența a peste 6 milioane de autovehicule alimentate cu GPL cu un consum de 16 milioane tone/an.

Producția mondială de GPL [22] depinde de o serie de factori cum sunt:

- evoluția producției și a prețurilor la gazele naturale,
- prețurile și volumul de țiței prelucrat,
- tendințele din industria chimică pentru utilizarea GPL ca materie primă,
- capacitatea și flexibilitatea sistemelor de transport și depozitare a GPL,
- stabilitatea economiei mondiale în ansamblu, etc .

Concluzia este că până în anul 2020 consumul de GPL în lume va crește apreciabil și probabil se vor căuta și alte tehnologii de producție a GPL din hidrocarburi cu greutate moleculară mai mare.

1.4. EFECTELE POLUĂRII ȘI REDUCEREA LOR

Studiile elaborate la nivelul Uniunii Europene, pentru perioada anilor 1990-2000, privind efectele nocive ale poluării asupra mediului înconjurător [23], scot în evidență faptul că efectul poluant major este datorat bioxidului de carbon (CO₂), bioxidul de sulf (SO₂), oxizii de azot (NO_x), amestecurile organice volatile (VOC) și oxidul de carbon (CO), produși de industrie, producția de energie și mijloacele de transport cu motoare cu ardere internă. O bună parte din noxele existente în atmosferă se datorează proceselor de ardere a combustibililor clasici; aceste procese au ca rezultat o emisie continuă în atmosfera de substanțe gazoase, ca: anhidride carbonice și sulfuroase, oxizi de azot și

carbon și particule materiale. Poluarea are consecințe nefaste asupra întregului mediu înconjurător (aer, sol, apă și subsol). Ploile acide rezultate provoacă efecte devastatoare asupra mediului înconjurător.

Emisiile poluante din gazele de eșapament ale mijloacelor de transport auto au o pondere deosebită în volumul total al poluanților din atmosferă. Cuantumul gazelor de eșapament, ale motoarelor cu ardere internă care utilizează carburanți tradiționali, în mediul ambiant (în participări volumice) sunt apreciate astfel:

CO₂.....17.0%, CO..... 70.0% , VOC (amestecurile organice volatile)48.8%, NO_x53.4%, Pb.....60.0%, Particule materiale: solide.....52.3%, SO₂.....5.0%..

Efectele nocive asupra organismului uman sunt cu atât mai accentuate cu cât crește durata expunerilor la mediul poluat și cu cât persoanele sunt mai în vârstă și au afecțiuni profesionale.

Poluanții și efectele asupra stării de sănătate se prezintă astfel [11]:

- Hidrocarburile irită ochii, provoacă tuse, migrene, astm și sunt cancerigene.
- Bioxidul de sulf afectează căile respiratorii, (laringe, bronhii, etc.); în amestec cu anumiți poluanți declanșează la astmatici spasmul bronșic, crește frecvența și intensitatea bolilor respiratorii la adulți și afectează funcțiile respiratorii la copii.
- Bioxidul de azot atacă celulele sistemului imunitar, favorizează agresiunea bacteriană și virală, provoacă senzații de vomă, afectează funcțiile respiratorii și crește sensibilitatea la infecțiile microbiene.
- Oxidul de carbon se fixează în hemoglobina din sânge, produce dureri de cap, astenie, vomă și în cantități mai mari poate avea efecte mortale.
- Plumbul este toxic și în doze mari la copii provoacă perturbări în dezvoltarea cerebrală.
- Compușii organici volatili au efecte poluante foarte diverse, iritații, diminuarea capacității respiratorii, etc.
- Particulele solide provoacă iritarea bronhiilor, în special la copii la care sistemul imunitar este fragil sau nematurizat; favorizează alți poluanți care pot penetra în căile respiratorii. Particulele care provin din hidrocarburi aromatice policiclice, sunt nocive și cancerigene.

Difuzarea în atmosfera a unor gaze blochează radiațiile infraroșii degajate de suprafața pământului și duc la apariția ``efectului de seră``, care favorizează creșterea globală a temperaturii mediului ambiant peste cele favorabile condițiilor normale de viață.

Efectele încălzirii globale pot fi dezastruase; schimbări climatice, creșterea nivelului mărilor însoțite de inundații, etc.

Bioxidul de carbon este cel mai mare deșeu produs de omenire și se consideră că el produce aproape jumătate din efectul de încălzire globală a atmosferei. Volumul gazelor degajate în atmosferă, a ajuns la un nivel critic.

Având în vedere acest fapt, care poate produce dezastru pe pământ, Comunitatea Europeană a adoptat, în anul 1990, un program de reducere drastică a emisiilor de (CO₂),. Programul adoptat prevede îmbunătățirea randamentelor și tehnologiilor purtătorilor de energie și promovarea unor *surse energetice noi cum ar fi GPL pentru carburatia motoarelor autovehiculelor de transport, care duce la diminuarea gradului de poluare a mediului ambiant.* Directiva 1999/30/CE a Consiliului din 22 aprilie 1999, impune valori limită pentru anhidrida sulfuroasă, bioxidul de azot și oxidul de azot și particule solide conținute de aer din mediul ambiant. Această directivă a devenit obligatorie pentru statele membre ale Uniunii Europene din iulie 2001.

Utilizarea G.P.L.-ului ca și combustibil oferă posibilitatea reducerii poluării printr-un consum mai mic de combustibil, datorită unui randament mărit și impact mai mic asupra ecosistemului. Se evidențiază absența plumbului, aditivilor și a particulelor materiale (funingine) și prezența foarte scăzută a anhidridelor sulfuroase (SO₂) (cca. de 500 ori mai puțin decât la motorină), de oxid de azot (NO) (de 4...5 ori mai puțin decât la motorină și cu 15...20% mai puțin decât la benzina premium), cu 20% mai puțin CO și cu 10...15% mai puțin CO₂ în raport cu benzina premium.

Toate aceste avantaje îndreptătesc denumirea pentru GPL de ``*combustibil verde*``.

CAPITOLUL 2

STADIUL ACTUAL AL SISTEMELOR AUTONOME DE GPL

2.1. CONSIDERAȚII GENERALE

Sistemele autonome cu GPL sunt instalații prevăzute cu rezervoare fixe care se încarcă cu produs (GPL-lichid) direct pe locul amplasării acestora (fig.2.1), din cisterna auto [24]. Aceste instalații se pot monta în orice loc (cu mici excepții) [25], fiind eficiente acolo unde nu este gaz metan și ecologice față de orice alt combustibil. Autonomia lor depinde de cantitatea de gaz consumată și de volumul total al rezervoarelor de stocare.



Fig.2.1. Încărcarea rezervorului fix de GPL.

În funcție de scopul acestor instalații, GPL se distribuie la consumatori, din rezervorul fix, fie sub formă de gaz (în instalații particulare sau industriale) sau sub formă de lichid, în cazul Skidurilor [26] (instalații pentru alimentarea autovehiculelor ce funcționează cu GPL).

Rezervoarele instalațiilor din care se distribuie GPL-gaz pot fi cu sau fără instalații de vaporizare, în funcție de puterea instalată, număr de rezervoare, cantitatea de GPL consumată, etc. Rezervoarele fără vaporizatoare trebuie să aibă capacitatea de a distribui atât debitul de gaz cât și presiunea necesară pentru vehicularea gazului prin conductele și aparatele instalației și presiunea pentru funcționarea aparatelor consumatoare de GPL [2]. Presiunea gazului depinde de temperatura mediului ambiant; debitul de gaz depinde pe lângă temperatura mediului ambiant, de volumul recipientului de stocare și de cantitatea de lichid din rezervor .

2.2. INSTALAȚII DE UTILIZARE A GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE

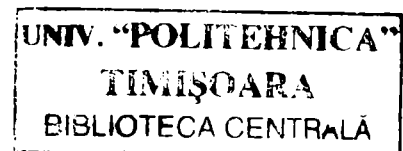
Prin instalație de utilizare a gazelor petroliere lichefiate se înțelege ansamblul constituit, după caz, din rezervoare, reglatoare de presiune, vaporizatoare, armături, conducte, aparate de utilizare și accesorii montate la un consumator, etc.[28,29].

Din punct de vedere al destinației consumului, instalațiile de GPL pot fi :

- instalații de uz casnic, amplasate în gospodării individuale sau grupări de gospodării, destinate pentru: încălzirea apartamentelor, (și a anexelor sau/și serelor, după caz) cu ajutorul centralelor termice pe GPL sau a aerotermelor, prepararea apei calde menajere cu ajutorul boilerelor sau a centralelor de tip "instant", prepararea hranei cu ajutorul mașinilor de gătit, plite, etc.
- instalații de uz public, de capacități relativ mici (100...500kW), amplasate în unități comerciale și de servire, unități medicale (becuri Bunsen, aparate dentare etc.). anexe administrative, cu destinație similară cu instalații de tip "uz casnic" prevăzute eventual cu mici instalații de producție (brutării, patiserii, prelucrarea laptelui, etc.)
- instalații industriale de capacități mari (peste 500kW) destinate pentru utilizarea gazelor petroliere lichefiate în diferite aparate complexe de producție.

În țara noastră, aceste instalații sunt tot mai răspândite, în zonele unde gazele naturale nu sunt disponibile.

366E



2.2.1. Instalații casnice de GPL

Instalațiile casnice de GPL sunt în general de putere mică (30...100 kW) [30], prevăzute cu una (două) centrale de tip instant pentru apă caldă menajeră și/sau încălzire centrală și una (două) mașini de gătit. Aceste instalații sunt realizate fără vaporizatoare [31]: mărimea și numărul de rezervoare se alege în funcție de puterea totală instalată și cantitatea de GPL consumată în același timp.

În figura 2.2 s-a reprezentat o instalație autonomă, simplă, de GPL, pentru uz casnic, cu un rezervor. Instalația cea mai simplă posibilă trebuie să cuprindă:

- rezervor de GPL echipat,
- conducte de alimentare,
- regulatoare de presiune,
- robinete,
- flanșă electroizolantă,
- legături flexibile, etc.

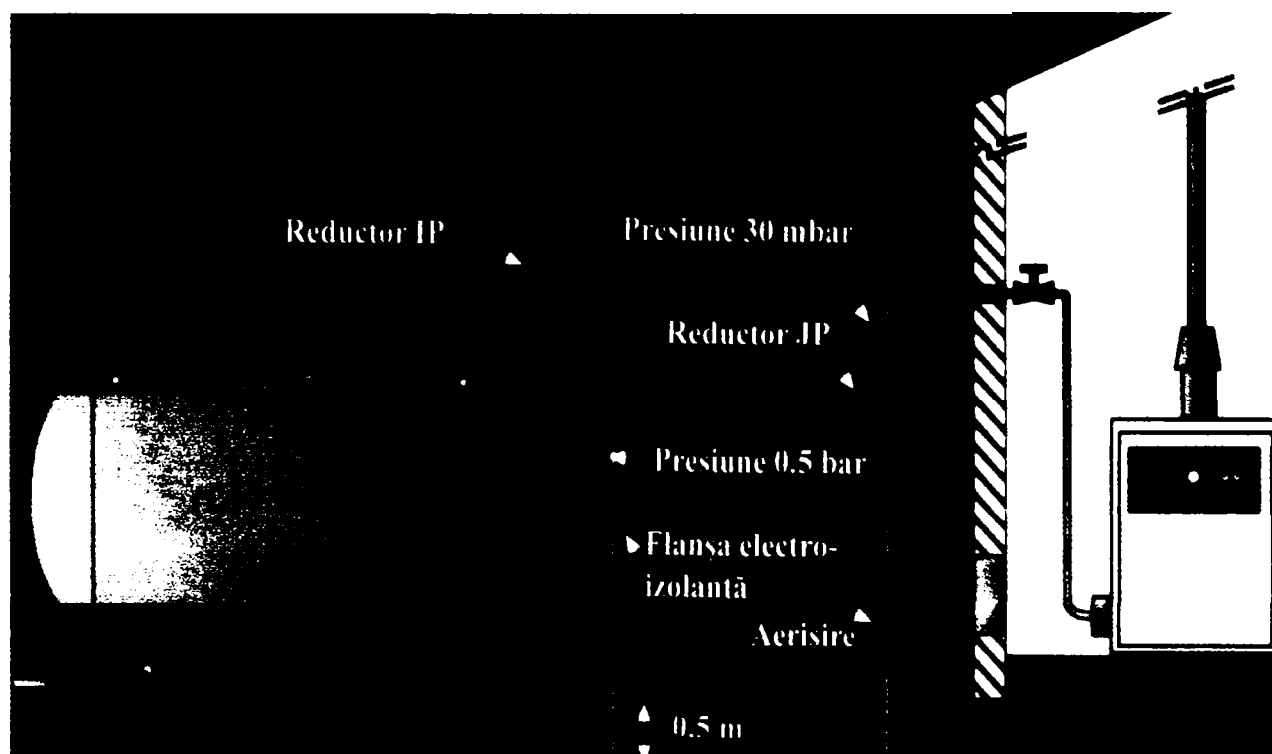


Fig.2.2 Instalație de GPL pentru uz casnic

2.2.2. Instalații de uz public

Instalațiile de uz public sunt de puteri medii, prevăzute cu diferite aparate consumatoare de GPL (utilaje termice industriale simple, cazane de abur sau apă caldă, aeroterme, centrale de tip instant pentru apă caldă menajeră și/sau încălzire centrală, diferite sisteme de arzătoare pentru industria alimentară, mașini de gătit, etc.). Aceste instalații sunt realizate în general cu baterii de 2...4 rezervoare mici supraterane; capacitatea totală a rezervoarelor se alege în funcție de puterea totală instalată. Aceste instalații pot fi proiectate cu sau fără vaporizatoare în funcție de suprafața totală a rezervoarelor și puterea totală a aparatelor consumatoare

2.2.3. Instalațiile industriale de GPL

Instalațiile industriale de GPL sunt de putere mare (peste 500 kW), prevăzute cu diferite aparate consumatoare de GPL (utilaje termice industriale complexe, cazane de abur sau apă caldă, aeroterme, uscătoare de cereale, centrale de tip instant pentru apă caldă menajeră și/sau încălzire centrală, diferite sisteme de arzătoare pentru industria alimentară, mașini de gătit, etc.). Aceste instalații sunt realizate fie cu baterii de rezervoare de câte 5000 litri (fig. 2.3) sau cu rezervoare de capacitate mare (25000, 50000, 100000 litri) (fig. 2.4); capacitatea totală a rezervoarelor se alege în funcție de puterea totală instalată.



Fig.2.3. Baterii de rezervoare pentru instalații industriale de GPL

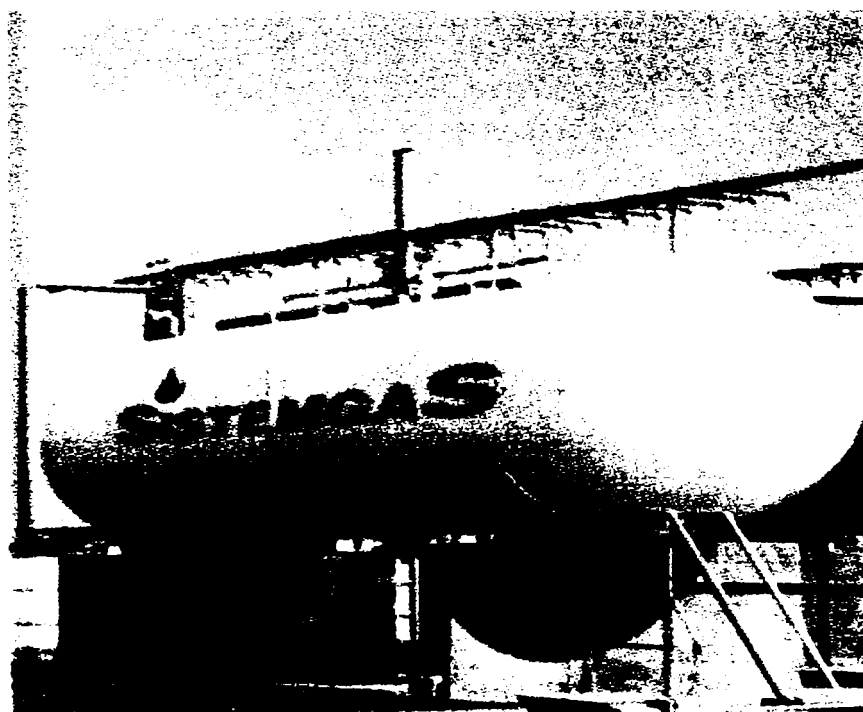


Fig.2.4. Rezervor de GPL de capacitate mare

Instalațiile industriale, față de instalațiile casnice, sunt proiectate de regulă cu vaporizatoare și grupuri de regatoare și pot fi prevăzute cu multe alte subansamble (debitmetre, sisteme de automatizare, etc).

2.2.4. Părțile componente ale unei instalații de GPL

2.2.4.1. Rezervoarele de depozitare

Rezervoarele supratere (fig.2.5) de GPL sunt prevăzute cu armături care să confere posibilitatea funcționării în condiții de maximă securitate.

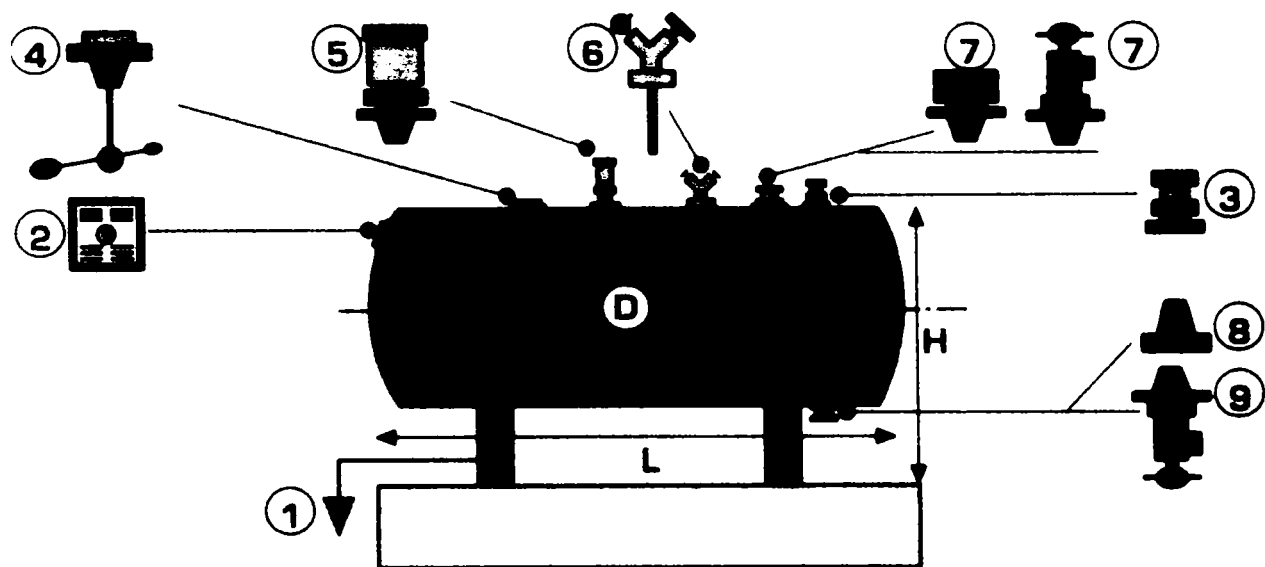


Fig.2.5. Recipient de depozitare GPL

În figura 2.5. s-a notat cu:

- 1- împământare,
- 2- plăcuță de identificare,
- 3- ventil de încărcare,
- 4- indicator de nivel de GPL-lichid,
- 5- supapă de siguranță,

6- grup de prelevare fază gazoasă.

7-supapa prelevare fază lichidă (în cantități mari),

8- ventil de drenare.

9- grup prelevare fază lichidă (în cantități mici).

Aparatele de mai sus sunt destinate operațiunii de încărcare a produsului, siguranța instalării, operațiuni auxiliare și identificării rezervorului.

Indicatorul de nivel cu semnalizare continuă are un sistem de afișare cu cadran și ac indicator, care permite, în orice moment, determinarea cantității de GPL exprimată în procente din volumul total. Rezervorul trebuie să conțină un procent maxim de 80% GPL din volumul său geometric, pentru că masa specifică a lichidului variază în limite destul de mari cu temperatura, astfel că este supus unor puternice variații de volum odată cu variația temperaturii.

Dacă GPL-ul în stare lichidă suferă o creștere a temperaturii, acesta se dilată și își mărește volumul cu 2,3% pentru fiecare creștere a temperaturii cu 10°C. Dacă un recipient ce conține GPL doar în stare lichidă este încălzit, pereții împiedică dilatarea GPL-ului lichid care se găsește astfel într-o stare de compresie. Reacția lichidului aflat în stare de compresie, împiedicat a se dilata, este creșterea presiunii pe pereții interni ai recipientului. O creștere a temperaturii de 10°C poate, în astfel de condiții, să crească presiunea cu 15-20 bar. Fenomenul este periculos pentru că recipientele pline cu GPL lichid pot atinge presiunea de explozie chiar și la o temperatură relativ joasă, asemănătoare cu temperatura unei simple expunerii la soare în lunile calde.

Capacitățile standard ale rezervoarelor supraterane mici, utilizate pentru instalații casnice și industriale care folosesc GPL sunt trecute în tabelul 2.1

Tabelul 2.1

Volum:	1 m ³	1,75 m ³	3 m ³	5 m ³
Continut:	420 kg	735 kg	1260 kg	2100 kg

Cele mai utilizate rezervoare mari, folosite exclusiv pentru instalații industriale cu puteri peste 1000 kW care folosesc GPL, au capacitatea trecută în tabelul 2.2

Tabelul 2.2

Volum:	25 m ³	50 m ³	100 m ³
conținut:	10500 kg	21000 kg	42000 kg

Amplasarea recipientilor de depozitare GPL față de obiectivele înconjurătoare se face în conformitate cu Prescripțiile tehnice ISCIR C8-2000 și este precizată în proiectul de amplasare a fiecărei instalații [24]. Din acest motiv lungimile și diametrele conductelor diferă de la o instalație la alta și proiectele nu pot fi generalizate nici măcar pentru consumatori identici.

Rezervoarele supraterane se fixează pe o fundație de beton și sunt împrejmuite cu un gard înalt de 1.80m, la o distanță de 1 m față de marginea rezervorului, cu ușă ce se deschide în exterior (fig.2.6).



Fig.2.6. Rezervor împrejmuit

În țara noastră, până la ora actuală, se utilizează doar rezervoare supraterane; în Europa au început din ce în ce mai mult să se utilizeze rezervoare subterane (fig.2.7)

care prezintă mai multe avantaje, mai ales cele legate de amplasare, distanțele față de obiectivele înconjurătoare sunt mult mai mici.

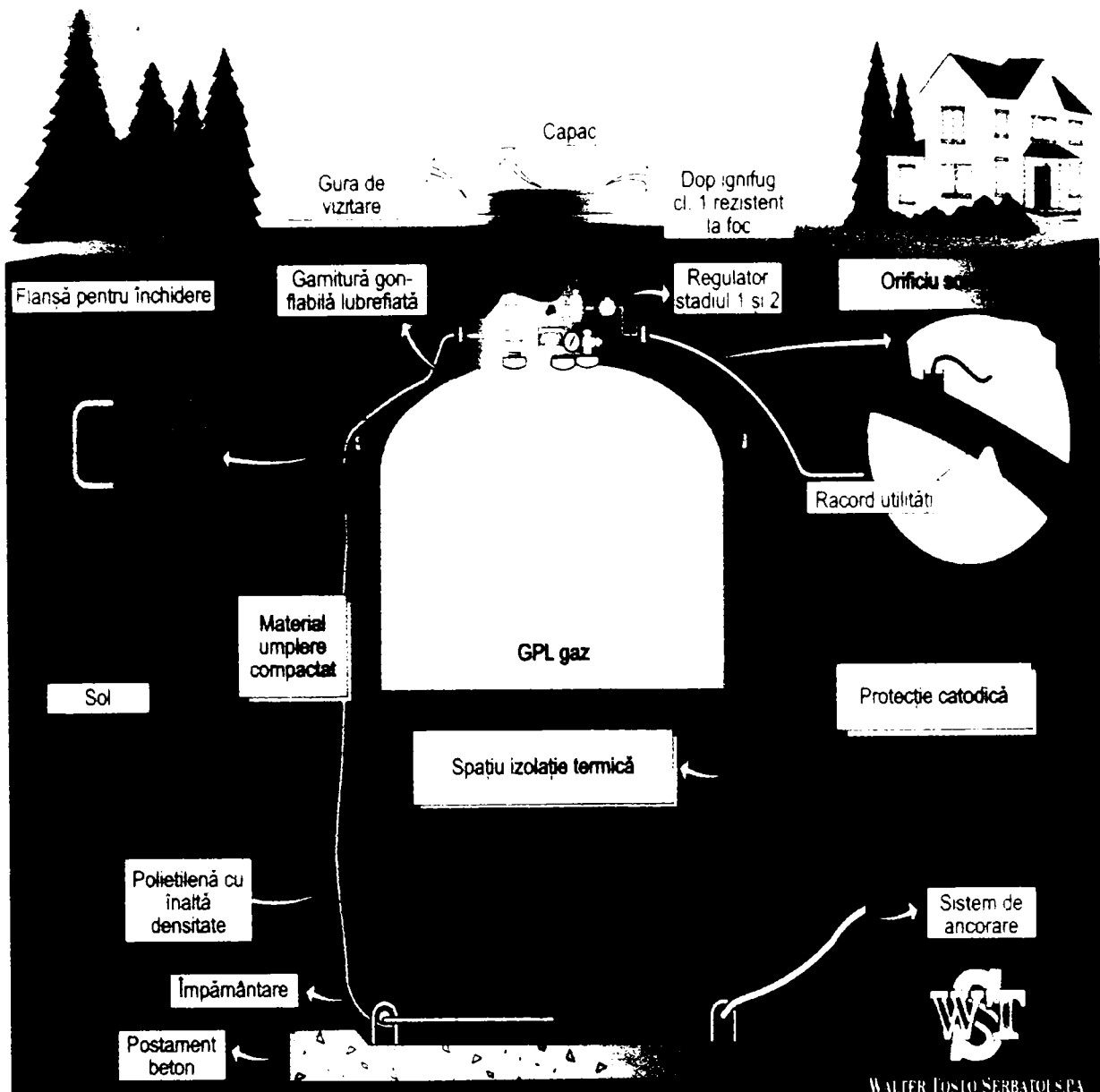


Fig.2.7. Rezervor de GPL subteran

2.2.4.2. Vaporizatoarele de GPL

Vaporizatoarele pentru GPL pot fi electrice sau cu apă caldă: ele elimină neajunsurile privind vaporizarea naturală. Cele mai utilizate vaporizatoare sunt cele electrice (fig.2.8) care nu depind de instalația de GPL. Vaporizatorul electric este un

schimbător de căldură tip “boiler” format dintr-o serpentină în care intră GPL-lichid ce se vaporizează; serpentina se găsește într-un amestec de apă-antigel, încălzit electric. Aceste aparate, datorită prețurilor destul de ridicate, se prevăd, de regulă, la instalații industriale cu puteri peste 500kW și sunt prevăzute cu grup de reductoare (fig.2.8. poz 8.) și colector de picături, (fig.2.8. poz 10.).

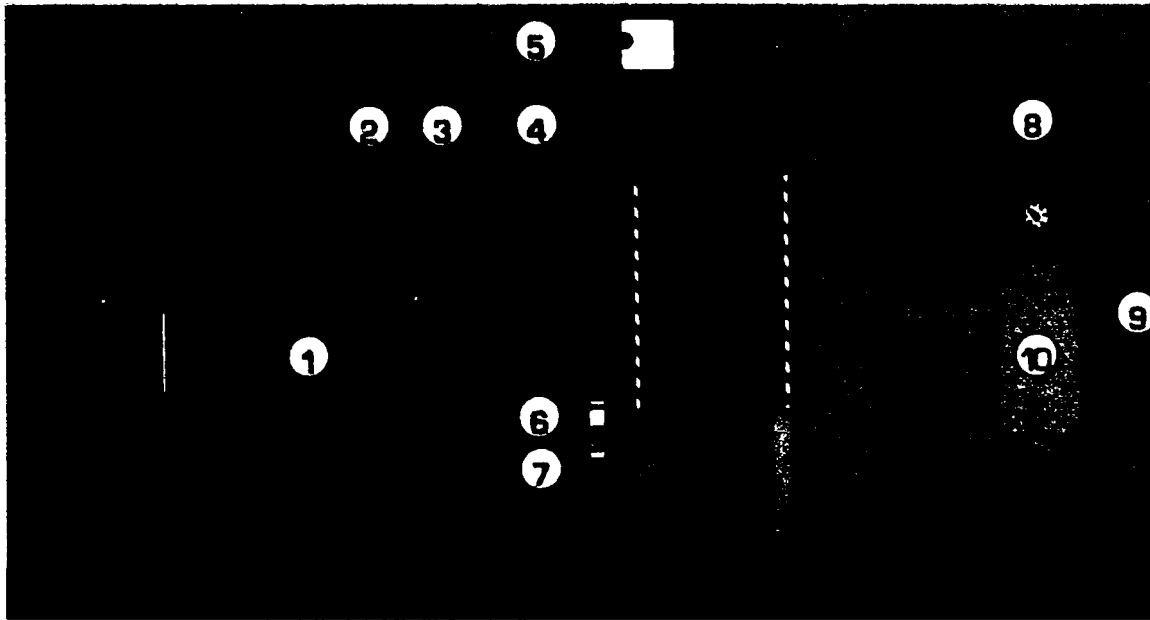


Fig.2.8. Rezervor de GPL cu vaporizator electric și grup de înaltă presiune

Legendă: 1- supapa prelevare fază lichidă, 2,6-robineți, 3, 9-racorduri, 4-supapa de siguranță,

5- vas de expansiune lichid (apă-antigel), 7-filtru, 8-grup de reductoare,

10 - colector-separator de picături.

Cele mai utilizate vaporizatoare electrice sunt de 50.....500 kg/h, iar cele cu apă de de 50.....750 kg/h.

2.2.4.3. Regulatele de presiune

GPL-ul ajunge la arzătorul aparatelor utilizatoare, unde are loc combustia, în faza gazoasă, la o presiune mai mică decât aceea la care este supus în interiorul rezervorului. De aceea este necesar ca pe conducta de legătură să fie instalat un dispozitiv care să

reducă presiunea la valoarea de funcționare a aparatului și să o mențină cât mai constant posibil: acest dispozitiv este reductorul de presiune. (fig.2.9)

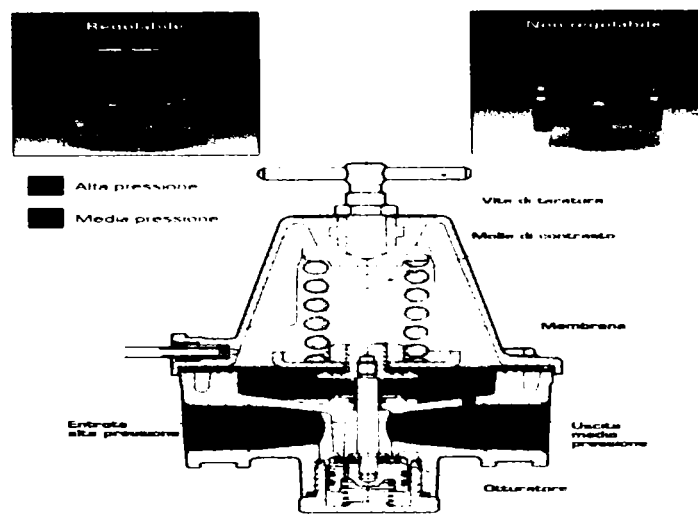


Fig.2.9. Reductor de presiune

Pentru o bună funcționare a aparatelor dintr-o instalație este necesar ca alimentarea gazului să fie asigurată de două regulatoare:

- Regulatorul de înaltă sau medie presiune, care reduce presiune GPL de la valorile existente practic în rezervor la presiunea medie de cel mult 1,5 bar, presiune cu care circulă gazul, de regulă, prin conducte exterioare.

- Regulatorul de joasă presiune, care reduce presiunea în aval cu valori corespunzătoare presiunilor joase necesare alimentării aparatelor consumatoare (ex. 20 mbar pentru aparatele casnice, becuri de laborator tip Bunsen și alte aparate similare, 30 mbar, pentru încălzitoare instante de apă caldă de consum, 60 mbar, pentru arzătoarele și aparatele care necesită canale speciale pentru aerul de ardere, 100 mbar pentru arzătoare industriale, arzătoare speciale, etc).

Regulatoarele de presiune se aleg pe baza diagramei cu caracteristică de funcționare; diagramă care definește debitul de gaz în funcție de presiunile în amonte și aval.

2.2.4.4. Conductele de GPL

Conductele instalațiilor de gaze petroliere lichefiate pot fi:

- țevi din oțel, (STAS 404/1, 404/2, 7657).
- țevi din cupru, acoperite cu un strat de PVC,
- conducte din polietilenă PE.

Pentru imbinările filetate se folosesc fittinguri (coturi, teuri, mufe) din fontă maleabilă. Racordurile flexibile se pot executa cu: tuburi de cauciuc (STAS 3078), pentru presiunile de 20 și 30 mbar; tuburi de cauciuc cu inserții textile (STAS 263) sau tuburi de cauciuc cu inserții metalice (STAS 8540) pentru presiuni mai mari de 30 mbar.

2.2.4.5. Contoare de GPL

La instalații industriale de GPL se folosesc contoarele volumetrice [90] cu presiuni de lucru de 30 mbar și debite sub $5 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ cu diametrele uzuale ale racordurilor de $D_n = 15 \dots 50 \text{ mm}$; contoarele cu membrane, cu presiuni de lucru până la 0,50 bar și debite de la $6 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ până la $100 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$, cu diametrele uzuale ale racordurilor de $D_n = 32 \dots 100 \text{ mm}$. Corpul contorului se execută din oțel carbon, iar mecanismul interior din materiale rezistente la acțiunea propanului.

Există contoare atât pentru gaze naturale cât și pentru gaze petroliere lichefiate; contoarele pentru gazele naturale pot fi folosite și pentru gaze petroliere lichefiate, dar se ține seama de faptul că GPL deteriorează cauciucul natural și de aceea, garniturile, membranele și tuburile flexibile trebuie să fie rezistente la acțiunea GPL, cum sunt: teflon, cauciuc sintetic, masticuri speciale, etc.

2.2.5. Realizarea instalațiilor de GPL

GPL în faza gazoasă este mai greu decât aerul: de aceea, se adună în zonele cele mai joase ale mediului în care se găsește; din acest motiv instalațiile de GPL se realizează diferit față de instalațiile de gaz metan.

În figura 2.10 s-a reprezentat comparativ modul de realizare a instalațiilor de GPL și gaz metan.

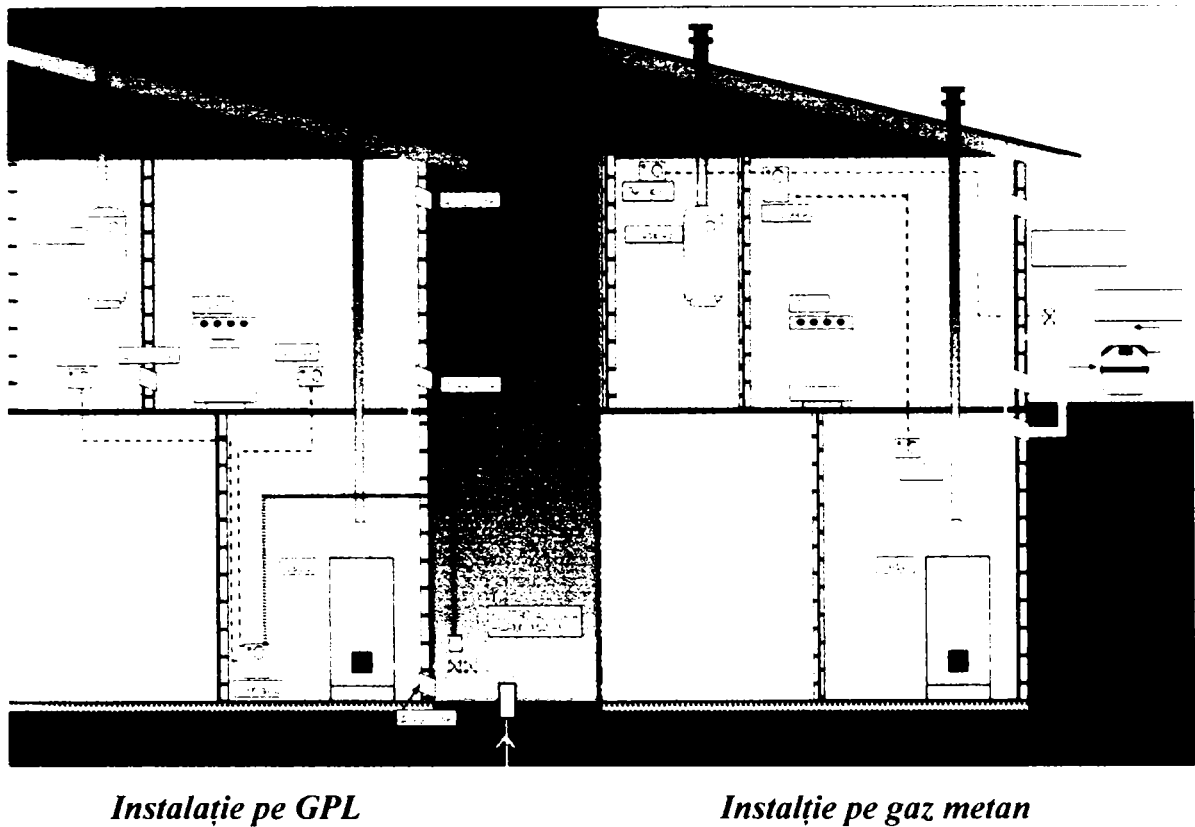


Fig.2.10. Comparație între modul de realizare a instalațiilor de gaze

Se pot observa următoarele diferențe majore:

- conducta de GPL traversează clădirea foarte aproape de sol, față de gazul metan, care este mai ușor decât aerul și traversarea se face cât mai sus posibil,
- gurile de aerisire pentru GPL, sunt practicate aproape de podea, unde se montează și detectorii (senzorii) de gaz, etc.

În cazul prezenței gazelor G.P.L. chiar și în concentrații inferioare „punctului de pericol, detectorii de gaz activează o lampă cu lumina roșie și după aproximativ 15 secunde pun în funcțiune o sonerie și un releu care închide valva de alimentare cu gaz.

2.3. ALIMENTAREA AUTOVEHICULELOR CU GPL

2.3.1. Instalații de GPL pe autoturisme

Gazul Petrolier Lichefiat utilizat la alimentarea autoturismelor este cunoscut sub numele de *autogaz* [75]; el se produce prin amestecarea propanului comercial și a butanului comercial în funcție de anotimp și temperatura din regiunea respectivă. Amestecul de propan și butan variază de la o firmă la alta.

În cadrul firmei S.C. SISTEMGAS Timișoara, se produce autogaz de vară și de iarnă, cu următoarele compoziții:

-pentru autogaz de vară

min. 40% propan (C_3H_8) max 60% butan (C_4H_{10})

-pentru autogaz de iarnă

min. 70% propan (C_3H_8) max 30% butan (C_4H_{10})

La valorile de mai sus se acceptă abateri de – 2.5%... +2.5%.

Utilizarea autogazului la motoarele cu ardere internă nu implică modificări constructive deosebite mai ales la motoarele cu aprindere prin scânteie cu carburator [49] ci doar instalarea aparaturii specifice (fig.2.11.) Există fabrici constructoare care livrează echipamente ce permit adaptarea automobilelor pentru utilizarea alternativă a combustibililor lichizi și a celor gazoși [51,52].

G.P.L.-ul lichid vehiculat din recipient parcurge tubulatura de înaltă presiune și ajunge la reductorul-vaporizator. Debitul este reglat de o electrovalvă ce rămâne închisă când motorul este oprit sau funcționează cu benzină. În reductorul-vaporizator autogazul trece din stare lichidă în stare gazoasă. Energia necesară pentru vaporizare este furnizată de apa caldă derivată din instalația de răcire a motorului. G.P.L.-ul vaporizat la o presiune redusă este aspirat din reductorul-vaporizator prin intermediul tubulaturii de legătură.

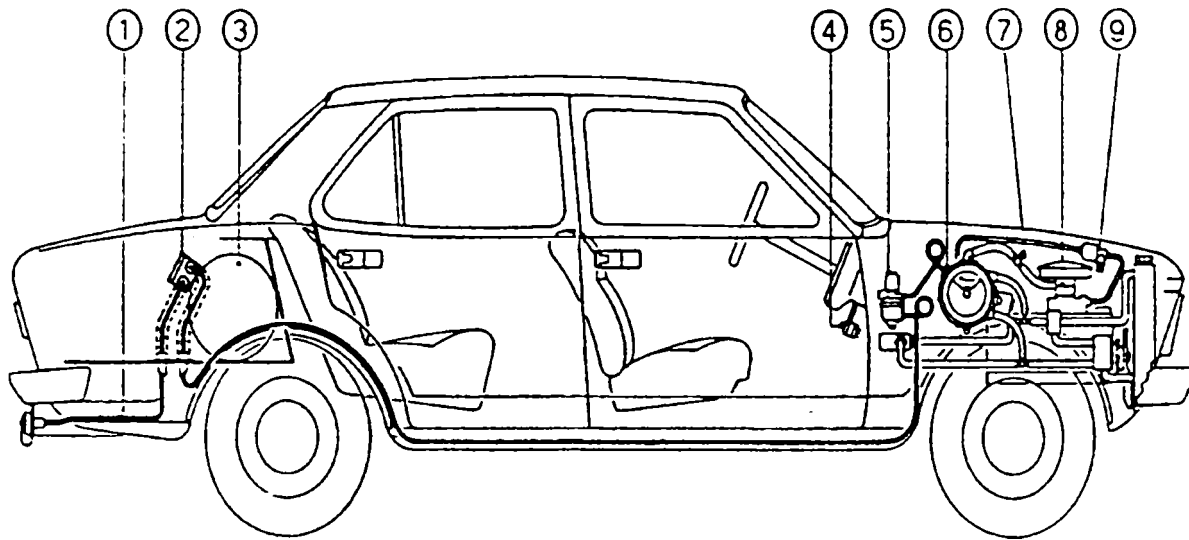


Fig.2.11. Schema de montare a componentelor instalației G.P.L pe un autoturism

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. conducta pentru umplerea rezervorului | 2. recipient etanș multivalvular |
| 3. rezervor autogaz | 4. comutator gaz-benzină |
| 5. electrovalvă | 6. reductor-vaporizator |
| 7. reglator de maximă capacitate | 8. camera de amestec |
| 9. electrovalvă benzină | |

2.3.2. Instalații de tip SKID

Instalațiile de alimentare cu autogaz a vehiculelor sunt cunoscute sub numele de SKIDURI. În figura 2.12 s-a reprezentat instalația de tip SKID, proiectată, realizată și avizat ISCIR de firma S.C.SISTEMGAS TIMISOARA [55].



Fig.2.12- SKID realizat de S.C. SISTEMGAS

Această instalație cuprinde următoarele elemente componente (fig.2.13) [55,56].

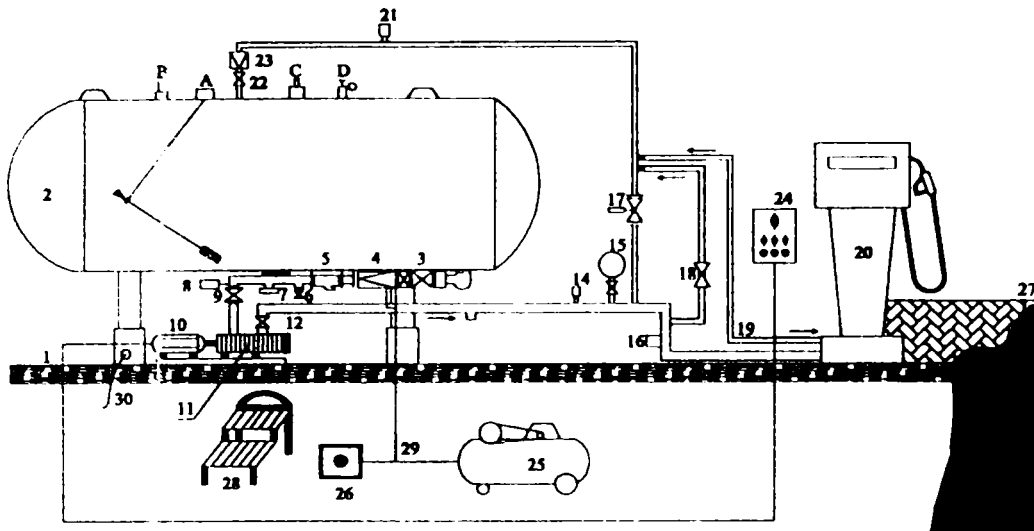


Fig.2.13. Elementele componente ale SKID-ului realizat de S.C. Sistemgas

Legenda

1. Soclu metalic	2. Rezervor GPL	3. Supapă pneumatică
4. Supapă de exces de flux	5. Filtru	6. Supapă
7. Flanșă filetată disp. evacuare apă	8. Supapă de siguranță 18 bar	10. Motor electric antex. EEX
9. Robinet cu bilă	12. Robinet cu bilă	13. Flanșă filetată
11. Pompă centrifugă	15. Manometru cu filet	16. Racord cu furtun
14. Supapă de siguranță 18 bar	18. Supapă de distribuție	19. Recirculare pompă
17. Supapă limitatoare	21. Supapă de siguranță	22. Supapă unisens
20. Distribuitor GPL	24. Tablă electrică antiex.	
23. Robinet cu bilă	25. Compresor cu aer pentru comanda supapă pneumatică	
26. Buton de urgență pentru închidere supapă pneumatică	27. Grilaj zincat	
28. Rampe pentru încărcat	29. Conductă	30. Legătura la pământ

- un recipient de stocare pentru GPL (2), suprateran, cu capacitate maximă de 5.000 l, echipat cu racorduri, aparatură de măsură și control și armături de siguranță;
- o pompă centrifugă (11), antrenată de un motor electric (10) care asigură vehicularea GPL în fază lichidă, de la recipient spre pompa de distribuție GPL, o pompă de distribuție GPL la autovehicule (20) echipată cu furtun flexibil, pistol de alimentare, ventile, armături, aparatură de control, afișare și înregistrare electronică.

2.4. TRANSPORTUL GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE

Gazele petroliere lichefiate sunt considerate *mărfuri periculoase* și transportul lor este reglementat de Acordul European ADR [61] încheiat la Geneva la 30 sept. 1957. România a aderat prin legea nr.31/1994, cu data de 1 ianuarie 1995.

Transportul gazelor petroliere lichefiate se execută cu autocisternă [61]. Autocisterna este un vehicul pe care este instalat un rezervor cu racorduri pentru încărcarea și descărcarea produsului (fig. 2.14)



Fig.2.14. Autocisterna pentru transport GPL

CAPITOLUL 3

PROIECTAREA INSTALAȚIILOR DE GPL

La proiectarea unei instalații de GPL se pun următoarele probleme:

- determinarea debitului de gaz consumat;
- stabilirea volumului rezervorului (rezervoarelor) de stocare;
- stabilirea locului de amplasare a rezervorului;
- dimensionarea conductelor;
- dimensionarea reguletoarelor de presiune și a armăturilor.

a) Debitul de gaz consumat

Dacă notăm cu P [kW] puterea maximă a aparatului consumator de GPL, cu V [m^3/s] debitul maxim de GPL ce se consumă în condiții ideale de ardere, se poate scrie relația [72];

$$P = VH_i \quad (3.1)$$

unde H_i [$\text{kJ}/\text{m}^3_{\text{N}}$] -este puterea calorifică inferioară.

Din relația (5.1) se determină debitul de gaz; debit cu care apoi se dimensionează aparatele de distribuție GPL.

În majoritatea cazurilor aparatele ce consumă gaz GPL sunt proiectate și realizate ca să poată funcționa cu toate tipurile de gaze combustibile. În acest caz se pune problema dacă sunt necesare modificări constructive sau funcționale ale arzătorului.

O mărime foarte importantă în aprecierea intersanjabilității gazelor combustibile este indicele Wobbe, W_o , care se definește prin relația [74]

$$W_o = \frac{H_i}{\sqrt{\delta}} \quad [\text{kJ}/\text{m}^3_{\text{N}}] \quad (3.2)$$

unde: H_i [$\text{kJ}/\text{m}^3_{\text{N}}$] -este puterea calorifică inferioară a combustibilului,

δ [-] densitatea relativă a gazului în raport cu aerul.

În cazul înlocuirii unui combustibil gazos cu altul se pune problema menținerii puterii termice nominale a arzătorului; din egalitatea fluxurilor de căldură rezultă:

$$\sqrt{\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}} = \frac{W_{O_1} \cdot A_1}{W_{O_2} \cdot A_2} \quad (3.3)$$

unde: A [m²]- secțiunea de curgere prin duză, a gazului,

p [N/m²]- suprapresiunea gazului la intrarea în duză

Din relația de mai sus rezultă că dacă doi combustibili gazoși au același indice Wobbe ei pot fi intersanjați fără a fi necesare modificări constructive sau funcționale ale arzătorului, în caz contrar se impune fie modificarea secțiunii orificiului duzelor sau/și modificarea presiunilor [74].

În urma schimbării combustibilului arzătorul trebuie supus unor probe pentru a stabili dacă s-a conservat puterea termică a arzătorului și dacă flacăra este stabilă iar arderea este corespunzătoare.

În tabelul 3.1 s-au trecut caracteristicile pentru câteva tipuri de combustibili gazoși.

Tabelul 3.1

Component gazos	Simbol chimic	Masa moleculara [kg/kmol]	Masa specifica [kg/m ³ _N]	Densitate relativa	H _i	Indiceel Wobbe
					kcal / m ³ _N	Wo
					KJ/m ³ _N	kJ/m ³ _N
Propan	C ₃ H ₈	44,06	1,967	1.522	22350 93575	73781
n – Butan	C ₄ H ₁₀	58,08	2,598	2.006	29050 121626	85873
izo – Butan	C ₄ H ₁₀	58,08	2,598	2.006	29510 123552	87232
Butilenă	C ₄ H ₈	56,10	2,50	1.936	27120 113546	81720
Etilenă	C ₂ H ₄	28,05	1,250	.968	14320 59955	60436
Propilenă	C ₂ H ₆	42,08	1,880	1.451	21070 88216	71728

b) Stabilirea tipului de rezervor

Pentru instalații mici și mijlocii, de regulă, se utilizează rezervoare fără vaporizatoare iar pentru instalații industriale rezervoare sau grupuri de rezervoare cu vaporizatoare. În funcție de debitul de gaz consumat se stabilește volumul rezervorului (sau numărul de rezervoare de un anumit volum).

Rezervoarele fără vaporizatoare trebuie să aibă capacitatea de a distribui atât debitul de gaz cât și presiunea necesară pentru vehicularea gazului prin conductele și aparatele instalației și presiunea pentru funcționarea aparatelor consumatoare de GPL. Presiunea gazului depinde de temperatura mediului ambiant, de debitul de gaz consumat, de timpul de funcționare continuă a consumatorilor, volumul rezervorului și de cantitatea de lichid din rezervor. În această situație este foarte important să se cunoască care este debitul de GPL furnizat continuu de fiecare tip de rezervor.

c) Dimensionarea conductelor de GPL

Prin poziționarea rezervorului (ținând cont de distanțele față de obiectivele învecinate și legile în vigoare) se determină lungimea conductelor.

Dimensionarea conductelor de GPL se face în funcție de: debitul total de gaz consumat; lungimile porțiunilor de instalație luate în considerare; căderea totală de presiune pe porțiunea respectivă și presiunea necesară funcționării aparatelor consumatoare.

Pentru dimensionarea conductelor de GPL se pot utiliza fie formulele de calcul din literatura de specialitate [57,58] fie, tabelele de dimensionare elaborate în baza documentației tehnice a Asociației Europene de GPL.

Pentru o dimensionare optimă se pune problema unui calcul de proiectare. La curgerea GPL-ului printr-o instalație, între diametrul interior "d", căderea de presiune "Δp", debitul "m", lungimea conductei "L" și coeficientul de rezistență la frecare "λ" exista o relație de interdependență de forma [39,40]:

$$d = f(\Delta p, m, \lambda) \quad (3.4)$$

care explicit se traduce prin sistemul de ecuații :

$$\begin{cases} w = \frac{m}{S \cdot \rho} \\ \Delta p_f = \lambda \frac{\rho w^2 L}{2 d} \\ \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71d} \right) \\ \text{Re} = \frac{w \cdot d}{\nu} \end{cases} \quad (3.5)$$

unde s-au mai notat:

w [m/s] - viteza GPL-vapori pe porțiunea considerată (viteza medie),

ρ [kg/m³] - masa specifică a GPL-vapori pe porțiunea considerată,

S [m²]- secțiunea interioară a conductei de diametru "d",

Re [-] numărul Reynolds,

k [m] -rugozitatea absolută a conductei,

ν [m²/s]- vâscozitatea cinematică a vaporilor de GPL.

În sistemul de mai sus, pentru un caz concret, se cunosc inițial debitul m [kg/s] de gaz și lungimea conductei "L [m]",.

Prin rezolvarea sistemului se obține diametrul conductei; diametru care determină pe rând secțiunea, viteza și căderea de presiune. Metoda este precisă dacă se cunosc proprietățile termofizice ale vaporilor de GPL.

Un calcul mai puțin pretențios se poate face utilizând tabelele de dimensionare, (tabela 3.1) unde se ține cont de puterea consumatorului sau debitul de gaz consumat în funcție de diametrul conductei și lungimile virtuale (echivalente) ale porțiunilor de instalație luate în considerare. Se consideră ca lungime virtuală (L_v), a unei porțiuni de conductă, lungimea reală (L) a porțiunii mărită cu o valoare cuprinsă între 10% și 20%, așa încât să se compenseze pierderile de sarcină (Δp) datorate de robineti, curbe, racorduri, etc.

În tabelul 3.1 s-au trecut câteva tipuri de conducte (cu diametre exprimate atât în inch [in] ("țoli") cât și în milimetri) utilizate pentru instalația GPL în aval de regulatorul de înaltă presiune, în funcție de lungimea echivalentă a conductei și debitul de gaz .

Tabelul Nr.3.1.

D.int [in].	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1"	1" ^{1/4}	1" ^{1/2} / 2"
D.int [mm].	13,2	16,6	22,2	27,9	36,6	42,5/53,8
L. virtuala [m]	Debitul masic de GPL [kg/h]					
5	31	55	100	-	-	Peste 100kg/h
10	22	38	82	-	-	
15	18	32	66	-	-	
20	15	27	58	100	-	
25	14	24	52	89	-	
30	13	22	47	82	-	
40	11	19	38	71	-	
50	10	17	33	63	-	
60	9	16	31	57	115	
70	8.5	15	29	53	106	
80	8	14	27	48	97	
90	7.5	13	26	44	90	
100	6	12	25	41	86	
110	5.5	11	24	-	82	

Cu ajutorul datelor din tabela de mai sus s-a trasat, în figura Nr. 3.1, variația debitului de GPL în funcție de diametrul și lungimea virtuală a conductelor, pentru traseul de medie presiune.

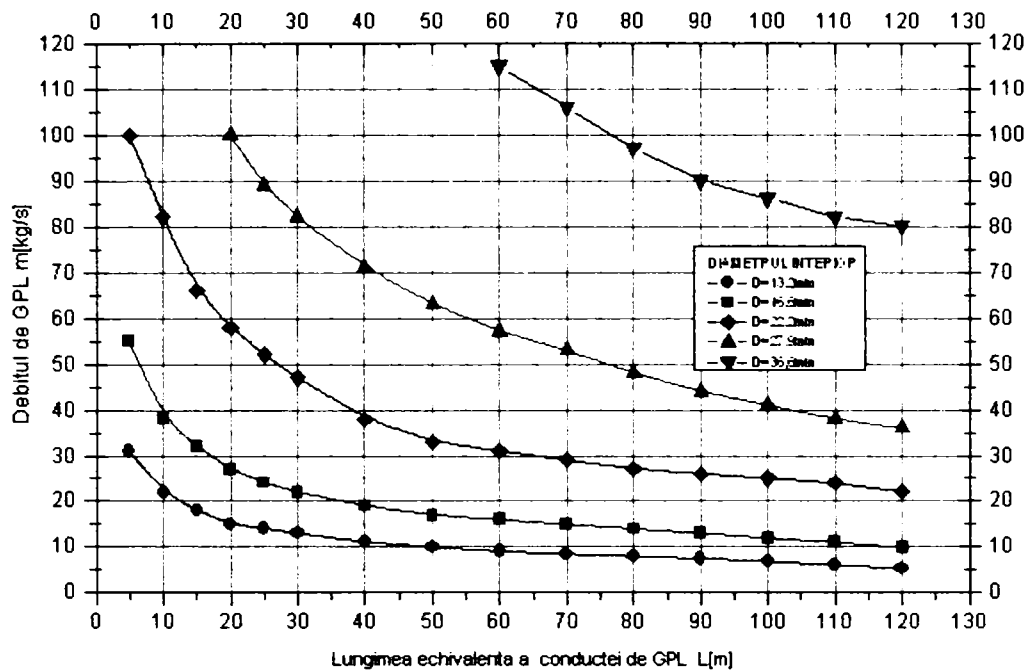


Fig. 3.1. Variația debitului de GPL în funcție de diametrul și lungimea virtuală a conductei pentru traseul de medie presiune.

d) Dimensionarea reglatoarelor de presiune și a armăturilor

Reglatoarele de presiune se aleg pe baza diagramei cu caracteristică de funcționare (fig.3.2); diagramă care definește debitul de gaz în funcție de presiunile în amonte și aval (Diagrama din figura 3.2 a fost determinată experimental, pe standul de probă, cap 6.).

În general firmele constructoare prezintă o diagramă cu caracteristica de funcționare dar este de preferat să se verifice sau să se ridice diagrame proprii.

Practic, pentru un regulator de înaltă presiune, se va considera ca “presiune de intrare”, presiunea care se va stabili în rezervor (conform diagramei tensiunilor vaporilor) la temperatura exterioară minimă (medie) din zona geografică în care este montat rezervorul.

Armăturile se aleg în funcție de diametrele conductelor.

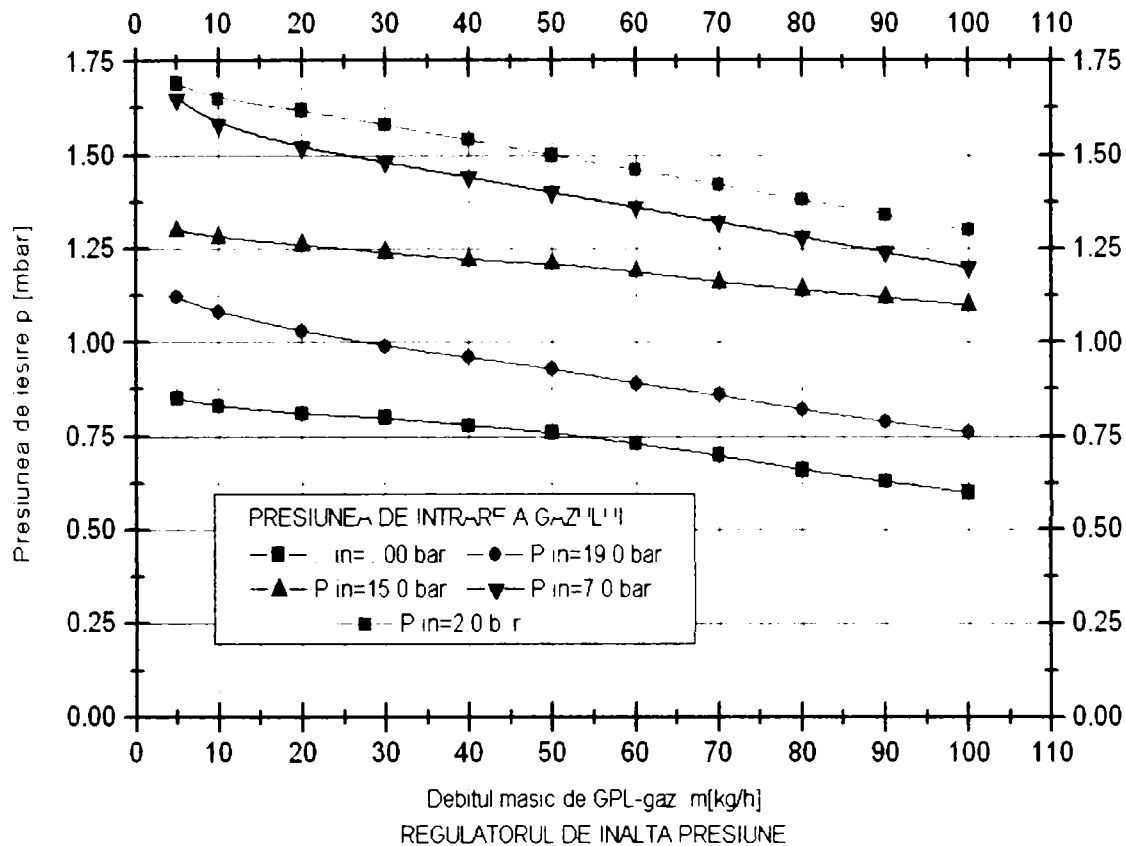


Fig.3.2. Caracteristica de funcționare a unui regulator de înaltă presiune

e) Concluzii privind proiectarea instalațiilor de GPL

Literatura de specialitate este săracă în privința mărimilor necesare unei proiectări optime a instalațiilor de GPL. Pentru o dimensionare corectă a unei instalații de GPL proiectantul trebuie să cunoască foarte bine, pe lângă datele de proiectare, proprietățile termo-fizice ale GPL-ului utilizat, coeficienții de rezistență la frecare " λ " pentru conductele utilizate, debitul de gaz furnizat cotinuu de diferite mărimi de rezervoare în cadrul unei instalații fără vaporizator, în diferite condiții de lucru, etc. Toate aceste mărimi se pot cunoaște precis numai prin cercetări proprii cu determinări experimentale pe standuri de probă.

CAPITOLUL 4

PROPRIETĂȚILE TERMO-FIZICE ALE GPL

4.1 PROBLEME GENERALE

Literatura de specialitate este săracă în privința proprietăților termo-fizice ale gazelor petroliere lichide; majoritatea proprietăților sunt redată tabelar sau grafic pentru substanțe pure. Firmele furnizoare, mai ales cele din țară, dau compoziția amestecului cu o precizie bună numai referitor la propan și hidrocarburile C4 (sat.+ nesat), care pot fi saturate ca izobutan, *n* butan (C₄H₁₀) sau nesaturate, butenele (C₄H₈), la fel sunt date hidrocarburi cum ar fi -C₂ și/sau -C₅, așa cum rezultă din tabelele 4.1 și 4.2. utilizate de S.C Sistemgas SRL Timișoara cu "propan" și "butan", furnizate de producători din țară.

a) propan

Tabelul 4.1

Nr. crt.	Compoziția chimică	UM (fracție masică) μ_1	Valori determinate μ_1 %
1	Propan	%	96.05
2	Hidrocarburi C4 (sat. + nesat)	%	2.95
3	Propilena	%	0.65
4	Hidrocarburi C2 (sat. + nesat)	%	0,35
5	Hidrocarburi C 5 (sat. + nesat)	%	0,00
6	Sulf	Mg/m ³ _N	45
7	Apă	%	Lipsă

b) butan

Tabelul 4.2.

Nr. Crt.	Compoziția chimică	UM (fracție masică) μ_1	Valori determinate $\mu_1\%$
1	Hidrocarburi C3 (sat. + nesat)		4.24
2	Hidrocarburi C4 (sat. + nesat)		95.73
3	Hidrocarburi C5 (sat. + nesat)l		0.03
4	Sulf	mg/m ³ _N	208,7
5	Apa	%	Lipsă

În aceste condiții numai prin determinări experimentale în laborator se pot obține valori corecte pentru mărimile necesare.

În acest capitol s-a pus un accent mai mare pe acele mărimi care influențează depozitarea, transvazarea, transportul, distribuția și utilizarea GPL în sistemele autonome, cum ar fi: masa specifică, tensiunea vaporilor, vâscozitatea dinamică, etc., fără a se analiza mărimile care influențează arderea și/sau transmiterea căldurii în diferite instalații.

4.2. GPL-AMESTEC DE HIDROCARBURI

Întrucât în componența GPL intră un amestec de hidrocarburi proprietățile termice se pot studia și analiza privind masa de GPL ca un amestec de lichide sau în faza gazoasă ca un amestec de gaze ce se găsesc de la început la aceeași temperatură.

În cele ce urmează, va fi tratat cazul amestecării unor lichide și gaze ideale, fără acțiune chimică reciprocă la temperatura considerată, fără curenți ascendenți și cu densități aproape egale, cu înălțime relativ mică a recipientului de GPL; înălțime ce nu depășește un metru.

Compoziția unui astfel de amestec poate fi dată prin *compoziția masică*[62]:

$$m_{am} = m_1 + m_2 + \dots + m_n \quad (4.1)$$

unde m_1, m_2, \dots , sunt masele componentelor din amestec. Notând cu:

$$\mu_i = \frac{m_i}{m_{am}} \quad (4.2)$$

se definește *participarea masică* (fracția de masă) a unei componente.

Rezultă:

$$\sum_{i=1}^n \mu_i = 1 \quad (4.3)$$

Notând cu:

$$\nu_i = \frac{V_i}{V_{am}} \quad (4.4)$$

se definește *participarea volumică* (fracția de volum) a unei componente. Unde V_1, V_2, \dots , etc, sunt volumele componentelor din amestec; rezultă:

$$\sum_{i=1}^n \nu_i = 1 \quad (4.5)$$

Se definește (*participarea molară*) fracția molară [63] a unui component x_i (notăm cu x_i fracția molară a componentului în fază lichidă și cu y_i fracția molară a componentului în fază gazoasă) dintr-un amestec omogen ca numărul de moli al acestui component N_i împărțit cu numărul total de moli din amestecul respectiv.

$$x_i = \frac{N_i}{\sum N_i}$$

Numărul de moli din componentul i fiind $N_i = \frac{m_i}{M_i} = \frac{m_i m_{am}}{m_{am} M_i} = \frac{\mu_i}{M_i} m_{ma}$ și

$\sum N_i = \sum \frac{m_i}{M_i}$ se poate scrie expresia fracției molare a componentei x_i sub forma:

$$x_i = \frac{m_i / M_i}{\sum m_i / M_i} = \frac{\mu_i / M_i}{\sum \mu_i / M_i} \quad (4.6)$$

În aceste relații N_i , m_i , și M_i reprezintă numărul de mol, masa și masa moleculară a componentului i .

Majoritatea furnizorilor de GPL prezintă compoziția gazului în participări masice (μ_i) iar formula de mai sus permite calculul fracției molare a componentei x_i pentru un amestec bine definit.

a) GPL-amestec de gaze

Componentele GPL sunt similare din punct de vedere chimic care nu manifestă efect termic și schimbare de volum apreciabile la amestecare, deci sunt considerate soluții ideale [64]

Pentru sistemele autonome, GPL în fază gazoasă se întâlnește în conductele de distribuție la instalațiile GPL, (unde interesează proprietățile termofizice care caracterizează curgerea gazelor) și în partea superioară a rezervoarelor de stocare.

În această stare GPL se poate considera, cu mici abateri, ca un gaz ideal și se pot utiliza toate relațiile privind amestecul gazelor ideale și anume:

- relație de calcul a masei moleculare a unui amestec de gaze ideale:

$$M_{am} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot M_i \quad (4.7)$$

Între participarea masică și cea volumică există relațiile:

$$\mu_i = \frac{m_i}{m_{am}} = \frac{V_i \cdot \rho_i}{V_{am} \cdot \rho_{am}} = v_i \frac{\rho_i}{\rho_{am}} \quad \text{și} \quad v_i = \mu_i \frac{\rho_{am}}{\rho_i}$$

Ținând cont de relația $M / \rho = \text{const.}$, rezultă:

$$\mu_i = \frac{v_i M_i}{M_{am}} \quad \text{și} \quad v_i = \frac{\mu_i M_{am}}{M_i}$$

Efectuând suma tuturor componentelor $i = 1 \dots n$, rezultă:

$$M_{am} = \sum_{i=1}^n v_i M_i \quad (4.8)$$

și

$$\mu_i = \frac{v_i M_i}{\sum_{i=1}^n v_i M_i} \quad (4.9)$$

respectiv,

$$M_{am} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{M_i}} \quad (4.10)$$

și

$$v_i = \frac{\frac{\mu_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{M_i}} = y_i \quad (4.11)$$

Deci în cazul amestecului de gaze participarea volumică este egală cu participarea molară.

J. Dalton a enunțat o lege, care este riguros valabilă numai pentru gazul perfect și pentru gazele semi-perfecte, dar poate fi aplicată cu suficientă exactitate și gazelor reale, dacă acestea nu se află la presiuni mari. Legea are următorul enunț: *Într-un amestec de gaze, fără acțiune chimică reciprocă, presiunea exercitată de amestec asupra pereților recipientului este egală cu suma presiunilor parțiale ale tuturor componentelor, deci:*

$$p_{am} = p_1 + p_2 + \dots = \sum p_i \quad (4.12)$$

Prin *presiune parțială* se înțelege presiunea la care s-ar afla o componentă, dacă ar ocupa singură întregul volum V_{am} la temperatura amestecului T_{am} .

Folosind noțiunile de presiune parțială și volum parțial, rezultă:

$$p_i = v_i p_{am} \quad (4.13)$$

Dacă y_1, y_2, y_3, \dots reprezintă fracția molară a componentilor din amestecul de vapori, între presiunea parțială și cea totală există relația [65] :

$$p_1 = p_{am} \cdot y_1 ; \quad p_2 = p_{am} y_2 ; \quad p_3 = p_{am} \cdot y_3 \dots\dots\dots$$

Dacă se ține cont de relația $M R_i = R_M$, se va obține constanta amestecului:

$$R_{am} = \sum_{i=1}^n \mu_i R_i \quad (4.14)$$

sau direct:

$$R_{am} = \frac{8314}{M_{am}} \quad [J / kg K] \quad (4.15)$$

masa specifică a amestecului în condiții normale fizice este:

$$\rho_N = \frac{M_{am}}{22,4} \quad [kg / m^3] \quad (4.16)$$

Energia internă $-u_{am}$ - și entalpia unui amestec $-i_{am}$ - de gaze se compune din suma energiilor interne, respectiv din suma entalpiilor componentelor:

$$U_{am} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (4.17)$$

$$I_{am} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

de unde,

$$u_{am} = \sum_{i=1}^n \mu_i u_i \quad i_{am} = \sum_{i=1}^n \mu_i i_i \quad (4.18)$$

Capacitățile termice ale amestecului vor fi:

$$c_{vam} = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v = \sum_{i=1}^n \mu_i c_{vi} \quad (4.19)$$

și

$$c_{pam} = \left(\frac{\partial \bar{a}}{\partial T} \right)_p = \sum_{i=1}^n \mu_i c_{pi} \quad (4.20)$$

Entropia unui amestec poate fi determinată ca în cazul energiei interne și a entalpiei prin însumarea contribuției fiecărei componente, la condiția în care fiecare componentă există în amestec. Entropia unui gaz ideal depinde de două proprietăți, nu doar de temperatură cum este cazul energiei interne și a entalpiei. Astfel, pentru amestec avem:

$$S_{am} = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i \quad [kJ / K]$$

$$s_{am} = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot s_i \quad [kJ / kg \cdot K] \quad (4.21)$$

Vâscozitatea dinamică a amestecului- η_{am} - este dată de relația :

$$\eta_{am} = \sum_{i=1}^n \nu_i \eta_i \quad [N.s/m^2] \quad (4.22)$$

Conductivitatea termică λ_{am} -va fi:

$$\lambda_{am} = \sum_{i=1}^n \nu_i \hat{\lambda}_i \quad [\text{W}/(\text{mK})] \quad (4.23)$$

Puterea calorică inferioară a amestecului H_{iam} -este dată de relația:

$$H_{iam} = \sum_{i=1}^n \nu_i H_i \quad [\text{kJ}/\text{m}^3_{\text{N}}] \quad (4.24)$$

Având aceste mărimi rezultă toate celelalte [66] (vâscozitatea cinematică, difuzivitate termică, criteriile Reynolds, Prandtl, etc)

b) GPL amestec de lichide

Relațiile cantitative dintre compoziția fazei vapor și a fazei lichide se bazează pe legile lui Henry și Raoult, care corelează presiunea parțială a unui component cu concentrația aceluiași component în faza lichidă [65]

GPL în faza lichidă se întâlnește în rezervoarele de depozitare, în rezervorul de distribuție la Instalațiile GPL și la Instalațiile-Skid, unde interesează fenomene ca vaporizarea, dilatarea, suprapresiunea, etc. În această stare componentele amestecului GPL sunt la aceeași temperatură.

Moleculele lichidului de GPL au tendința de a se evapora și astfel lichidul exercită o presiune numită presiune de vapor. În caz de echilibru între faza de vapor și lichid ale unui component pur, presiunea de vapor este funcție numai de temperatură și este o mărime constantă (la temperatura respectivă) spre deosebire de presiunea exercitată de vaporii care nu sunt în echilibru cu lichidul din care provin și care poate avea orice

valori, până la valoarea presiunii vaporilor în echilibru cu lichidul, adică a vaporilor saturați.

Lichidul de GPL care are o suprafață în contact cu vaporii săi va trimite în volumul de gaz vaporii proprii, până când spațiul este saturat cu acești vapori. Fiecare component din faza lichidă de GPL exercită o presiune parțială de vapori p_i , a cărei mărime depinde de presiunea de vapori a componentului pur, precum și de concentrația lui în faza lichidă. După legea lui Raoult, presiunea parțială a unui component din amestecul lichid este egală cu presiunea de vapori a componentului înmulțită cu concentrația lui molară în faza lichidă adică:

$$p_i = P_i x_i, \quad (4.25)$$

unde :

p_i - este presiunea parțială a componentului lichid;

P_i - presiunea de vapori a componentului;

x_i - fracția molară a componentului în faza lichidă.

Exactitatea acestor legi este cu atât mai mare cu cât concentrația x și presiunea sunt mai mici. În tehnologia țițeiului, exactitatea acestor legi pentru hidrocarburi se consideră ca fiind satisfăcătoare până la 4-4,5 bar; interval de valori specifice GPL-ului la temperaturi sub 0°C. Având în vedere că toate inconvenientele de ordin tehnic, în special vaporizarea GPL-ului, apar la temperaturi sub 0°C, deci la presiuni mici, legea lui Raoult este suficient de exactă pentru componentele GPL, considerate soluții ideale și nu se pune problema utilizării presiunii corectate (fugacitatea).

Prin combinarea legii lui Raoult cu legea aditivității presiunilor parțiale (legea lui Dalton), se obține :

$$p_1 + p_2 + p_3 = p_{am},$$

dar:

$$p_1 = P_1 x_1; \quad p_2 = P_2 x_2; \quad p_3 = P_3 x_3; \dots\dots$$

astfel că:

$$P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 + \dots = p_{am}, \quad (4.26)$$

adică presiunea exercitată de un amestec de hidrocarburi lichide este egală cu suma produselor dintre presiunea de vapori a componentilor și concentrațiile lor molare în amestec. Presiunile de vapori ai componentilor puri sunt dependente numai de temperatură (legea lui Calasius-Clapeyron) și compoziția amestecului lichid este dată, astfel presiunea totală p_{am} se calculează luând din diagrama (tabela) presiunilor de vapori valorile corespunzătoare hidrocarburilor pure, la temperatura considerată și făcând apoi suma:

$$\sum (P_i x_i) = p_{am} \quad (4.27)$$

Masa specifică a amestecului lichid este:

$$\rho_{am} = \sum_{i=1}^n v_i \rho_i \quad (4.28)$$

Entalpia unui amestec i_{am} - de lichide:

$$i_{am} = \sum_{i=1}^n \mu_i i_i \quad (4.29)$$

4.3. MASA SPECIFICĂ A GPL-ULUI LICHID

Masa specifică (densitatea) a GPL-ului lichid depinde de compoziția lichidului, de temperatură și presiune. Pentru calculul masei specifice a GPL-ului lichid pot fi utilizate și relații de calcul funcție de o serie de alți parametri specifici. Aceste relații dau rezultate bune, dacă se cunosc exact compozițiile, în concordanță cu valorile experimentale și sunt utile atunci când urmează a fi introduse în programe de calcul. Practic se utilizează diferite diagrame, determinate experimental în general pentru compoziția cu care lucrează sistemul autonom de GPL.

În figura 4.1 este prezentată variația masei specifice a GPL-ului lichid pentru propan, n-butan și un amestec de propan-butan, curba realizată de Coprim, iar în

diagrama din Fig.4 .2 este prezentată variația masei specifice a propanului, determinat la Universitatea Karlsruhe, Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik, [67]

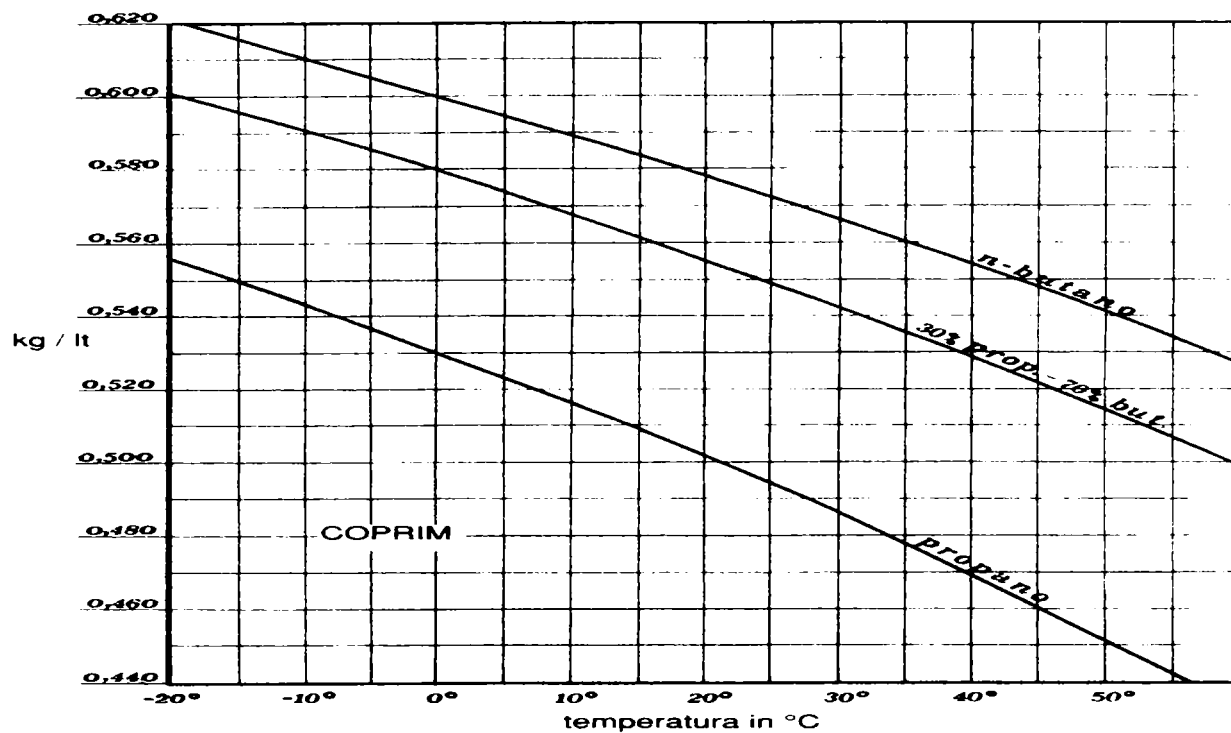


Fig.4.1. Variația masei specifice a GPL- lichid

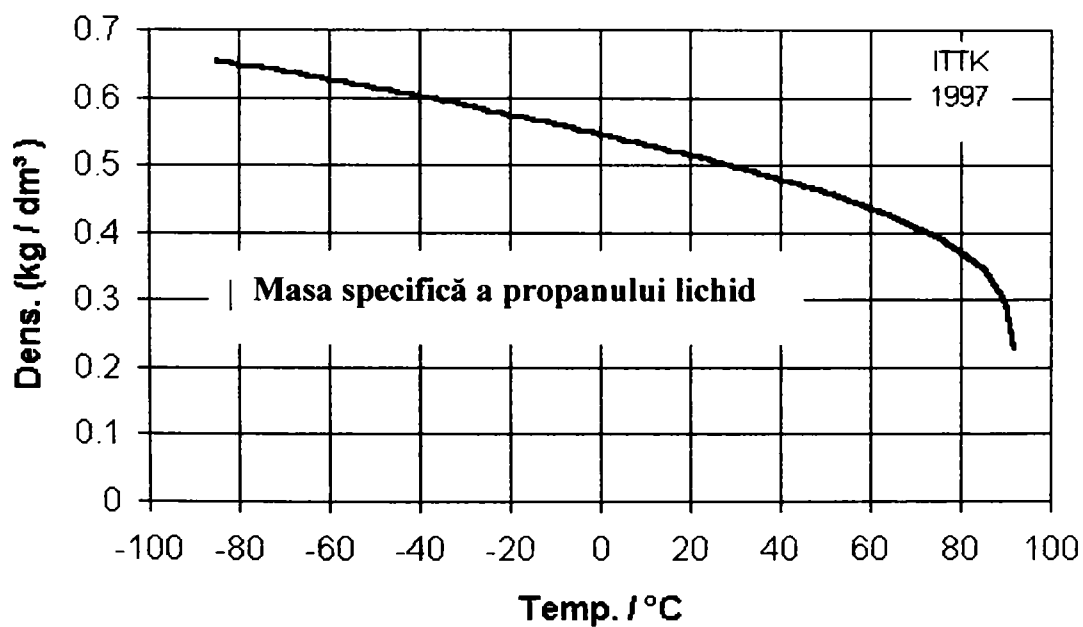


Fig.4.2. Variația masei specifice a propanului lichid

În figura.4.3 s-au trasat densitățile autogazului (de vară și de iarnă) lichid, determinate experimental la S.C. SISTEMGAS Timișoara [68] cu ajutorul unui termodensimetru.

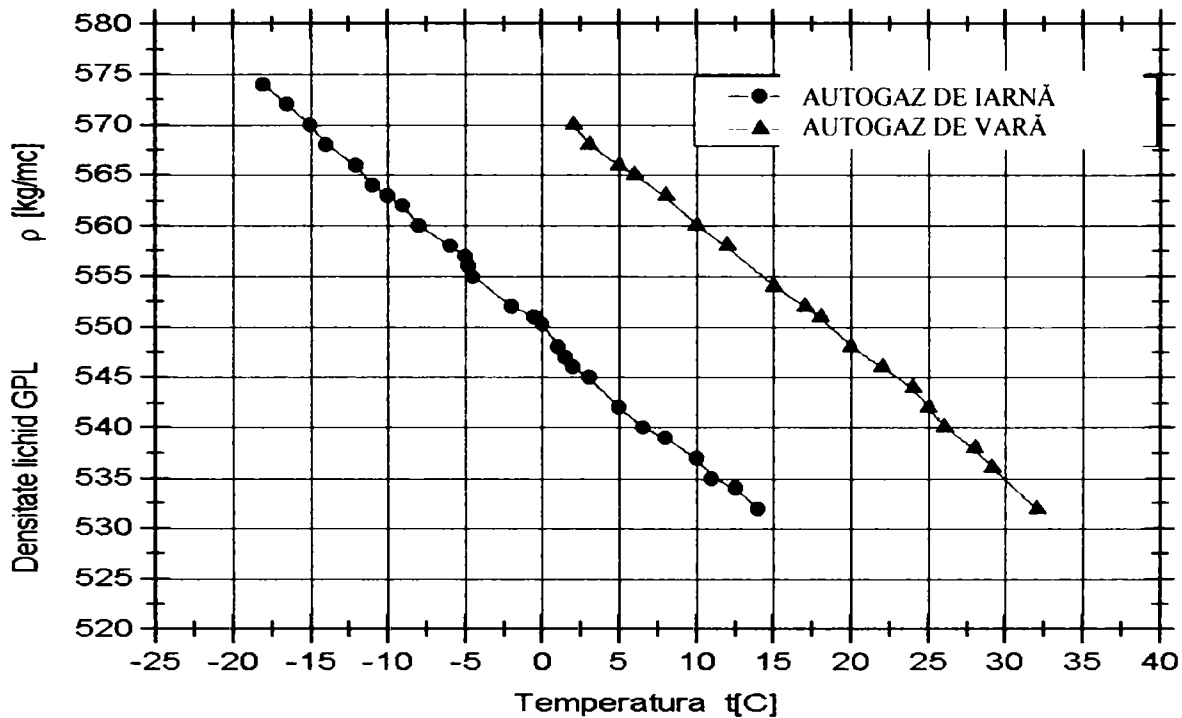


Fig.4.3. Densitatea autogazului lichid

AUTOGAZ DE VARA MIN. 40% PROPAN (C_3H_8) MAX 60% BUTAN (C_4H_{10})

AUTOGAZ DE IARNA MIN. 70% PROPAN (C_3H_8) MAX 30% BUTAN (C_4H_{10})

Masa specifică a lichidului variază în limite destul de mari cu temperatura, așa cum reiese și din diagramele de mai sus, astfel că este supus unor puternice variații de volum odată cu variația temperaturii.

4.4. MASA SPECIFICĂ A VAPORILOR DE GPL

Masa specifică a vaporilor de GPL depinde, la o compoziție dată, de temperatura de saturație care determină presiunea din rezervor. În faza statică în interiorul unui recipient este o stare de echilibru între lichid și gaz. În acest caz avem în rezervor, în partea superioară, gaz saturat uscat. Pentru calculul masei specifice a vaporilor de GPL pot fi utilizate relațiile de calcul pentru amestecul de gaze perfecte, cunoscând masa specifică a vaporilor de GPL - Δ_0 [kg/m³_N] în condițiile normale la $p=760$ Torr și $T=273.15$ K, sau în alte condiții și compoziția concretă a amestecului.

În tabelul 4.3 s-au trecut mărimile caracteristice ale unor hidrocarburi, care pot interveni în compoziția GPL [69], iar în tabelul 4.4 s-au trecut mărimile caracteristice ale propanului și butanului [4], în condiții tehnice normale (1,013 bar și $t=15,5^{\circ}$ C).

Tabelul 4.3

Caracteristicile unor hidrocarburi

Nr.crt	Component gazos	Simbol chimic	Masa moleculară kg/kmol	Masa specifică a vaporilor [kg/m ³ _N]	ConstantaR [J/(kg·K)]
0	Etan	C ₂ H ₆	30,05	1,344	277,16
1	Etilenă	C ₂ H ₄	28,05	1,250	296,95
2	Propilenă	C ₃ H ₆	42,08	1,880	197,97
3	Propan	C ₃ H ₈	44,06	1,967	188,97
4	N – Butan	C ₄ H ₁₀	58,08	2,598	143,36
5	izo – Butan	C ₄ H ₁₀	58,08	2,598	143,36
6	Butilenă I	C ₄ H ₈	56,10	2,50	148,48
7	Pentan	C ₅ H ₁₂	72	3,213	115,48

Tabelul 4.4

Nr.crt	Caracteristici	Propan	Butan
0	1	2	3
1	Formula	C_3H_8	C_4H_{10}
2	Starea produsului la 1,013 bar și 15,5 °C	Gazoasă	Gazoasă
3	Temperatura de vaporizare la 1,013 bar	-42 °C	-2 °C
4	Masa specifică a vaporilor la 1,013 bar și 15,5 °C	1,9 kg/m ³	2,5 kg/m ³
5	Masa specifică a lichidului la 15,5 °C	0,52 kg/dm ³	0,58 kg/dm ³
6	Densitatea relativă a vaporilor (față de aer)	1,56	2.00
7	Presiunea vaporilor la 50 °C	19,5 bar	7 bar
8	Litri de gaz la 1,013 bar și 15,5 °C dintr-un litru de lichid	270 dm ³	235 dm ³

4.5. CAPACITATEA TERMICĂ MASICĂ A GPL-ULUI

Capacitatea termică masică reprezintă energia termică necesară pentru a modifica temperatura unui kilogram de substanță cu un Kelvin.

Pentru gaze și vapori, se definește capacitatea termică masică la presiune constantă c_p [J/kgK] și la volum constant c_v [J/kgK] ($c_p > c_v$); pentru lichide valorile sunt egale și se notează simplu cu "c".

Capacitatea termică masică depinde de natura substanței, starea de agregare, temperatură și presiune [69]. Pentru GPL se dă variația căldurii specifice funcție de temperatura la presiune constantă, influența presiunii fiind neglijabilă în domeniul de lucru al sistemelor autonome; pentru presiuni mai mari se iau în considerare prin intermediul unor coeficienți de corecție.

În literatura de specialitate sunt prezentate o serie de metode de calcul pentru capacitatea termică masică a substanțelor pentru starea gazoasă sau lichidă, cum ar fi:

- metode care iau în considerare contribuția diverselor grupuri structurale și a tipurilor de legături din moleculă;

- metode care au la bază relații empirice
- metode în care constantele ecuațiilor se obțin pe baza contribuțiilor grupurilor de structură și a tipurilor de legături chimice.

Capacitatea termică masică a vaporilor de GPL se poate calcula cu relația lui

Rihani și Doraiswamy [69]:

$$c_p = (A + BT + CT^2 + DT^3) \cdot (4186/M) \quad [\text{J/kgK}] \quad (4.30)$$

în care constantele A, B, C, D se determină funcție de numărul de grupuri structurale (tabelul 4.5) cu relațiile:

$$A = \sum (n-a)_i, B = \sum (n-b)_i, C = \sum (c-n)_i, D = \sum (n-d)_i \quad (4.31)$$

Metoda are un caracter general și poate fi aplicată pentru orice hidrocarbură cu condiția cunoașterii structurii moleculare.

Tabelul 4.5 Valorile constantelor a, b, c și d pentru relația 4.31

Grup	A	B 10 ²	c 10 ⁴	D 10 ⁶
CH ₃	0.6087	2.1433	-0.0852	0.011350
>CH ₂	0.3945	2.1363	-0.1197	0.002596
=CH ₂	0.5266	1.8357	-0.0954	0.001950
/>CH-H	-3.5232	3.4158	-0.2816	0.008015
^H >C=CH ₂	-5.8307	4.4541	-0.4208	0.012630
>C=CH ₂	0.2773	3.4580	-0.1918	0.004130
^H >C=C< ^H	-0.4173	3.8857	-0.2783	0.007364
^H >C=C< _H	-3.1210	3.8060	-0.2359	0.005504
>C=C< ^H	0.9377	2.9904	-0.1749	0.003918
>C=C<	-1.4714	3.3842	-0.2371	0.006063
^H >C=C=CH ₂	0.4736	3.5183	-0.3150	0.009205
>C=C=CH ₂	2.2400	4.2896	-0.2566	0.005908
^H >C=C=C< ^H	2.6308	4.1658	-0.2845	0.007277
	-3.1249	6.6843	-0.5766	0.017430

În cazul GPL, pentru substanțe pure se poate utiliza ecuația :

$$c_p = (A + BT + CT^2 + DT^3) \cdot (4186/M) \text{ J/kgK} \quad (4.32)$$

cu temperaturile exprimate în [K], care diferă de relația (4.31) prin faptul că prin valorile constantelor se particularizează componenți individuali.

Constantele ecuației (4.32) sunt date în tabelul 4.6; ecuația implică utilizarea temperaturii absolute exprimată în [K] iar căldura specifică rezultă în [J/kg K].

Tabelul 4.6. Valorile constantelor A,B,C din ecuația (4.32)

Nr.crt.	Produs	Formula	$A \cdot 10^{-2}$	B	$C \cdot 10^3$	$D \cdot 10^7$
1	Etan	C_2H_6	1.804	5.9351	-2.312	2.904
2	Propan	C_3H_8	-0.9595	6.9592	-3.604	7.304
3	n-butan	C_4H_{10}	-0.4225	6.7543	-3.499	7.032
4	i-butan	C_4H_{10}	-1.5364	7.2319	-4.027	8.7989
5	n-pentan	C_5H_{12}	-0.5036	6.7693	-3.583	7.3665
6	i-pentan	C_5H_{12}	-1.3237	7.0332	-3.790	7.9465

4.6 ENTALPIA ȘI ENTROPIA SPECIFICĂ PENTRU GPL

Pentru valorile uzuale ale temperaturilor în tabelele Nr. 4.7. și 4.8 s-au trecut capacitatea termică masică la presiune constantă respectiv la volum constant, exponentul adiabatic, entalpia și entropia specifică pentru butan și propan. Utilizând formulele de calcul pentru amestecuri se determină entalpia și entropia specifică pentru GPL.

Tabelul 4.7

Proprietățile termofizice ale butanului

Nr.	T	c_p	c_v	Exponent adiabat	Entalpia h	Entropia s_0
	[°C]	[kJ/kgK]	[kJ/kg]	γ	[kJ/kg]	[kJ/kg]
1	10	1,623	1,480	1,097	266,7	2,756
2	20	1,669	1,526	1,094	283,2	2,814
3	30	1,714	1,571	1,091	300,1	2,870
4	40	1,760	1,616	1,088	317,4	2,927
5	50	1,804	1,661	1,086	335,3	2,983
6	60	1,849	1,706	1,084	353,5	3,038
7	70	1,893	1,750	1,082	372,2	3,094
8	80	1,937	1,794	1,080	391,4	3,149
9	90	1,981	1,838	1,078	411,0	3,203
10	100	2,024	1,881	1,076	431,0	3,258
11	110	2,067	1,924	1,074	451,5	3,312

Tabelul 4.8.

Proprietățile termofizice ale propanului

Nr.	T	c_p	c_v	Exponent adiabat	Entalpia h	Entropia s_0
	°C	kJ/kgK	kJ/kg	γ	kJ/kg	kJ/kg
1	10	1,599	1,410	1,134	244,2	2,052
2	20	1,647	1,458	1,129	260,5	2,108
3	30	1,695	1,507	1,125	277,2	2,164
4	40	1,743	1,554	1,121	294,4	2,220
5	50	1,790	1,602	1,118	312,0	2,276
6	60	1,837	1,649	1,114	330,2	2,331
7	70	1,884	1,695	1,111	348,8	2,386
8	80	1,930	1,741	1,108	367,8	2,441
9	90	1,976	1,787	1,106	387,4	2,495
10	100	2,021	1,832	1,103	407,4	2,549
11	110	2,066	1,877	1,100	427,8	2,603

4.7. VÂSCOZITATEA GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE

Vâscozitate dinamică- η [Ns/m²]-este un factor dependent de forțele rezultate din ciocnirea reciprocă a moleculelor și de coeziunea dintre acestea. Vâscozitatea dinamică (sau cinematică - ν [m²/s]= η/ρ -) este o mărime importantă a GPL, în calculul de dimensionare a conductelor, la determinarea numărului Reynolds:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\eta} \quad (4.33)$$

unde: R [J/kgK]- constanta gazului;

ρ [kg/s]- masa specifică a gazului.

Vâscozitatea substanțelor depinde de natura acestora, de temperatură și de presiune. Influența presiunii, la GPL, este foarte mică, ea devine sensibilă numai pentru valori de peste 10 bar; în conductele de GPL presiunea nu trece însă de 1.5 bari, valorile uzuale sunt cuprinse între (0.1...0.6).bar

Vâscozitatea în stare gazoasă la presiune apropiată de presiunea atmosferică se poate determina cu relația polinomială:

$$\eta = [A + B.T + C.T^2]/10^7 \quad (4.34)$$

în care η [N.s/m²], T [K], iar constantele A,B,C sunt date în tabelul 4.9.

În tabelul 4.10 s-a trecut vâscozitatea butanului și propanului în stare gazoasă la presiune atmosferică, funcție de temperatură [66]. Comparând cele două metode de calcul se poate constata o foarte bună apropiere.

Tabelul 4.9 Valorile constantelor A,B,C din ecuația (4.34)

Produs	Formula	A	B 10 ²	C 10 ⁶	10 ⁷ θ la 25°C	Domeniu, °C
Etan	C ₂ H ₆	5,576	30,64	-53,07	92,2	-80;1000
Propan	C ₃ H ₈	4,912	27,12	-38,06	82,4	-80;1000
n-butan	C ₄ H ₁₀	0,4015	24,251	18,827	74,3	-170;160
i-butan	C ₄ H ₁₀	-11,303	32,098	-91,072	76,2	0;500
n-pentan	C ₅ H ₁₂	5,8959	22,00	-57,281	71,4	0;500
i-pentan	C ₅ H ₁₂	-10,788	29,278	-58,929	71,2	0;500
Etilena	C ₂ H ₄	3,586	35,13	-80,55	101,2	-100;800
Propilena	C ₃ H ₆	-5,601	31,88	-62,91	83,9	-100;1000
1-butena	C ₄ H ₈	-8,884	29,59	-57,24	74,3	-100;1000

Tabelaul 4.10 Vâscozitatea butanului și propanului funcție de temperatură

Nr.	Butan		Propan	
	T [°C]	10 ⁶ η [kg/m.s]	T [°C]	10 ⁶ η [kg/m.s]
1	10	7,16	0	7,54
2	15	7,29	5	7,67
3	20	7,41	10	7,81
4	25	7,53	15	7,94
5	30	7,65	20	8,07
6	35	7,77	25	8,21
7	40	7,89	30	8,34
8	45	8,01	35	8,47
9	50	8,13	40	8,60
10	55	8,25	45	8,74
11	60	8,37	50	8,87
12	65	8,49	55	9,00
13	70	8,61	60	9,13
14	75	8,73	65	9,26

4.8. CONDUCTIVITATEA GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE

Conductivitatea termică λ [W/mK] reprezintă cantitatea de căldură ce trece printr-un perete cu grosimea de un metru [70], în timp de o secundă, la o diferență de un Kelvin.

a.) Conductivitatea termică a GPL în stare lichidă;

Conductivitatea termică a substanțelor pure în stare lichidă se poate exprima într-o relație de tip polinomial sub forma:

$$\lambda = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 \quad [\text{W/mK}] \quad (4.35)$$

cu constantele date în tabelul 4.11.

Tabelul 4.11

Sunstanta	Formula	A 10	B 10 ⁴	C 10 ⁷	D 10 ¹¹	Domeniu T(K)
Metan	CH ₄	6.35914	-57.4998	156.975	-	73-173
Etan	C ₂ H ₆	6.28056	-42.7825	88.1734	-	123-123
		1.87086	-3.40112	-	-	233-353
Propan	C ₃ H ₈	7.57096	-52.3909	109.914	-	123-233
		3.67647	-13.9300	16.3519	-	233-353
n-Butan	C ₄ H ₁₀	7.24460	-45.2738	87.3363	-	123-233
		3.93358	-14.8854	17.6600	-	233-353
i-Butan	C ₄ H ₁₀	-2.39404	44.7773	-173.918	2048.80	248-343
n-Pentan	C ₅ H ₁₂	2.80947	-7.47760	5.99468	-	233-433
i-Pentan	C ₅ H ₁₂	9.13208	-68.4005	193.138	-1903.45	248-343

b). Conductivitatea termică a GPL, în stare de vapori sau gaz:

Conductivitatea termică a substanțelor pure în stare de vapori sau gaz se poate exprima funcție de temperaturi, prin diferite relații [69] (relația lui Maxwell, Eucken, etc), dar pentru presiuni și temperaturi joase sunt utilizate relațiile polinomiale de forma:

$$\lambda = A + B T + C T^2 \quad [\text{W/mK}], \quad (4.36)$$

unde temperatura T [K]; constantele din relația de mai sus se determină experimental.

În tabelul 4.12 s-au trecut constantele pentru câteva hidrocarburi.

Tabelul 4.12

Substanța	Formula	A 10 ³	B 10 ⁶	C 10 ⁹	T(K)
Metan	CH ₄	16,9280	-4,67705	209,299	273-573
Etan	C ₂ H ₆	3.73453	3.83688	188.369	473-1273
Propan	C ₃ H ₈	-0.00940	10.1816	159.828	273-473
n-Butan	C ₄ H ₁₀	125.621	-731.424	1151.14	273-773
i-Butan	C ₄ H ₁₀	-5.85021	38.9631	118.105	273-773

Conductivitatea termică pentru butan și propan, funcție de temperatură, la presiuni apropiate de presiunea atmosferică, se prezintă, în general, sub formă de tabele (4.13):

Tabelul 4.13. Conductivitatea termică pentru butan și propan

Nr.	1. Butan		2. Propan	
	T	$10^3\lambda$	T	$10^3\lambda$
	[°C]	[W/mK]	[°C]	[W/mK]
1	10	14,43	0	15,29
2	15	14,89	5	15,82
3	20	15,35	10	16,36
4	25	15,82	15	16,90
5	30	16,30	20	17,44
6	35	16,78	25	17,99
7	40	17,26	30	18,53
8	45	17,75	35	19,08
9	50	18,25	40	19,63
10	55	18,75	45	20,18
11	60	19,26	50	20,74
12	65	19,77	55	21,29
13	70	20,28	60	21,85
14	75	20,80	65	22,41

4.9. TENSIUNEA VAPORILOR DE GPL

Una din caracteristicile care diferențiază între ele diferitele tipuri de GPL, determinandu-le folosința, este *tensiunea vaporilor* (fig.4.4) (variația presiunii totale sau a suprapresiunii [3] cu temperatura din interiorul rezervorului).

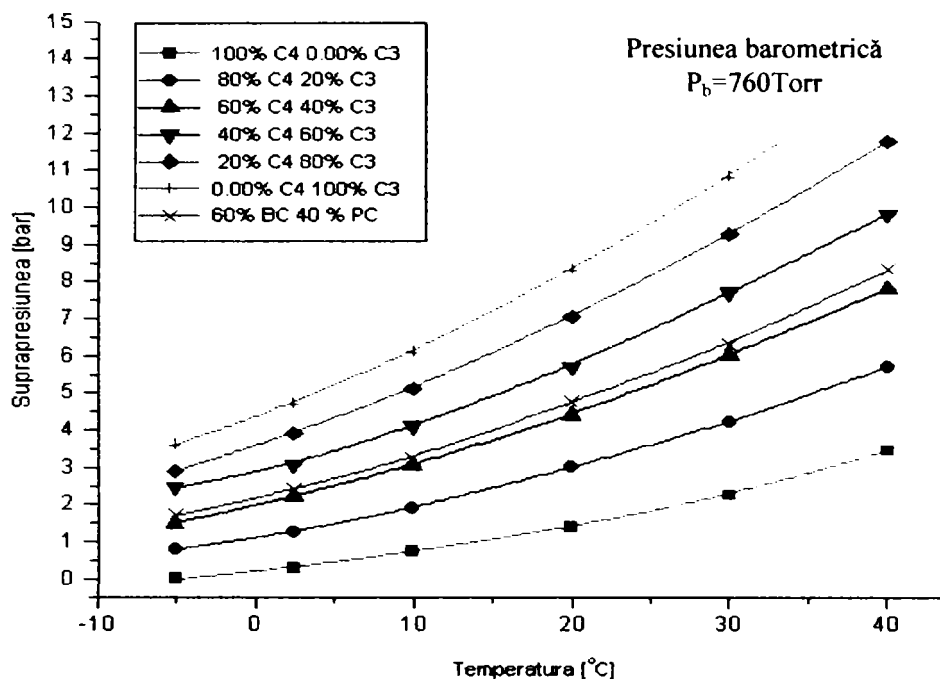


Fig.4.4. Tensiunea vaporilor de GPL

- Tensiunea vaporilor de GPL crește cu creșterea temperaturii. Presiunea vaporilor de propan comercial, la 0°C , este circa 4,8 bar și la 15°C este de circa 8,2 bar, în timp ce aceea a butanului comercial în aceleași condiții este de circa 1 bar și respectiv 2,2 bar; în consecință presiunea existentă în recipientele care conțin GPL depinde de temperatură; în anumite procente (de combinații) între propan și butan presiunea poate fi suficientă pentru a alimenta consumatorii specifici.

În figura.4.4 s-a trasat și curba notată cu "60% BC 40%PC" care a fost determinată experimental de autor [71] pentru "autogazul de vară" (amestec de 60% Butan Comercial și 40% Propan Comercial) la o presiune barometrică de 765 Torr; curba redată separat și în figura 4.5. Diferența între curba experimentală și curba teoretică "60% C4- 40%C3" (fig.4.4) se explică prin diferența între compoziția amestecului teoretic și amestecul real format din butan și propan comercial.

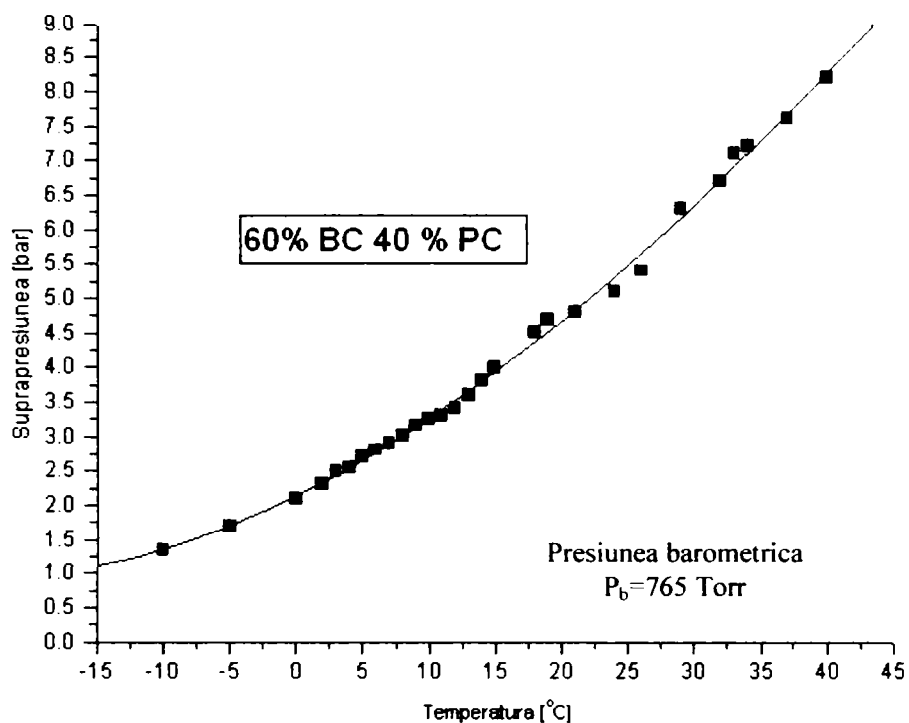


Fig.4.5. Tensiunea vaporilor de autogaz de vara

Cum compoziția GPL-ului variază de la un furnizor la altul (este adevărat că în limite destul de apropiate) pentru fiecare recipient de depozitare de GPL este recomandat să se determine experimental tensiunea vaporilor, masa specifică, etc.

4.10. PARAMETRII CRITICI PENTRU GPL

Prin parametrii critici se înțeleg parametrii prin care se caracterizează starea la punctul critic; punctul critic al GPL este punctul de pe curba de saturație în care dispare diferența între faza lichidă și cea gazoasă. În acest punct se trece direct din starea lichidă în starea gazoasă.

Parametrii critici- sunt: temperatura (T_{cr}), presiunea (P_{cr}) și volumul specific sau masa specifică (densitatea) ($\rho_{cr} = 1/v_{cr}$).

La punctul critic volumul specific al fazei lichide (v') este egal cu cel al fazei de vapori (v''), prin urmare:

$$v' = v'' = v_c = 1/\rho_{cr} \quad (4.37)$$

În tabelul .14 s-au trecut parametrii critici pentru câteva hidrocarburi, substanțe pure.

Tabelul 4.14

Parametrii critici

Substanta	Formula	T_{cr} , [K]	P_{cr} , [bar]	ρ_{cr} , [kg/m ³]
Etan	C ₂ H ₆	305,6	48,8	205,9
Propan	C ₃ H ₈	369,9	42,5	220,0
n-butan	C ₄ H ₁₀	425,6	37,6	227,5
i-butan	C ₄ H ₁₀	407,7	36,8	220,4
n-pentan	C ₅ H ₁₂	470,0	33,6	231,8
2-metil-butan (izopentan)	C ₅ H ₁₂	461,1	33,4	234,2
2.2 dimetil-propan (neopentan)	C ₅ H ₁₂	433,8	32,0	237,5
Etilenă	C ₂ H ₄	282,8	51,1	220,1
Propilenă	C ₃ H ₆	365,1	46,1	231,7
1-butenă	C ₄ H ₈	419,6	40,2	233,3
i-butenă	C ₄ H ₈	417,9	39,5	-
Cis-2-butenă	C ₄ H ₈	433,1	41,6	238,6
Trans-2-butenă	C ₄ H ₈	428,6	41,2	236,3
1 –pentena	C ₅ H ₁₀	464,7	35,5	231,3
Cis-2-pentenă	C ₅ H ₁₀	474,9	36,4	236,9
Trans-2-pentenă	C ₅ H ₁₀	471,0	35,2	236,9
2 metil-1 butenă	C ₅ H ₁₀	464,8	34,3	235,3
3 metil-1 butenă	C ₅ H ₁₀	450,0	35,1	241,0
2 metil-2 butenă	C ₅ H ₁₀	470,0	34,5	236,1
Propandienă	C ₃ H ₄	385,4	53,2	246,9
1,2 –butadienă	C ₄ H ₆	443,7	44,7	246,6
1,3-butadienă	C ₄ H ₆	425,1	43,3	245,5

În multe relații teoretice, pentru determinarea proprietăților termofizice ale substanțelor, se utilizează parametrii critici, fie direct fie prin mărimi reduse (rapoarte între diferite mărimi de pe curba de echilibru și mărimile critice).

4.11. ALTE PROPRIETĂȚILE ALE GPL

4.11.1. Formare de zăpadă și gheață

Dacă GPL-ul iese din recipientele și conductele care îl conțin, ajungând la presiune atmosferică, se vaporizează foarte repede. Pentru a trece din starea lichidă în cea de vapori, GPL-ul trebuie să absoarbă o cantitate mare de căldură; căldura necesară vaporizării este absorbită din atmosfera înconjurătoare, iar temperatura acesteia scade brusc. Din cauza unei astfel de răcirii umiditatea existentă în atmosferă se condensează: se poate observa astfel formarea unei "zăpezi" la locul prin care GPL-ul iese din recipient. O astfel de zăpadă este deseori confundată cu vapori de GPL, în timp ce nu e altceva decât apă (vapori de GPL nu se disting pentru că sunt perfect incolori și transparentți). Acest fenomen poartă numele de givraj. Dacă scăpările de GPL sunt semnificative, răcirea atmosferei înconjurătoare este puternică și în consecință, umiditatea aerului nu numai că se condensează, ci îngheață. Se formează astfel gheață în jurul punctelor unde au loc scăpări de GPL lichid .

Prin scoatere continuă de GPL vapori dintr-un rezervor, se poate ajunge la scăderea bruscă și considerabilă a temperaturii, ceea ce produce condens pe perețele extern al recipientului (pe partea ce este în contact cu GPL lichid) până la formarea unui strat de rouă și apoi de gheață

4.11.2 Punctul de "rouă"

Punctul de "rouă" al GPL-ului este temperatura la care vaporii, supuși unei anumite presiuni, încep să se condenseze (Fig.4.6); temperatura și presiunea la care apare faza lichidă sunt cele de saturație. Dacă vaporii de GPL sunt saturați uscați, la temperatura și presiunea de saturație, și crește presiunea – rămânând neschimbată temperatura – sau scade temperatura – rămânând neschimbată presiunea, aceasta începe să se condenseze cu formarea unor picături de lichid. Vaporii de GPL obținuți prin vaporizare naturală sau cu ajutorul vaporizatorilor sunt vapori în stare de saturație; această fază gazoasă este un vapor saturat în echilibru cu GPL-ul în stare lichidă. Un

astfel de echilibru e definit de temperatura și presiunea corespunzătoare acelei temperaturi. Introducând acest gaz într-o conductă la o temperatură mai joasă, presiunea rămânând neschimbată, gazul se va condensa. Din acest motiv reductorii de presiune din treapta întâi de pe rezervor trebuie legați direct la recipienti sau vaporizatori.

GPL-ul condensat tinde să se depoziteze în părțile cele mai joase ale conductelor; în conductele îngropate și în reductorii de presiune se produce un proces ireversibil, pentru că vaporizarea acestui gaz sustrage căldura din toate materialele cu care vine în contact. Noul gaz vine în contact cu materiale ce au o temperatură joasă și adevărata vaporizare se produce în această zonă cu schimb termic din mediu, de obicei foarte scăzut. Pot apărea următoarele consecințe:

- Posibil blocaj al reductorilor de presiune prin formare de gheață pe părțile lor interne dacă GPL-ul conține apă;
- La încetarea utilizării tot lichidul tinde să se vaporizeze și astfel presiunea tinde să crească.

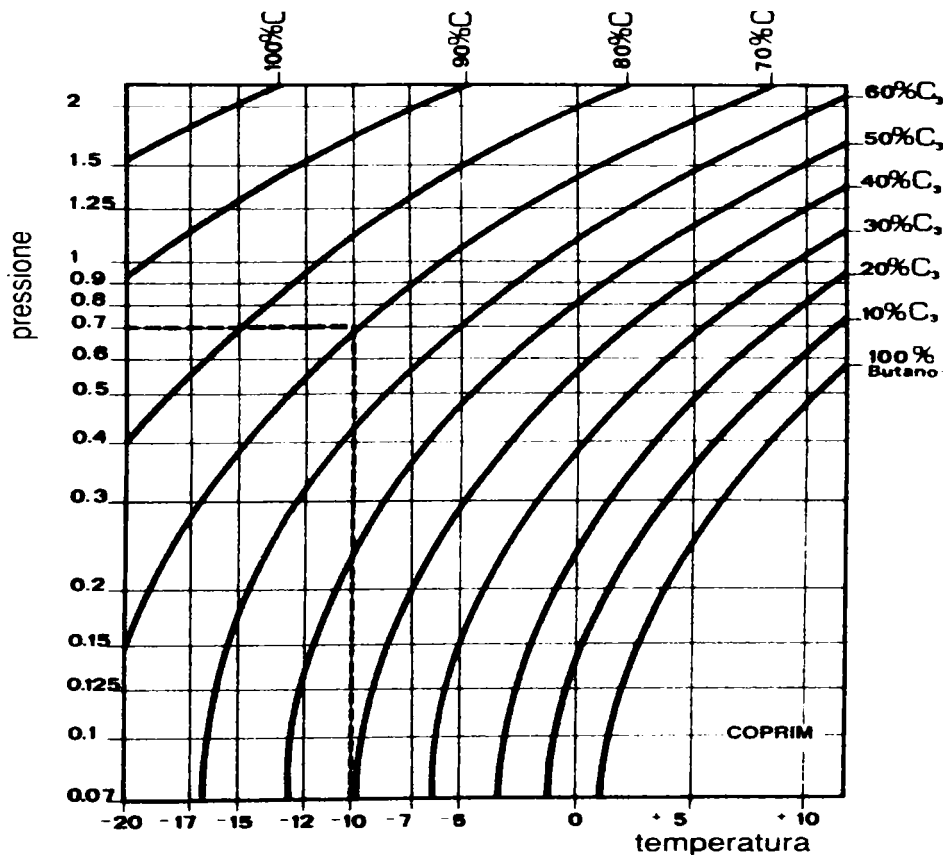


Fig.4.6. Punctul de "rouă" al GPL-ului.

Exemplificare pentru 70% propan și 30% butan, la -10 °C și 0.7 bar

În aceste condiții se recomandă următoarele:

- Conductele în amonte de reductoarele de presiune să fie montate cu o denivelare de 1°, astfel se forțează întoarcerea gazului în recipient.
- Conductele în aval de reductoarele de presiune să fie montate cu o denivelare de 1°.

Dacă se furnizează propan se creează mai greu condiții care să cauzeze o recondensare, dacă se furnizează amestec propan-butan, pericolul de recondensare e cu atât mai mare cu cât conținutul de butan din amestec este mai mare. Doar furnizarea butanului e cea care prezintă cele mai mari posibilități de condensare. Fenomenul recondensării GPL-ului poate fi evitat furnizând un gaz încălzit cu ajutorul vaporizatorilor și menținut astfel prin izolarea tubulaturilor. Încălzirea gazului se obține trecând GPL-ul într-un încălzitor unde aportul de căldură necesar e furnizat de apa caldă sau prin intermediul vaporizatoarelor de GPL.

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND VAPORIZAREA GPL

Pentru instalațiile de GPL fără vaporizatoare problema majoră o reprezintă vaporizarea GPL-ului în rezervoarele de stocare, cu absorbție de căldură din mediul ambiant. Prin consum continuu de gaz scade suprafața de transfer termic spălată de lichid, scad temperatura și presiunea din rezervor și se poate ajunge în situația în care nu se mai furnizează gaz.

Dacă se analizează compoziția chimică a GPL-ului utilizat pentru testări, în cadrul cercetărilor experimentale (Cap.6) se constată că atât la propanul comercial cât și la butanul comercial hidrocarburile C₃ și C₄ au procentajul cel mai mare (tabelul 5.1 și 5.2), procentul celorlalte hidrocarburi fiind infime, deci aceste amestecuri se pot considera, practic, ca și amestecuri binare. Pentru alte cazuri, când se dorește o exactitate mai mare, se poate considera ca un amestec ternar sau multicomponent.

a) propan comercial

Tabelul 5.1

Nr. crt.	Compoziția chimică	UM (fracție masică) μ_i	Valori determinate μ_i %
1	Propan	%	96.156
2	Izo -Butan,	%	2.486
3	N-butan	%	0.351
4	Propilenă	%	0.314
5	Butene 1	%	0,013
6	Butene 2	%	0,056
7	Izo-butilenă	%	0,023
8	Etan	%	0,391

b) butan comercial

Tabelul 5. 2.

Nr. Crt.	Compoziția chimică	UM (fracție masică) μ_i	Valori determinate $\mu_i\%$
1	Hidrocarburi C3 (sat. + nesat)		4.24
2	Hidrocarburi C4 (sat. + nesat)		95.73
3	Hidrocarburi C5 (sat. + nesat)l		0.03

5.1. RELAȚII DE ECHILIBRU LICHID-VAPORI GPL PENTRU AMESTECURI BINARE

Amestecul propan butan este considerat ca o soluție ideală [64] cu sistemul izoterm (prin amestecarea componenților, acestea nu-și schimbă starea moleculară, nu se produce nici un efect termic și nu are loc nici o schimbare de volum) deci se poate aplica legea lui Raoult.

5.1.1. Diagrama fazelor la temperatura constantă

Pentru sistemele bifazice compuse din două lichide miscibile se definește ecuația fazelor sub forma $F(p_{am}, T, x)=0$ [65]; funcție care prezintă cantitativ comportarea amestecurilor binare. Diagrama redă variația presiunii de vapori (parțiale și totale) a amestecului binar în funcție de compoziția acestuia la temperatură constantă.

Ecuția fazelor, pentru amestecul propan-butan, are în acest caz ca expresie chiar legea lui Raoult, pentru că :

$$p_1 = P_1 x_1 ; \quad p_2 = P_2 x_2 = P_2(1 - x_1)$$

$$p_1 + p_2 = p_{am} = P_1 x_1 + P_2(1 - x_1) = x_1(P_1 - P_2) + P_2 ,$$

Ecuția fazelor este:

$$p_{am} - x_1(P_1 - P_2) + P_2 = 0 \quad (5.1)$$

unde: P_i - presiunea de vapori pentru propan și butan, constante, sistemul fiind izoterm.

În tabelul 5.3 s-au trecut valorile P_i [73] pentru propan și butan.

Tabelul 5.3

Nr crt	T [C]	P ₁ [bar] propan	P ₂ [bar] <i>i</i> -butan	P ₃ [bar] <i>n</i> -butan	Volatilitatea relativă $\alpha_1=P_1/P_2$	Volatilitatea relativă $\alpha_2=P_1/P_3$
1	-25	2.017	0.605	0.401	3.333884	5.029925
2	-20	2.423	0.755	0.505	3.209272	4.79802
3	-15	2.889	0.92	0.627	3.140217	4.607656
4	-10	3.405	1.12	0.75	3.040179	4.540000
5	-5	4.015	1.33	0.93	3.018797	4.317204
6	0	4.684	1.62	1.09	2.891358	4.297248
7	5	5.454	1.91	1.31	2.855497	4.163359
8	10	6.339	2.21	1.52	2.868326	4.170395
9	15	7.298	2.63	1.784	2.774905	4.090807
10	20	8.334	3.05	2.05	2.732459	4.065366
11	25	9.489	3.57	2.43	2.657983	3.904938
12	30	10.807	4.1	2.82	2.635854	3.83227

În figura 5.1. s-au trasat variațiile presiunilor de vapori funcție de temperatură

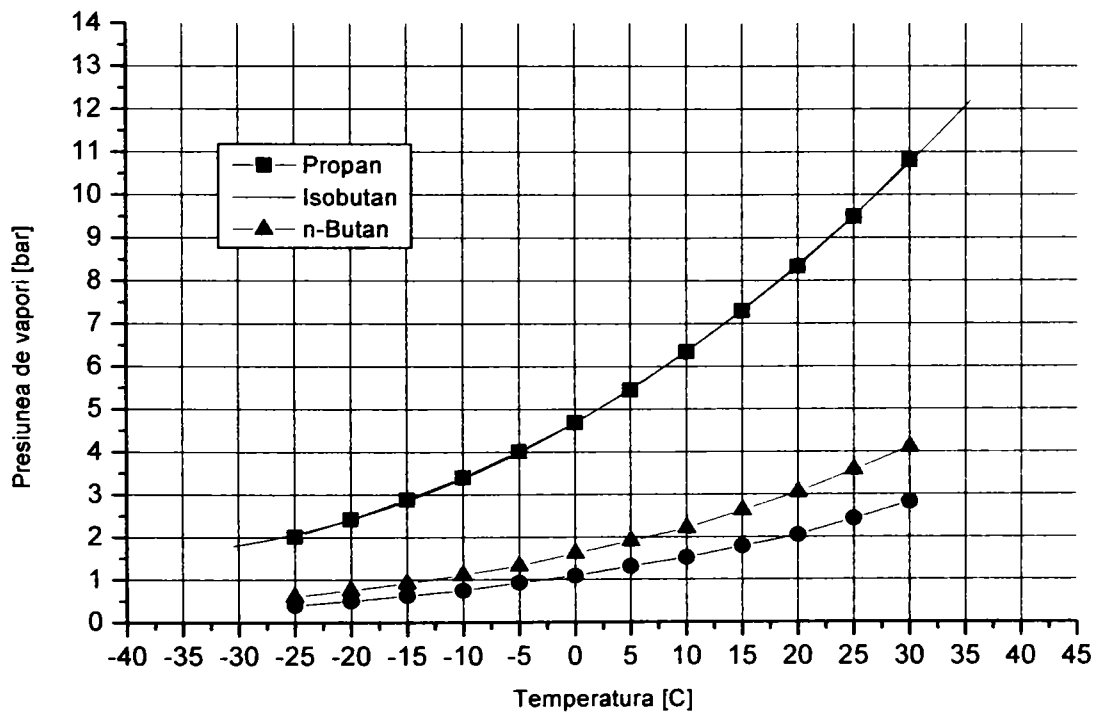


Fig.5.1. Variațiile presiunilor de vapori funcție de temperatură

Reprezentarea grafică a sistemului p - x , pentru amestecul binar de propan-izobutan, la temperaturi constante (la $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), este dată în figura 5.2. Pe ordonată se introduce presiunea de vapori, iar pe abscisă concentrația: de la stânga la dreapta, fracția molară x crescândă a propanului de la 0 la 1, iar de la dreapta la stânga fracția molară $(1-x)$ a izobutanului. Dreapta AB (respectiv AC) reprezintă presiunea parțială a propanului (p_1), iar dreapta DE (respectiv DF), presiunea parțială a izobutanului (p_2). Dreapta EB reprezintă suma presiunilor parțiale, (totală) p_{am} , pentru orice concentrație a celor doi componenți la temperatura de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, iar dreapta FC reprezintă suma presiunilor parțiale, pentru orice concentrație a celor doi componenți la temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punctele E, B, F, C corespund presiunilor de vapori ai componenților puri.

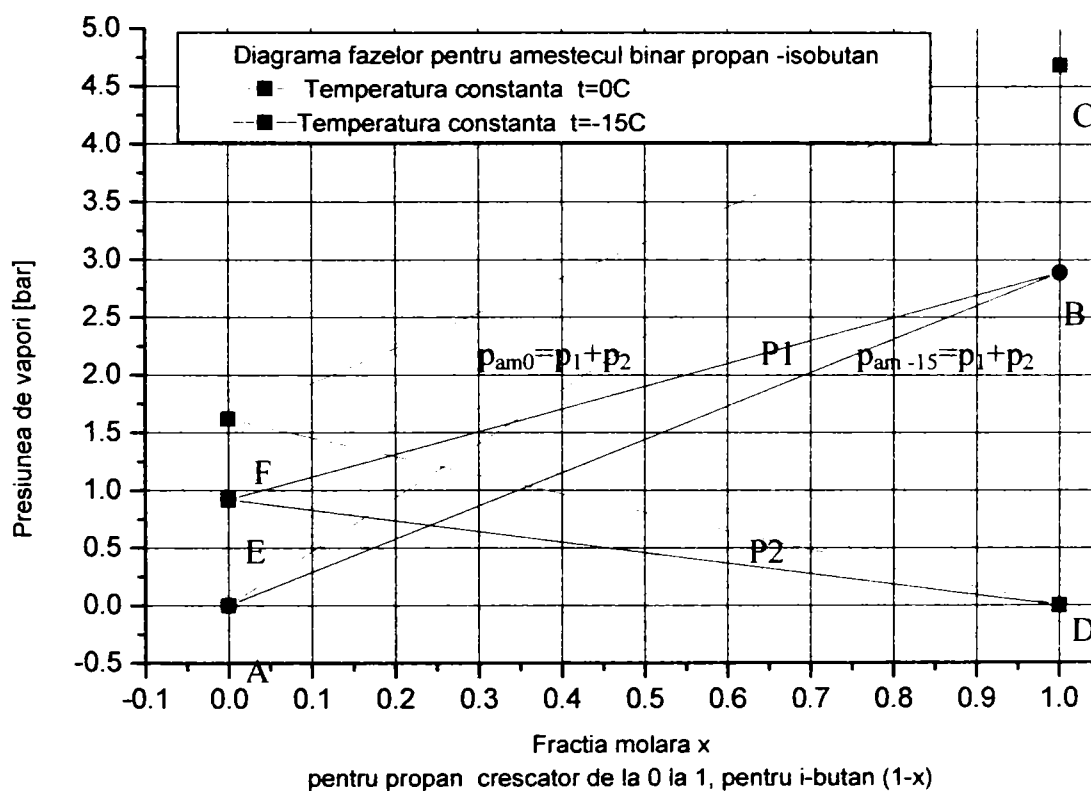


Fig.5.2 Diagrama p - x , pentru amestecul binar de propan-izobutan

5.1.2. Curba de echilibru la presiune constantă

Curba de echilibru redă relația dintre compoziția molară a lichidului și a vaporilor în echilibru cu acesta la presiune constantă. Dacă într-un sistem de coordonate temperatură-concentrație se introduce pentru amestecul de propan-butan (amestec binar de GPL), la diverse concentrații punctul de fierbere a amestecului pentru presiunea de referință $p=1.013$ bar, se obține o curbă (teoretică) a punctelor de fierbere de forma ACB din figura 5.3. Punctul A, la temperatura de -2 °C, corespunde butanului pur iar punctul B, la temperatura de -42 °C, corespunde propanului în stare pură. Orice punct de pe curba ACB corespunde unui amestec al celor doi componenți într-o proporție anumită. În același sistem de coordonate s-a introdus și compoziția vaporilor, corespunzătoare lichidului cu care sunt în echilibru (la punctul de fierbere) și s-a obținut curba punctelor de condensare ADB, pentru acest amestec de GPL. Se observă că dacă lichidul conține propan cu compoziția x_1 (punctul B), va fierbe la temperatura t_0 , pe când la această temperatură compoziția vaporilor deasupra lichidului din rezervorul de GPL, în echilibru, este y_1 (punctul D), mai mare; vaporii fiind mai bogați în propan decât amestecul lichid de propan-butan.

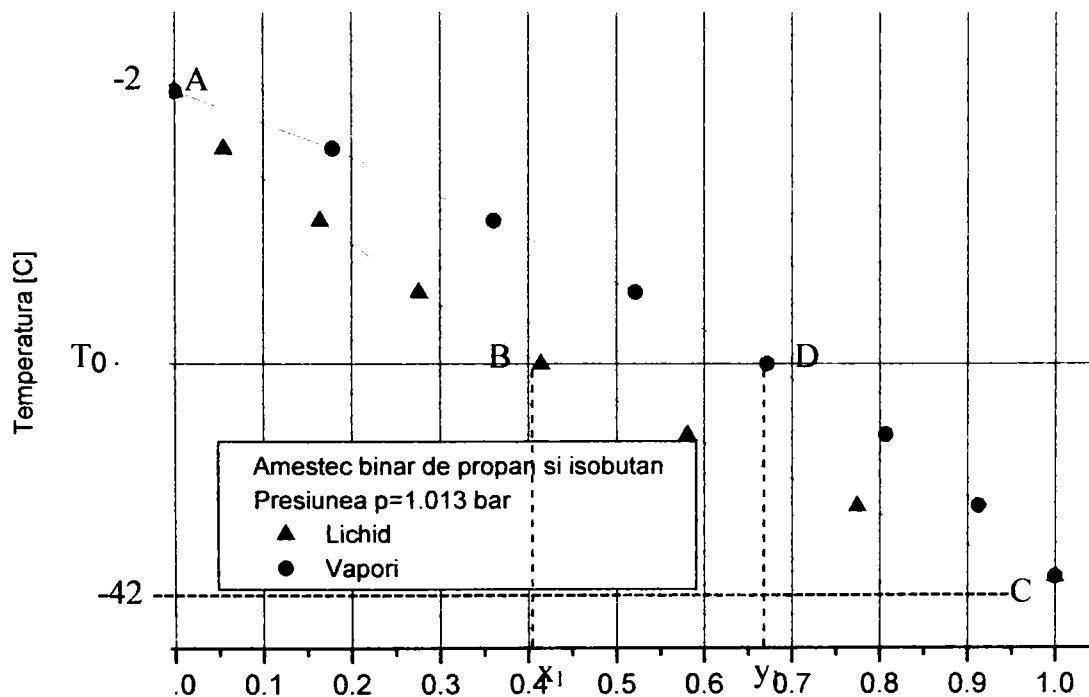


Fig. 5.3. Curba de echilibru propan-izobutan la presiunea de 1,013 bar

Pentru amestecul de GPL, binar, faza lichidă urmează legea lui Raoult, iar faza gazoasă legea lui Dalton, relațiile de echilibru se deduc considerând un sistem izobar cu două componente în echilibru la presiunea dată p_{am} pentru care :

$$p_{am} = P_1 x_1 + P_2 - P_2 x_1 ;$$

$$x_1 = \frac{p_{am} - P_2}{P_1 - P_2} ,$$

Din relația de echilibru :

$$y_1 = \frac{P_1}{p_{am}} x_1 \quad \text{și} \quad y_2 = \frac{P_2}{p_{am}} x_2$$

rezultă în final

$$y_1 = \frac{P_1}{p_{am}} \cdot \frac{p_{am} - P_2}{P_1 - P_2} \quad \text{și} \quad y_2 = \frac{P_2}{p_{am}} \cdot \frac{p_{am} - P_1}{P_2 - P_1} ; \quad (5.2)$$

P_1 și P_2 fiind funcții numai de temperatură, rezultă curba de echilibru pentru componentele considerate, înlocuind în relațiile de mai sus valorile acestor presiuni din diagramele de presiuni de vapori, pentru diverse temperaturi.

În figura 5.4.s-a trasat curba (reală) de echilibru pentru amestecul binar de propan-izobutan la o presiune frecventă de lucru a sistemelor autonome de GPL, $p=2.889\text{bar}$, corespunzătoare unei temperaturi exterioare de -15°C , utilizând formulele de calcul de mai sus.

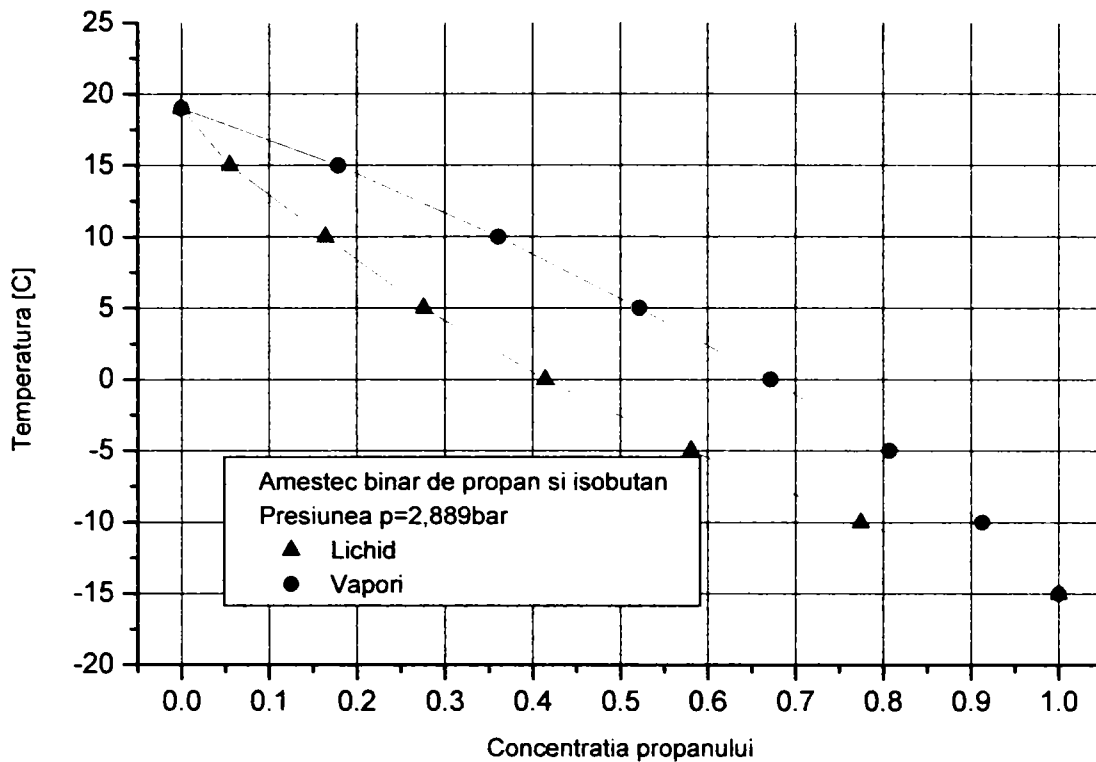


Fig.5.4. Curba de echilibru propan-izobutan la presiunea de 2.889 bar

Tendința de ieșire din lichid a propanului este mai mare, deci vaporii formați vor fi mai bogați în propan decât lichidul de GPL, care va fi mai bogat în isobutan.

Expresia matematică $y_1 = f(x_1)$ conduce la:

$$y_1 = \frac{P_1 x_1}{P_2 + (P_1 - P_2) x_1} \quad (5.3)$$

și dacă se notează $\frac{P_1}{P_2} = \alpha$, volatilitatea relativă, se obține:

$$y_1 = \frac{\alpha x_1}{1 + (\alpha - 1) x_1} \quad (5.4)$$

Volatilitatea relativă α variază puțin cu temperatura (așa cum rezultă și din tabela Nr.5.3), deci se poate calcula pentru o valoare medie de temperatură a sistemului.

În figura Nr.5.5 s-a trasat relația de echilibru y-x pentru amestecul binar de propan-izobutan, în condiții critice de lucru, la presiunea $p=2.889$ bar, considerând pentru intervalul de temperaturi $0\dots-15$ °C, o valoare medie pentru volatilitatea relativă $\alpha=3,022$.

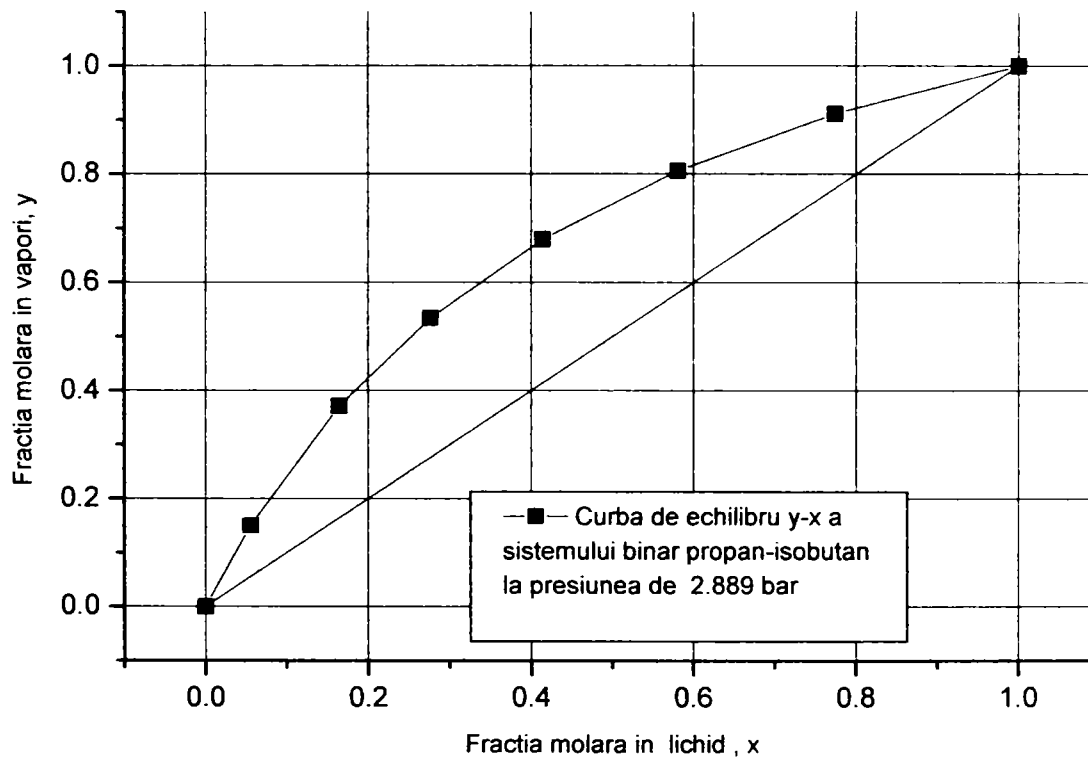


Fig.5.5. Curba y-x pentru amestecul de propan-izobutan la presiunea $p=2.889$ bar.

5.1.3. Constanta de echilibru

Se definește constanta de echilibru al unui component raportul $K = \frac{y}{x}$. Pentru GPL fiind

valabile legii lui Dalton și Raoult, acest raport este $K = \frac{y}{x} = \frac{P}{P_{am}}$.

De asemenea, rezultă relația:

$$1 = y_1 + y_2 + y_3 + \dots = K_1 x_1 + K_2 x_2 + K_3 x_3 + \dots \quad (5.5)$$

În cazul presiunilor mici (sub 4-4.5 bar) aceste relații pot fi considerate exacte.

Punctul de fierbere este definit de temperatura și presiunea la care începe vaporizarea din masa lichidului, adică acele condiții de temperatură și presiune la care își fac apariția primele globule de vapori. Cantitatea acestor vapori fiind foarte mică, compoziția lichidului de GPL din care se nasc poate fi considerată aceeași ca înainte de a fi avut loc fenomenul. După legea echilibrului, $y = Kx$ pentru fiecare component în parte, rezultă că la punctul de fierbere $\sum Kx = 1$, respectiv $K_1x_1 + K_2x_2 + \dots = 1$. În această ecuație x_1, x_2, x_3 reprezintă fracțiile molare ale lichidului inițial, iar K_1, K_2, K_3 reprezintă constantele de echilibru pentru condițiile de temperatură și de presiune la punctul de fierbere. Deci punctul de fierbere al unui lichid poate fi determinat atunci când se cunosc fie compoziția și temperatura, fie compoziția și presiunea cu condiția ca $\sum Kx = 1$.

Utilizând metoda de calcul, a ipotezelor succesive, (la o anumită temperatură se citesc, din curbele constantelor de echilibru, valoarea lui K pentru câteva presiuni ipotetice) presiunea pentru care $\sum K = 1$ este presiunea căutată, sau la presiunea dată se citesc pe diagramă valorile lui K la câteva temperaturi ipotetice, temperatura căutată fiind aceea pentru care $\sum Kx = 1$.

În anexele A.1...A.3 s-au trasat constantele de echilibru K pentru propan, n- butan și izobutan.

5.2. VAPORIZAREA GAZULUI PETROLIER LICHEFIAT

5.2.1. Procesul și ecuațiile de vaporizare

Rezervoarele de stocare GPL, fără vaporizator, se găsesc în mediul ambiant, la temperaturi variind de la -15°C la $+40^{\circ}\text{C}$.

La o anumită temperatură a lichidului t_l în faza statică (fără distribuție de gaz) în interiorul unui recipient (fig.5.6.) este o stare de echilibru între masa lichidă inferioară și cea gazoasă superioară, $t_g = t_l$.

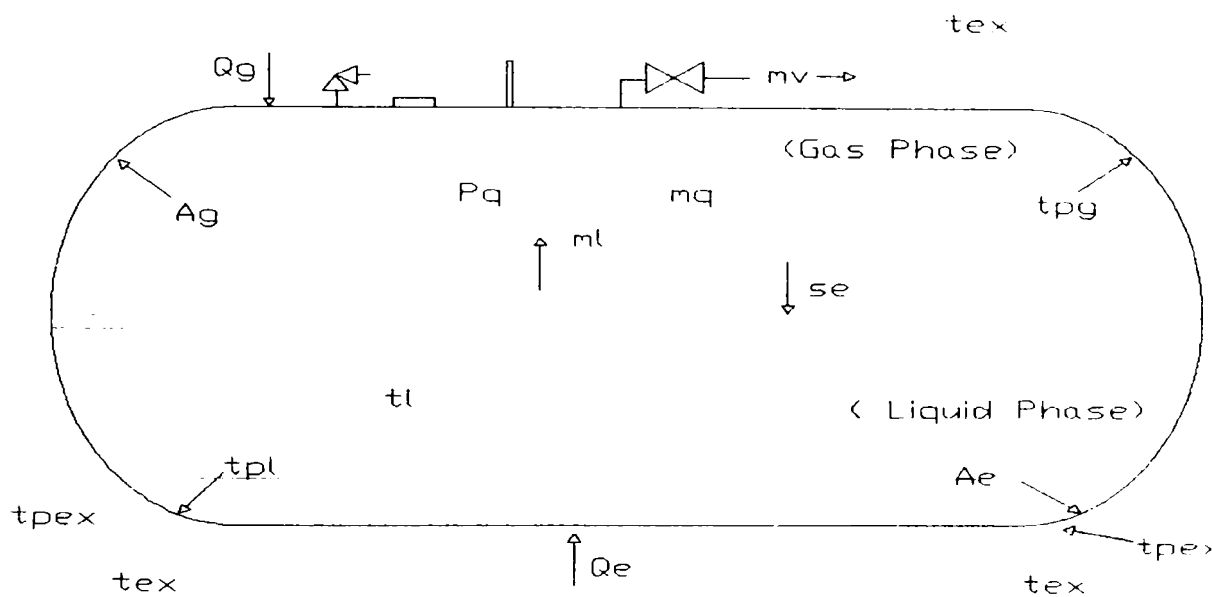


Fig.5.6. Schimbul de căldură și masă într-un rezervor de GPL

Deschiderea robinetului pentru utilizarea gazului modifică starea de echilibru, pentru că se scoate debitul m_v [kg/s] de GPL în fază gazoasă; cantitate care este completată imediat de m_l [kg/s] o cantitate identică ($m_v = m_l$) de produs lichid care se vaporizează concomitent cu absorbția de energie termică ceea ce duce la răcirea masei lichide. Vaporizarea GPL-ului se manifestă cu absorbție de căldură furnizată inițial de masa lichidă și ulterior transmisă de mediul ambiant, prin pereții metalici, cu suprafața A_L .

În aceste cazuri mecanismul de formare a vaporilor și vaporizarea, se poate asimila cu vaporizarea într-un cazan a unei cantități de material, la o anumită temperatură.

Materialul începe să fiarbă; fluxul de vapori este îndepărtat continuu din cazan [65]; chiar de la începutul formării vaporilor aceștia sunt mai bogați în componenți ușori (propan) decât materialul inițial. iar lichidul de GPL din rezervor (lichidul rezidual) este mai bogat în componenți grei (butan) decât gazul. În timpul utilizării vaporilor de GPL, atât vaporii cât și lichidul se schimbă calitativ, vaporii devenind din ce în ce mai bogați în componenți ușori și lichidul mai bogat în componenți grei. Un asemenea proces de vaporizare, în care compoziția vaporilor și a lichidului rezidual se schimbă, este cunoscut în literatura de specialitate [64,65], sub numele de vaporizare discontinuă sau diferențială.

Pentru sistemul binar de GPL, relațiile dintre parametrii care determină vaporizarea (concentrația componentilor ușori în vapori formați și lichidul rezidual) au fost stabilite de Rayleigh [65]. Să presupunem că rezervorul de GPL (fig5.6), care conținea la început m_0 mol, la un moment dat conține m mol lichid, având propan cu x concentrație în lichid și cu y concentrație în vapor. Cantitatea totală de propan în vas este mx . Notăm cu dm o cantitate infinitezimală de lichid care se vaporizează; concentrația de propan scade de la x la $x - dx$ și cantitatea de lichid din rezervor scade de la m la $m - dm$.

În lichidul din rezervor rămâne : $m(x - dx) - dm(x - dx)$ mol de propan iar în vaporii formați ydm .

Făcând bilanțul de materiale pentru propan, după cantitatea vaporizată dm , conduce la

$$(m - dm)(x - dx) = mx - ydm;$$

$$mx - mdx - xdm + dmdx = mx - ydm.$$

Neglijând diferențiala de ordinul doi, se obține:

$$\frac{dm}{m} = \frac{dx}{y - x}, \quad (5.6)$$

Scriind bilanțul termic la momentul " τ " pentru o variație de timp " $d\tau$ ", utilizând notațiile din figura 5.6, se obține ecuația:

$$m_l \cdot c_l \cdot \frac{dt_l}{d\tau} + \frac{dm_l}{d\tau} \Delta q_{vap} = k \cdot A_l \cdot (t_l - t_{ex}) \quad (5.7)$$

unde:

$\Delta q_{vap} = i'' - i'$ - căldura latentă de vaporizare,

k [W/m^2K]- coeficientul global de transfer termic, care în cazul nostru ($D/d < 0.1$) se poate determina cu relația simplificată a coeficientului global de transfer termic [70] pentru pereții plani .

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{li}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{le}}} \quad [W/(m^2K)] \quad (5.8)$$

unde α [W/m^2K] este format din coeficientul de transfer termic prin convecție α_c și radiație α_r

$$\alpha_{ii} = \alpha_{ic} + \alpha_{ir} \quad [W/(m^2K)] \quad (5.9)$$

Presiunea din rezervor este funcție de temperatură, (din diagrama tensiunilor) după formula:

$$p_l = 4.77595 + 0.14968 \cdot t_l + 0.00143 \cdot t_l^2 \quad (5.10)$$

Se obține sistemul de ecuații:

$$\frac{dm}{m} = \frac{dx}{y-x},$$

$$m_l \cdot c_l \cdot \frac{dt_l}{d\tau} + \frac{dm_l}{d\tau} q_{vap} = k \cdot A_l \cdot (t_l - t_{ex}) \quad (5.11)$$

$$p_l = 4.77595 + 0.14968 \cdot t_l + 0.00143 \cdot t_l^2$$

Prin rezolvarea sistemului (5.11) se obțin variațiile în timp a următorilor parametri:

- concentrația masică de propan în lichidul rezidual,
- temperatura lichidului din rezervor și
- presiunea totală a gazului din rezervor.

Definind o presiune minimă în rezervor se obține timpul continuu de funcționare și volumul de lichid (procentual) din rezervor, raportat la volumul rezervorului.

5.2.2. Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale

Prin integrarea ecuației (5.6) între limitele m_0 și m_1 , respectiv x_0 și x_1 adică între cantitatea inițială și cea finală, de GPL lichid, respectiv între concentrația inițială și cea finală a propanului în lichid, se obține:

$$\int_{m_1}^{m_0} \frac{dm}{m} = \int_{x_1}^{x_0} \frac{dx}{y-x}, \quad (5.12)$$

Relația matematică dintre compoziția fazei vapori și compoziția fazei lichide de propan este dată de ecuația:

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x},$$

în care volatilitatea relativă (α_{med}) poate fi considerată constantă în limite destul de largi de temperatură (așa cum rezultă din tabelul 5.2).

În acest caz se obține:

$$\ln \frac{m_0}{m_1} = \frac{\ln x_0 - \ln x_1 - \alpha [\ln(1-x_0) - \ln(1-x_1)]}{(\alpha - 1)} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[\ln \frac{x_0}{x_1} - \alpha \ln \frac{1-x_0}{1-x_1} \right]. \quad (5.13)$$

Această relație dă posibilitatea să se calculeze oricare dintre cei patru parametrii (m_0, m_1, x_0, x_1), dacă se cunosc trei dintre ei.

În cazul când vaporizarea GPL-ului se consideră că se face izoterm sau în limite foarte mici de temperatură, între compoziția fazei vapori și a fazei lichide este valabilă legea echilibrului, $y = Kx$ și în aceste condiții se obține:

$$\ln \frac{m_0}{m_1} = \int_{x_1}^{x_0} \frac{dx}{Kx - x} = \int_{x_1}^{x_0} \frac{dx}{x(K - x)} = \frac{1}{K - 1} \int_{x_1}^{x_0} \frac{dx}{x} = \frac{1}{K - 1} \left| \ln x \right|_{x_1}^{x_0} = \frac{1}{K - 1} \ln \frac{x_0}{x_1}. \quad (5.14)$$

Utilizarea ecuațiilor de mai sus dă posibilitatea calculării fie a cantității de lichid rezidual, când concentrația în propan a scăzut la o anumită valoare, fie concentrația lichidului rezidual de GPL la anumite intervale de timp, când cantitatea acestuia a scăzut la o anumită valoare și astfel se recalculează proprietățile termofizice ale amestecului lichid.

Dacă relația dintre y și x este exprimată în unități molare și fracția m_0/m_1 va fi exprimată în unități molare iar dacă relația $y - x$ este exprimată în unități de masă, și fracția m_0/m_1 va fi exprimată în aceste unități. Cum în cazul GPL participările componentelor sunt date în unitățile de masă, se va exprima relația $y - x$ în unități de masă.

În figura 5.7. s-a trasat variația procentului din masa de lichid rezidual existent în rezervorul de GPL funcție de fracția masei de propan pentru intervalul 0,9-0,97.

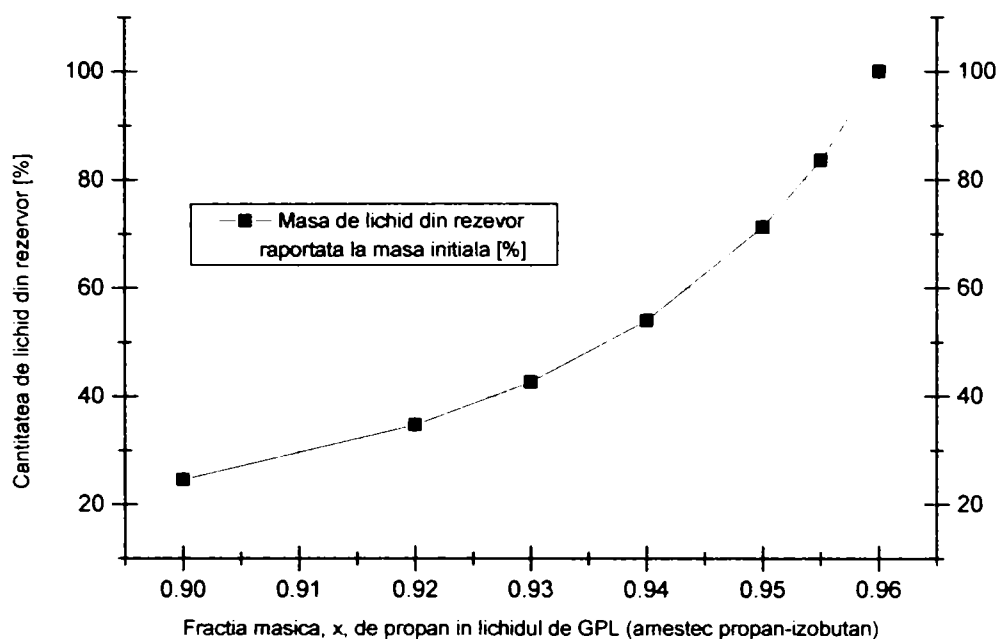


Fig.5.7. Variația cantității de lichid rezidual din rezervorul de GPL

Pentru a rezolva ecuația (5.7) s-au făcut următoarele adaptări:

-ecuația integrată a bilanțului de material pentru propan (5.13) se exprimă, utilizând diagrama din figura 5.7, sub forma unui polinom de gradul patru, cu $x_0=0.96$ și $0.82 < x_1 < 0.96$, se obține :

$$x_1 = 0.80013 + 0.61724 \frac{m_{l.}}{m_{ol.}} - 1.0644 \left(\frac{m_{l.}}{m_{ol.}} \right)^2 + 0.9017 \left(\frac{m_{l.}}{m_{ol.}} \right)^3 - 0.2948 \left(\frac{m_{l.}}{m_{ol.}} \right)^4 \quad (5.15)$$

Prin integrarea ecuației (5.7) între limitele τ și $\tau + \Delta\tau$, se obține :

$$\int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} m_l \cdot c_l \cdot \frac{\partial t_l}{\partial \tau} d\tau + \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} m q_{vap} d\tau = \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} k \cdot A_l \cdot (t_{ex} - t_l) d\tau \quad (5.16)$$

Ecuația (5.16) s-a discretizat pe domeniul reprezentat în fig. 5.8 cu metoda volumului finit, rezolvarea ecuației de mai sus, conform [100] conduce la:

$$m_l^o \cdot c_l \cdot (t_l - t_l^o) + m \cdot q_{vap} \cdot \Delta\tau = \left[f \cdot k \cdot A_l \cdot (t_{ex} - t_l) + (1-f) \cdot k \cdot A_l \cdot (t_{ex} - t_l^o) \right] \cdot \Delta\tau$$

unde f are următoarele valori:

- $f = 0$ pentru model explicit
- $f = 0.5$ pentru modelul Crank - Nicolson
- $f = 1$ pentru model implicit

Pentru cazul nostru, când temperatura din rezervor la momentul $\tau + \Delta\tau$ depinde de temperatura din momentul τ , modelul este explicit [100] deci $f = 0$ relația de mai sus devine:

$$m_l^o \cdot c_l \cdot (t_l - t_l^o) + m \cdot q_{vap} \cdot \Delta\tau = k \cdot A_l \cdot (t_{ex} - t_l^o) \cdot \Delta\tau \quad (5.17)$$

de unde rezulta temperatura lichidului GPL:

$$t_l = t_l^o - \frac{\Delta\tau \cdot q_{ev}}{m_l^o \cdot c_l} \cdot m + \frac{k \cdot A_l \cdot \Delta\tau}{m_l^o \cdot c_l} (t_{ex} - t_l^o) \quad (5.18)$$

unde cu 'o' sunt definite valorile temperaturii și a cantității de lichid la un timp anterior.

În prima fază se va considera temperatura exterioară constantă; ea se poate considera și variabilă în timp (această situație se va lua în considerare după ce se fac cercetările experimentale când se cunoaște variația reală a temperaturii în timp).

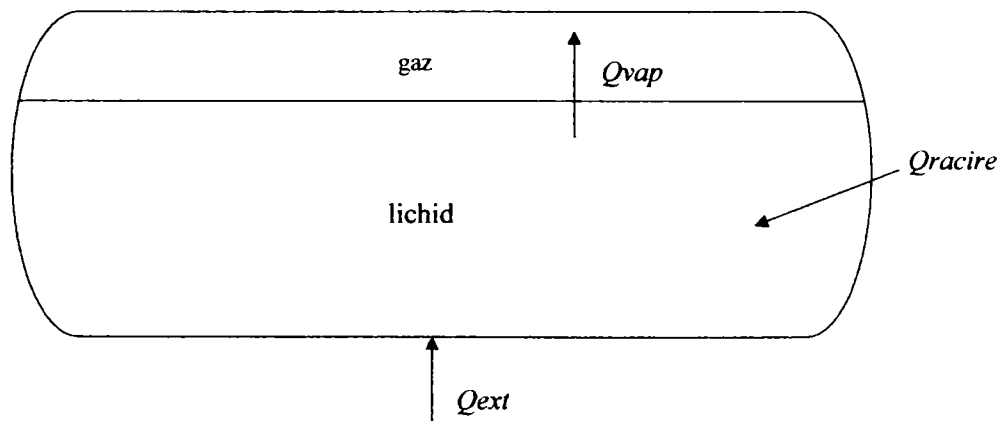


Figura 5.8 Schimbul energetic al rezervorului GPL

Se definește o lungime echivalentă a rezervorului l_{ech} (fig.5.9) pentru care volumul rezervorului real este egal cu cel al rezervorului echivalent având forma unui cilindru cu același diametru :

$$l_{ech} = \frac{V_{rez}}{r^2 \cdot \pi} \quad [\text{m}] \quad (5.19)$$

Cantitatea procentuală a lichidului din rezervor, raportată la volumul total, rezultă din relația:

$$u_l = \frac{V_l}{V_{tot}} \quad [\%] \quad (5.20)$$

iar cantitatea de gaz [%] rezultă din relația :

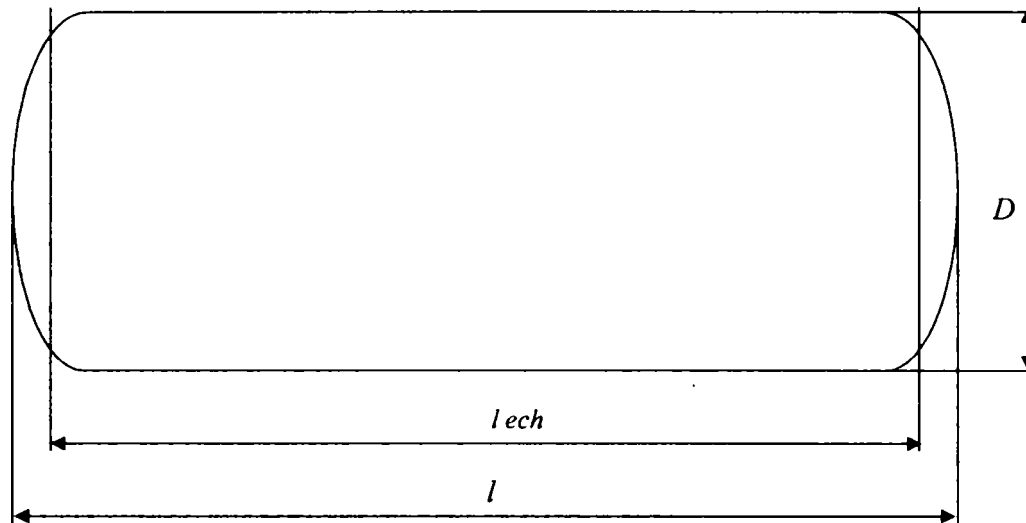


Fig.5.9. Lungimea echivalentă a rezervorului

$$u_g = \frac{V_g}{V_{tot}} = 100 - u_l \quad [\%] \quad (5.21)$$

Cu notațiile din figura 5.10, relația (5.21) devine:

$$u_g = \frac{r^2 \cdot (\theta - \sin \theta) \cdot l_{ech}}{2 \cdot r^2 \pi \cdot l_{ech}} \quad (5.22)$$

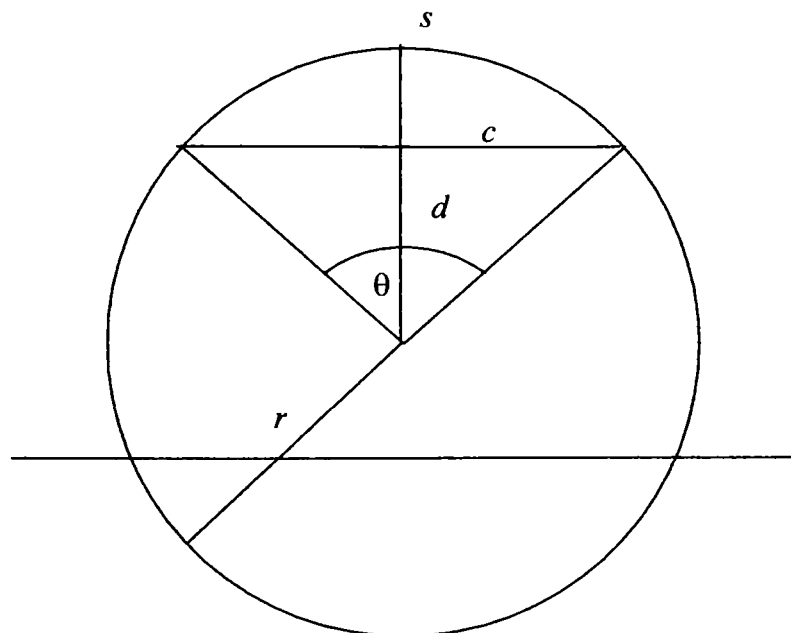


Fig.5.10 Geometria rezervorului

Pentru o cantitate de lichid și pentru un anumit rezervor, se poate determina unghiul θ :

$$\theta - \sin \theta = 2 \cdot u_g \cdot \pi \quad (5.23)$$

Apoi se determină parametrii :

$$d = r \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

$$s = r \cdot \theta \quad (5.24)$$

$$c = \sqrt{r^2 - d^2}$$

Suprafața de schimb de căldură între aerul ambiant și gazul lichefiat este:

$$A_l = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot (l_{ech} + r) - [r^2(\theta - \sin \theta) + s \cdot l_{ech}] \quad (5.25)$$

Pentru un interval de timp $\Delta\tau$ suficient de mic, micșorarea volumului și a nivelului de lichid din rezervor se pot aproxima cu un paralelipiped cu grosimea Δd (fig. 5.11.)

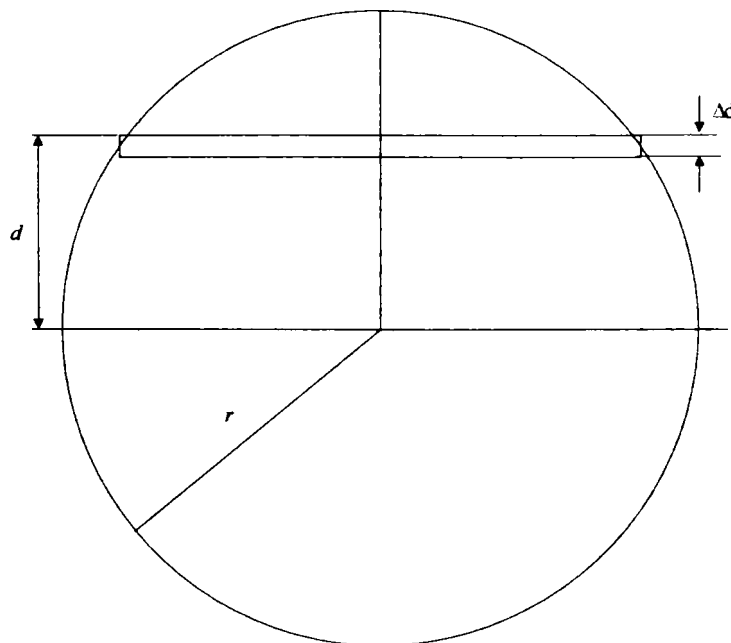


Fig. 7.11. Micșorarea volumului de GPL

Cu aceste notații s-a întocmit programul de calcul denumit în cadrul lucrării VAPGPL și prezentat în anexa A .6

Mărimile de intrare pentru programul VAPGPL sunt:

- dimensiunile rezervorului de stocare GPL;
- compoziția masică inițială a lichidului (amestec binar de propan și butan); compoziție definită prin fracția masică x_1 de propan ($1-x$ butan);
- proprietățile termo-fizice ale componentelor;
- temperatura mediului ambiant T_{ex} ;
- temperatura lichidului din rezervor la momentul $\tau=0$, începerii vaporizării;
- volumul, procentual, din rezervor ocupat de lichid;
- debitul de gaz vaporizat (debit dorit);
- pasul de timp $\Delta\tau$.

Dacă admitem că Δp_t este căderea de presiune pe un circuit de alimentare (care poate să ajungă până la 0,06bar) și Δp_a este suprapresiunea de alimentare a consumatorului, care în general este de 37 mbar, în rezervor este necesară o suprapresiune Δp :

$$\Delta p = \Delta p_t + \Delta p_a$$

S-a impus ca limită inferioară a presiunii totale din rezervor presiunea de 1,1bar, (deci $\Delta p = 0.1$ bar) presupunând că sub această valoare nu se poate realiza vehicularea gazului și nu se poate asigura suprapresiunea de alimentare Δp_a . La atingerea acestei valori se consideră că rezervorul nu mai furnizează gaz, **rezervorul se comportă ca și un rezervor gol**, este necesar un timp oarecare de încălzire a lichidului. Timpul corespunzător atingerii valorii limite a presiunii s-a numit **timp de golire**, fără a se înțelege că rezervorul este gol

Mărimile de ieșire, funcție de timp, sunt:

- temperatura lichidului din rezervor,
- presiunea totală a gazului din rezervor,
- volumul de lichid (procentual) din rezervor, raportat la volumul rezervorului,
- concentrația masică de propan în lichidul rezidual,
- timpul de golire, definit mai sus.

Rulând programul obținut, pentru rezervorul de 1750 litri, ce conține amestec binar de GPL, cu încărcarea de 80% lichid cu fracția masică, inițială., de propan de 96% s-au obținut mărimile cu care s-au construit diagramele 5.12...5.15.

În figura 5.12 s-a trasat variația în timp a volumului de lichid rezidual (procentual) din rezervor, până la atingerea presiunii de 1.1bar, la diferite debite de gaz vaporizat.

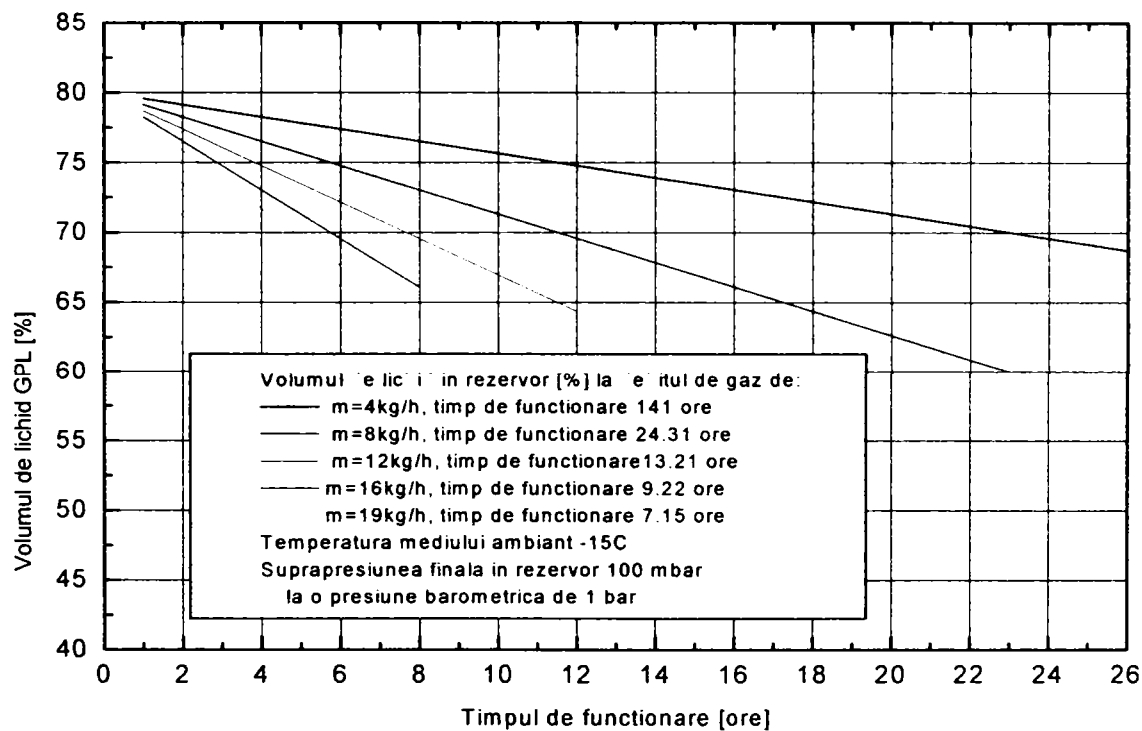


Fig.5.12 Variația în timp a volumului de lichid rezidual în rezervorul de 1750 l

Dacă temperatura exterioară rămâne constantă la -15°C , timpul de funcționare scade cu creșterea debitului de gaz. Pentru rezervorul de 1750 litri debitul de 4 kgh este debitul care asigură o funcționare continuă de peste 140 ore.

În figura 5.13 s-a trasat variația în timp a presiunii gazului iar în figura 5.14 variația temperaturii lichidului rezidual din rezervor, până la atingerea presiunii de 1.1bar, la diferite debite de gaz vaporizat. Variația în timp a volumului de lichid și a concentrației de propan în rezervorul de 1750 litri este trecut în figura 5.15.

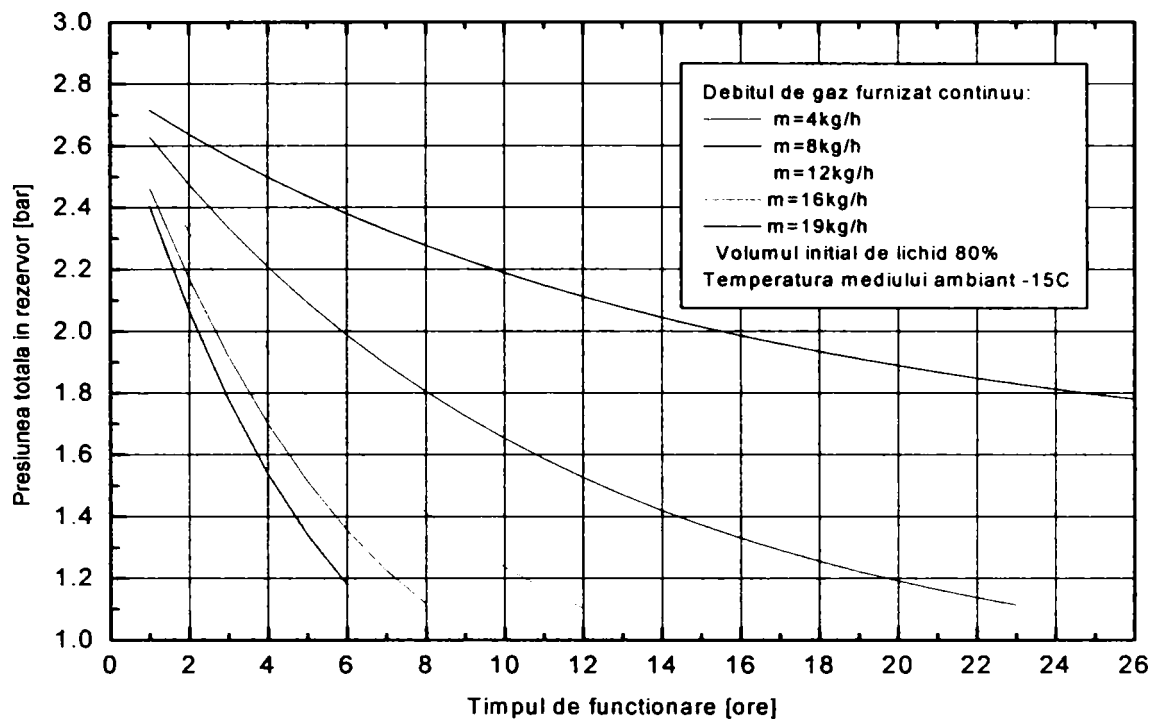


Fig.5.13 Variația în timp a presiunii gazului în rezervorul de 1750 l

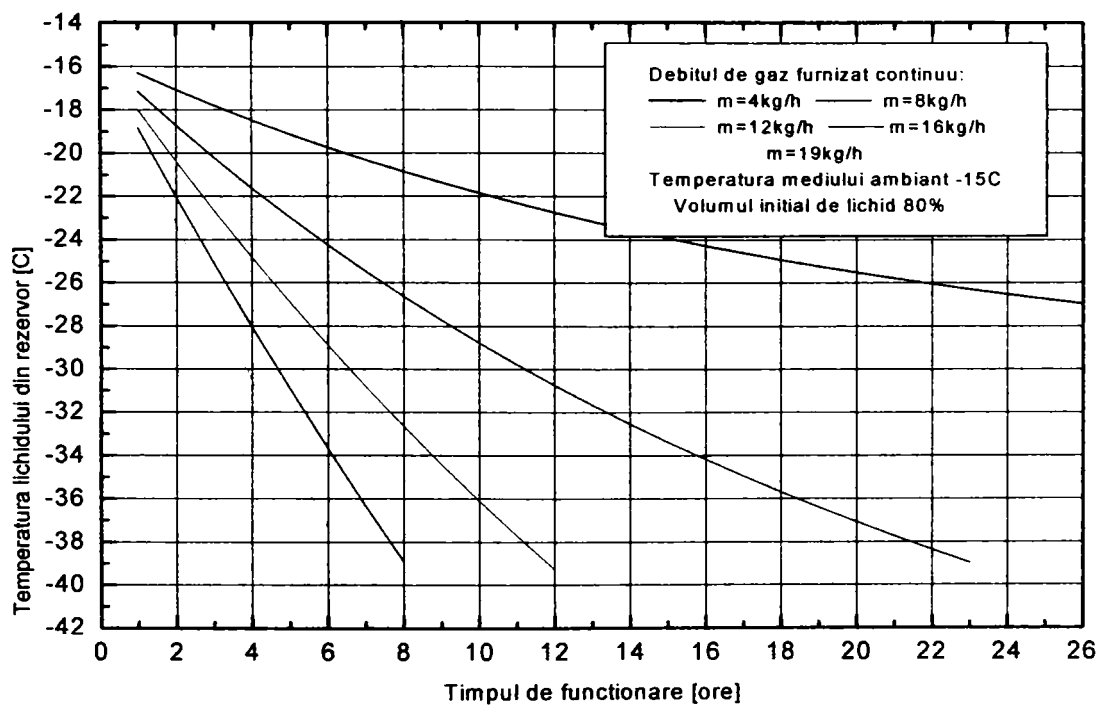


Fig.5.14 Variația în timp a temperaturii lichidului din rezervorul de 1750 l

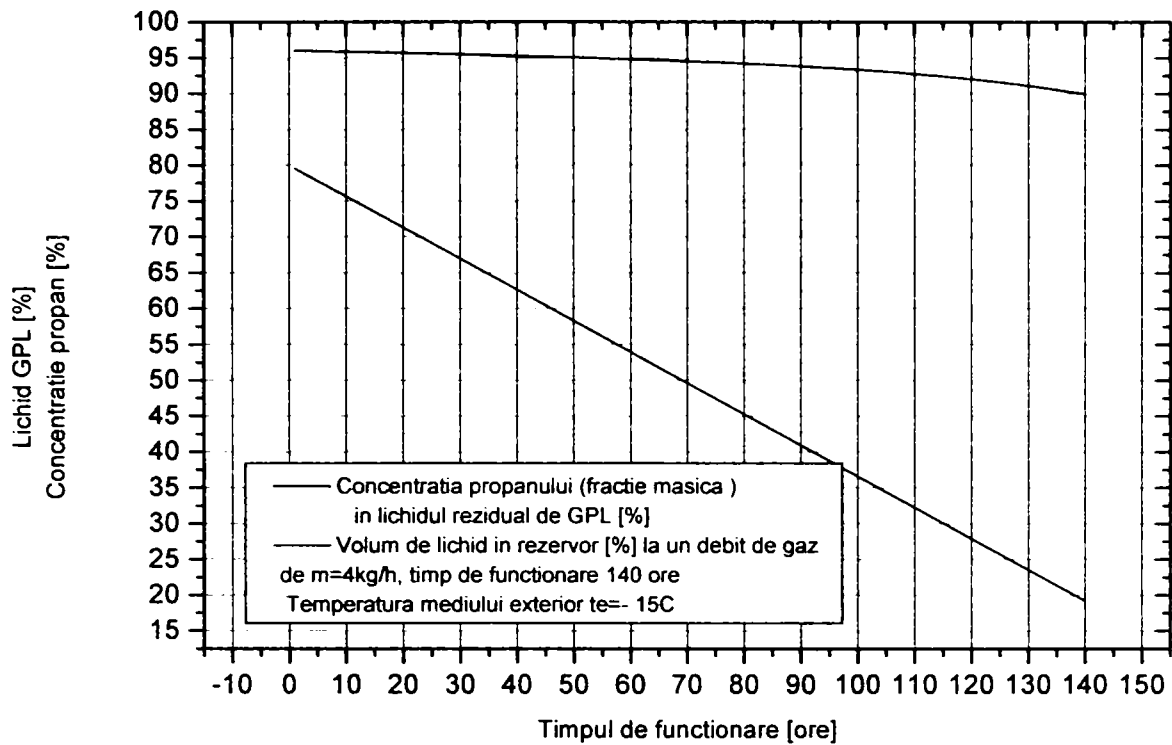


Fig.5.15 Variația în timp a volumului de lichid și a concentrației de propan în rezervorul de 1750 l

Pentru că încercările experimentale s-au efectuat pe rezervorul de 1750 litri, ce conține amestec binar de GPL, cu încărcarea de 55% lichid cu fracția masică, inițială de propan de 94,88%, la temperatura exterioară, inițială de $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, s-a rulat programul pentru aceste condiții și s-au trasat diagramele 5.16...5.18.

În Anea A7 s-au trecut (în tabele) mărimile calculate.

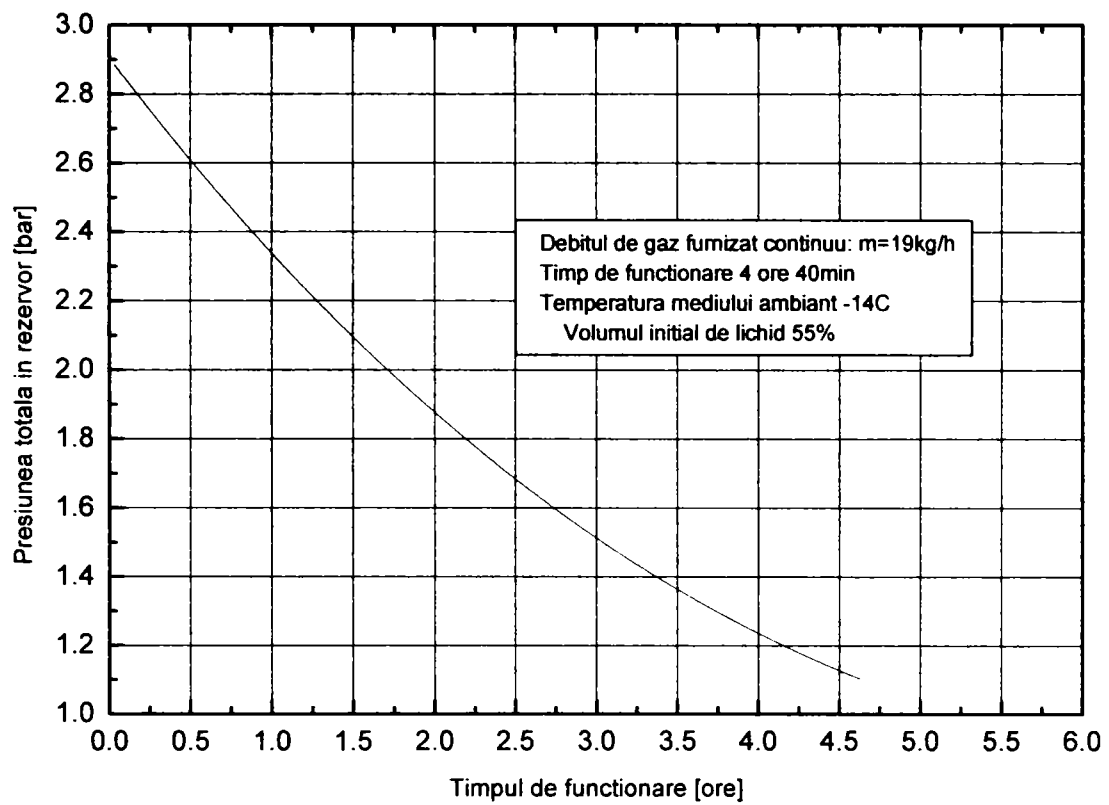


Fig.5.16 Presiunea gazului în rezervorul încărcat inițial 55%

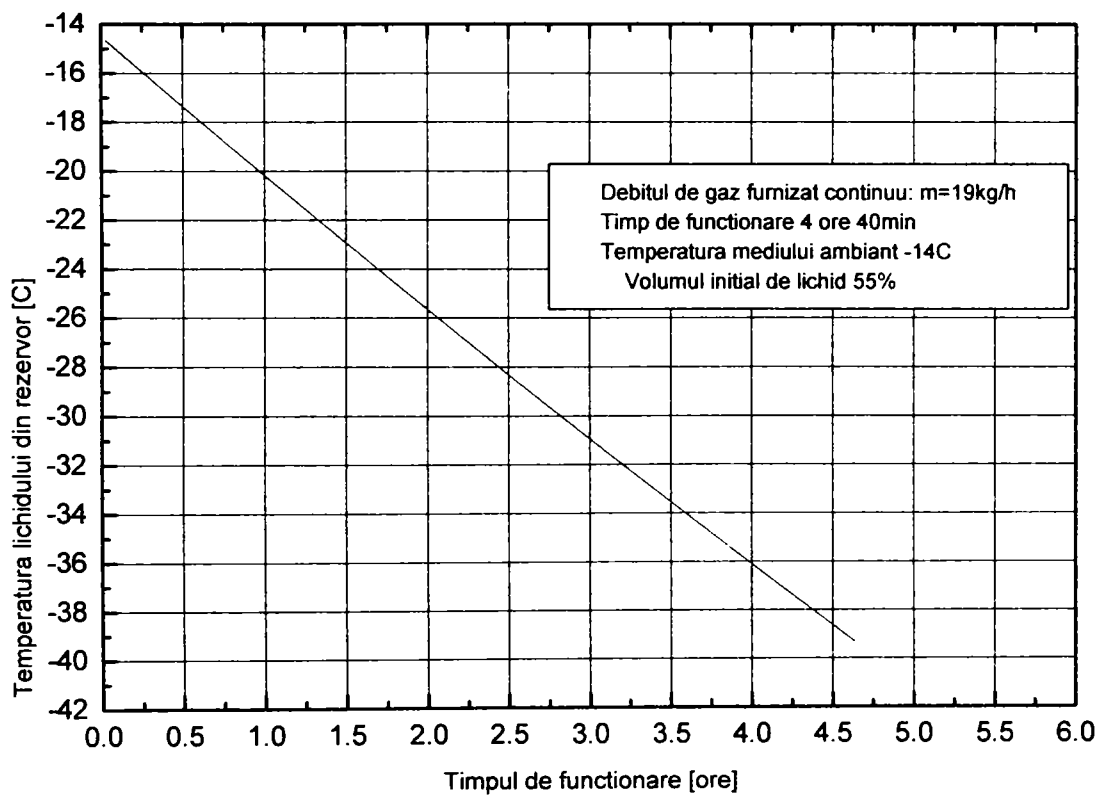


Fig.5.17 Temperatura lichidului în rezervorul încărcat inițial 55%

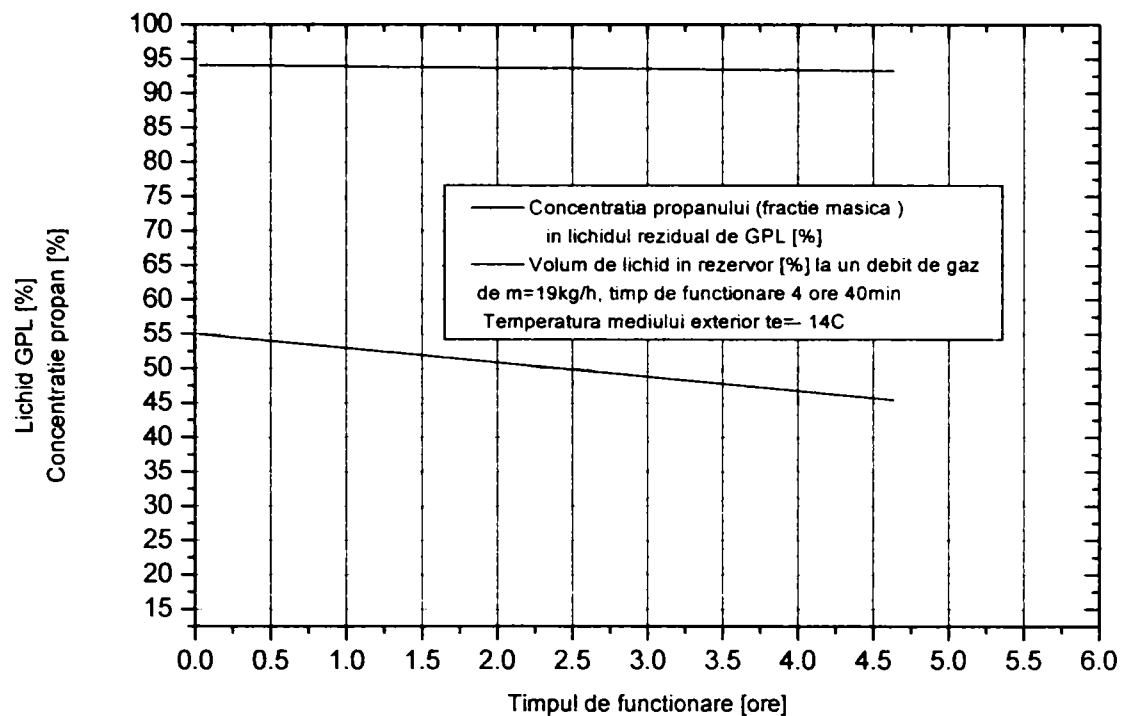


Fig.5.18 Variația volumului de lichid și a concentrației de propan în rezervorul încărcat inițial 55%

Din analiza diagramelor de mai sus rezultă următoarele concluzii:

Cu cât debitul de gaz este mai mare cu atât scade presiunea gazului din rezervor și temperatura lichidului rezidual de GPL; timpul de funcționare continuă se reduce tot mai mult, se ajunge la o răcire tot mai rapidă a masei de lichid și astfel se poate ajunge în situația de a nu se mai obține din mediu, prin pereții recipientului (prin micșorarea progresivă a suprafeței de schimb de căldură), cantitatea de căldură necesară pentru vaporizare. Astfel, se poate ajunge la o presiune de vaporizare de cca.1.1bar, pentru amestecul binar, cu 0,96 % propan în lichid la începutul vaporizării, la temperatura lichidului în jurul valorii de -39°C .

Încărcarea inițială modifică timpul de funcționare continuu la un debit dat; astfel la un debit de 19kg/h și încărcarea inițială de 80% se asigură un timp de funcționare de 7,15 ore și în final (la presiunea de 1,1 bar în rezervor) încărcarea este de 65%, pe când la o încărcare inițială de 55%, cu același debit și pornind din nou de la -14°C , se asigură un timp de funcționare de numai 4,66 ore și în final încărcarea este de 45%.

Temperatura (la presiunea finală impusă) este practic același indiferent de încărcarea inițială (teoretic se modifică cu variația concentrației de propan în lichidul rezidual).

Pentru rezervorul de 1750 litri, debitul de 4 kg/h asigură o funcționare continuă de peste 141 ore când în rezervor volumul de lichid scade sub 20%, și abia atunci este riscul ca să nu se mai furnizeze gaz. Acest lucru se întâmplă dacă tot timpul furnizării de gaz temperatura mediului ambiant se menține la $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deci limita de 20% este o limită considerată critică. În realitate funcționarea este discontinuă și temperatura mediului ambiant nu se menține tot timpul la $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, astfel se obține din mediul ambiant căldură și se poate vaporiza și restul de lichid din rezervor.

Pentru rezervorul de 1750 litri, debitul de 4 kg/h este considerat ca debit maxim continuu, la o funcționare de peste 12 ore, la temperatura exterioară de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. [1,4]

Concentrația propanului (fracția masică) este funcție numai de cantitatea de lichid din rezervor; ea scade atingând valoarea de 90% la un volum de 20% lichid în rezervor, așa cum rezultă din figura 5.19.

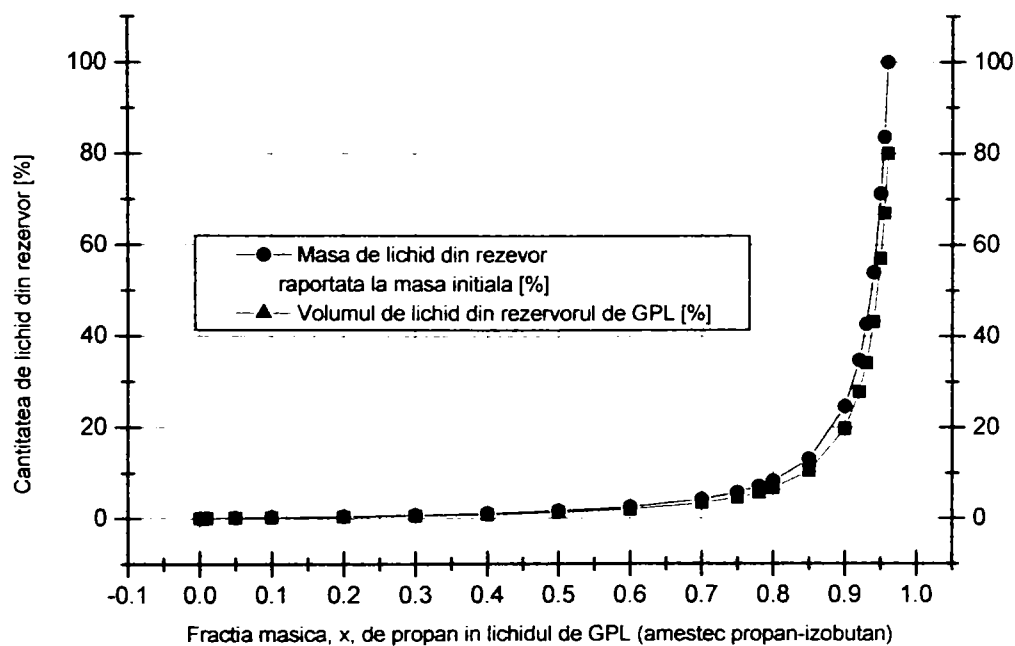


Fig.5.19. Cantitatea de lichid rezidual existent în rezervorul de GPL

5.2.3 Efectul transvazărilor de GPL asupra lichidului rezidual

Prin transvazare se înțelege încărcarea sau descărcarea unui recipient de GPL: acest recipient poate fi: rezervorul de stocare (a beneficiarului, furnizorului sau al consumatorului) rezervorul de pe vagonul CF de transport GPL, rezervorul autocisternei. Pentru că masa specifică a lichidului variază în limite mari cu temperatura toate recipientele care îl conțin se vor umple numai 80% din volumul total, încât restul de 20% să fie ocupat în exclusivitate de faza gazoasă.

De la furnizor, care determină compoziția lichidului, probabil, din rezervorul de stocare primar, prin transvazări repetate concentrația componentelor mai volatile (propan) scade continuu. La încărcarea rezervorului de pe vagonul CF de transport GPL, la temperaturi pozitive masa specifică a gazului este direct proporțională cu presiunea din rezervor (pentru propan comercial 4.6...7 bar), gaz provenit din vaporizarea lichidului; vapori care sunt mai bogați în propan decât lichidul din rezervor. Acest fenomen de sărăcire a lichidului cu componente mai volatile continuă la toate transvazările. Este adevărat că raportul masic de lichid rezidual și gaz este mic și anume:

$$m_0 = m_l + m_g$$

unde masa totală m_0 este formată din masa lichidului m_l și masa gazului m_g

- masa specifică a lichidului (la temperatura la care s-a făcut de exemplu transportul lichidului de GPL cu care s-a încărcat standul de încercări) pentru 0...5 °C este cca. 0.530kg/litru deci la 80% din volumul V masa este:

$$m_l = 0.80 * V * 0.530$$

- masa specifică a gazului la temperatura respectivă (presiunea de saturați 5...5,6 bar) este cca. 10.1 kg/m³=0,0101kg/litru, deci masa de gaz este:

$$m_g = 0.20 * V * 0.0101$$

Astfel $m_l / m_0 = 0.80 * V * 0.530 / (0.80 * V * 0.530 + 0.20 * V * 0.0101) = 0.9545$, acest raport introdus în relația 5.13 (de calcul al procentajului de propan din lichidul rezidual) conduce, teoretic, la procentajul de propan, în lichidul rezidual, de exemplu de la $x_1 = 97\%$ la $x_1 = 96,8\%$. Urmând aceeași logică de calcul la a cincea transvazare $x_1 = 96,01\%$. Astfel lichidul de GPL din rezervorul de experimentare (cap 6) se va analiza cu concentrația de propan de la $x_1 = 96,0\%$.

6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND UTILIZAREA GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE

6.1. Necesitatea determinărilor experimentale. Considerații generale

Prin studiul teoretic și rezolvarea sistemului de ecuații (5.11) ce descriu transferul de căldură și masă în procesul de vaporizare s-au obținut o serie de valori cu care s-au ridicat și diagramele prezentate în capitolul 5. Aceste mărimi trebuie verificate pe un stand de probă ca să se confirme valabilitatea cercetărilor. Prin cercetările teoretice nu s-a reușit să se determine câteva mărimi importante, cum ar fi valorile reale ale unor coeficienți utilizați în proiectarea instalațiilor de GPL. Cercetările experimentale, pe un stand complex, pot rezolva toate aceste probleme arătate mai sus.

În principiu se urmărește să se răspundă la mai multe întrebări, cum ar fi :

- care este debitul real de gaz furnizat continuu de rezervoarele fără vaporizatoare în climatul țării noastre, presiunea în rezervor și parametrii care influențează acest debit ?
- care sunt valorile reale ale unor parametrii și coeficienți utilizați în proiectarea instalațiilor de GPL?
- care este efectul diferitelor tipuri de trasee asupra presiunii și debitului de gaz furnizat?

6.2. STANDUL PENTRU CERCETĂRI EXPERIMENTALE

6.2.1. Descrierea standului

Standul, prezentat schematic în figura 6.1 este realizat cu un rezervor 1 de GPL de 1750 litri, cu două trasee independente de conducte de gaz, (23,24) un traseu de L=37m, realizat din țevă OLT, 23, diametrul interior D=25.4mm, și un alt traseu de L=49m din țevă de cupru, cu diametrul interior D=16mm.

Standul este echipat cu un regulator de înaltă presiune 8, și două regulatoare, identice, pentru presiune joasă 16 și 34. Astfel se pot realiza patru circuite ale gazului: câte 2 circuite prin cele două tipuri de conducte; cu manometrul de joasă presiune 16 montat imediat (distanță sub un metru) după regulatorul de înaltă presiune sau cu

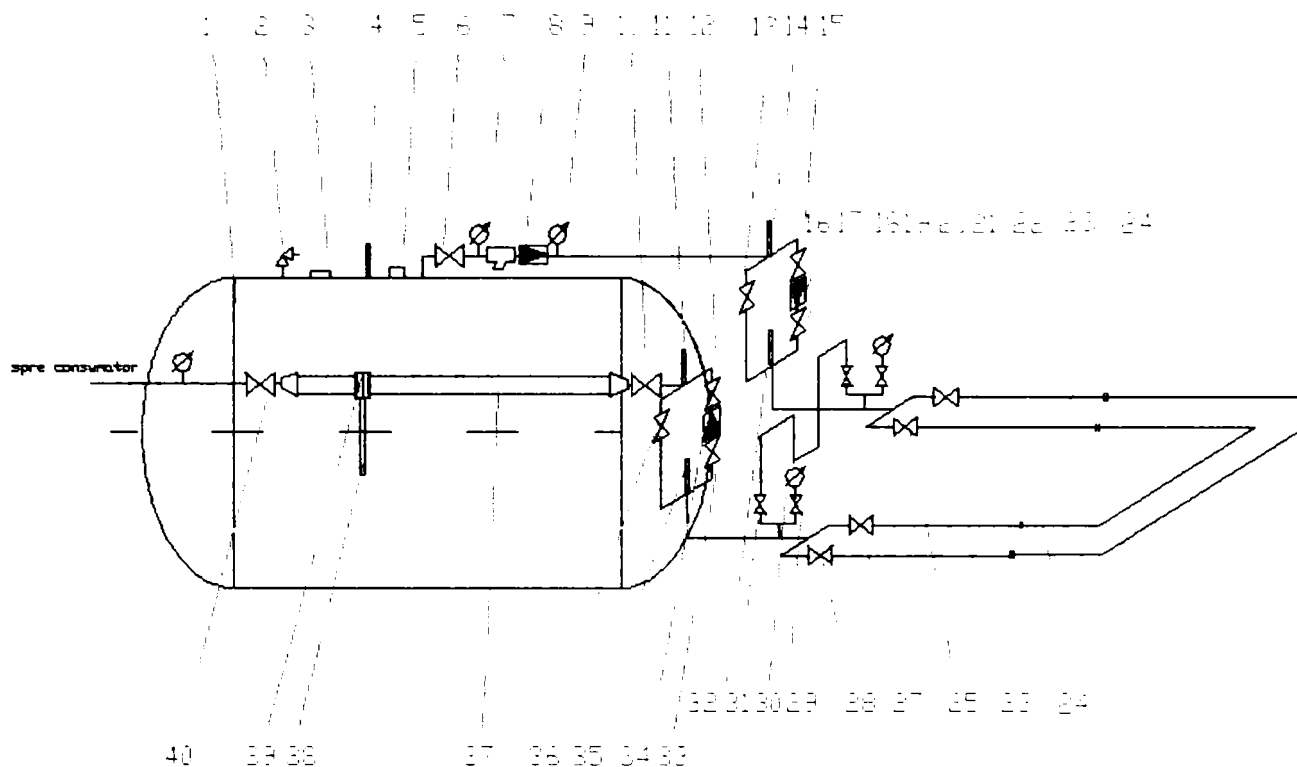


Fig.6.1 Schema standului de probă

LEGENDĂ:

1-Rezervor GPL 1750 litri, 2-Supapă de siguranță, 3-Indicator de nivel, 4-Termometru t1, 5-Gura de umplere
6,10,12,13,15, 17,19,21,22,25,29,31,33,36,40-Robineți, 7,9,20,30,-Manometre, 8-Regulator înaltă presiune. 16,34-Regulator joasă
presiune, 14-Termometru t2, 32-Termometru t3, 18-Manometru diferențial, 23-Conducta de 1", L=37m, 24-Conducta de
Cu1/2",L=49m,35-Termometru t4, 11- Termometru t5 , 37- Conducta 2" . 38- Manometru diferențial pentru diafragmă, 39-Diafragma

regulatorul de joasă presiune 34 montat înainte de intrare în conducta 37 pe care s-a montat diafragma 39, (pentru instalațiile reale înainte de intrare în clădiri la consumatori). Circulația dorită a gazului se realizează prin grupul de robineți 12, 13,17, 33,36.

Pentru identificarea circuitelor vom defini, convențional în această lucrare, circuitul cu regulatoarele montate unul după altul **circuit atipic**, pentru că este un circuit fără traseu de medie presiune (presiunea gazului se reduce de la înaltă presiune la medie presiune în primul regulator și apoi la presiune joasă) iar circuitul cu regulatoarele la distanță, adică cu existența unui traseu pe medie presiune și a unui traseu de joasă presiune se va numi **circuit normal**.

Pentru determinarea căderii de presiune pe circuit s-au montat manometrele 20 și 30, și manometrul diferențial 18 cu alcool tehnic. Debitul de gaz se determină cu diafragma 39, prevăzută cu grupul de manometre diferențiale 38.

Temperatura gazului, în diferite puncte ale circuitului, se determină cu termometrele: 4, (temperatura din rezervor- t_1), 14, (temperatura înainte de primul regulator 16 de joasă presiune - t_2), 32, (temperatura după primul regulator de joasă presiune- t_3), 11, 35 (înainte și după al doilea regulator 34 de joasă presiune - t_4 , t_5) și temperatura mediului ambiant - t_6 . Pentru a mări precizia de citire s-au montat atât termometre cu mercur cât și termometre cu afișare numerică.

În figurile 6.2 și 6.3 sunt prezentate părți din standul experimental realizat la S.C. Sistemgas Timișoara.

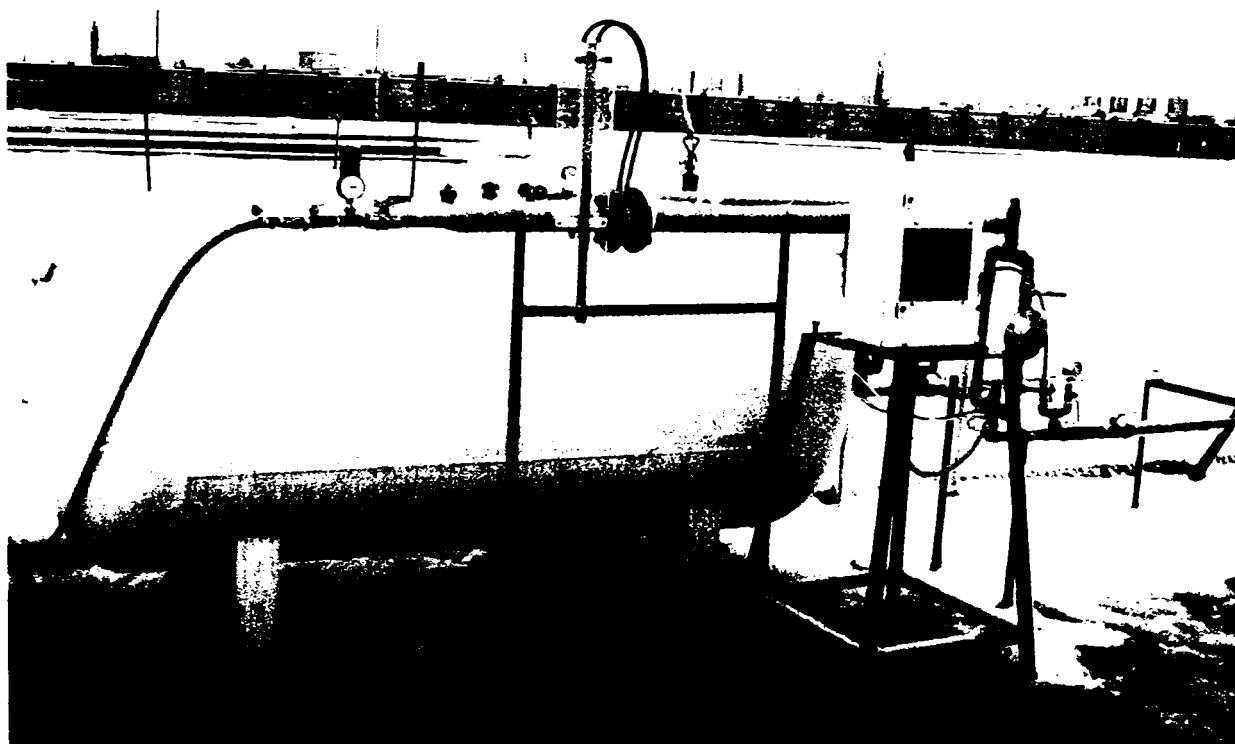


Fig.6.2. Standul experimental. (vedere centrală)

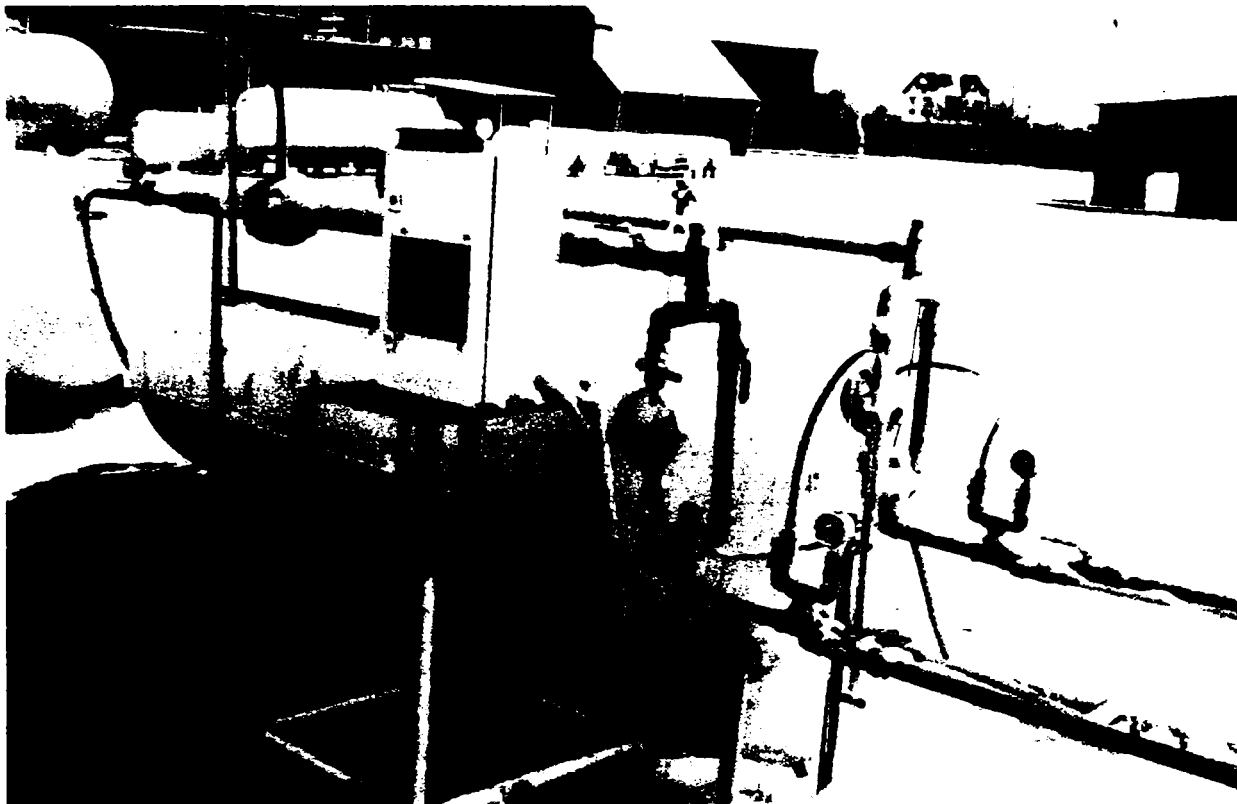


Fig.6.3 Standul experimental. (vedere laterală –montaj reglatoare și conducte)

6.2.2. Realizarea standului. Materialele și aparatele de măsură

a) Conductele utilizate la standul de probă

Pentru instalații de GPL mici și mijlocii, fără vaporizator, la S.C. Sistemgas Timișoara se utilizează conducte de dimensiuni cuprinse între 10...18mm din cupru (sunt preferate dimensiunile 10x1, 12x1, 16x1 și 18x1) și 19.....38mm, din OLT.

Țevile de cupru utilizate sunt fabricate în Italia de KME Milano [74], sub marca WICU, (fig.6.4); sunt protejate la exterior de un strat special de clorură de polivinil, rezistent la coroziune și sunt garantate 30 de ani. Se pot monta subteran (direct în pământ) sau suprateran pe ziduri prinse cu cleme. Țevile se livrează sub formă de colac, așa cum se vede în figura 6.5, la o lungime de 50 m. Astfel se pot realiza circuite foarte lungi dintr-o singură bucată. Traseul de L=49m din țeavă de cupru, 16x1,(cu diametrul interior D=16mm) dintr-o singură bucată, a fost montat pentru determinarea coeficientului de frecare la acest tip de conductă.



Fig.6.4. Conductă de cupru izolată, tip WICU

Îmbinarea conductelor de cupru cu O-ring

Îmbinările cu O-ring (O-ring = inele de forma O) au la bază deformarea unui inel de textolit prin strângere între două componente filetate; deformare care duce la micșorarea diametrului interior al inelului și mărirea diametrului exterior și astfel are loc o etanșare perfectă a țevii de cupru (și aceasta puțin deformabilă) care trece prin interiorul inelului și piesa de legătură, un racord care este format fie dintr-o piesă cu filet interior (racord O-ring F) fie cu filet exterior (racord O-ring M) și o piuliță O-ring. (fig.6.6)

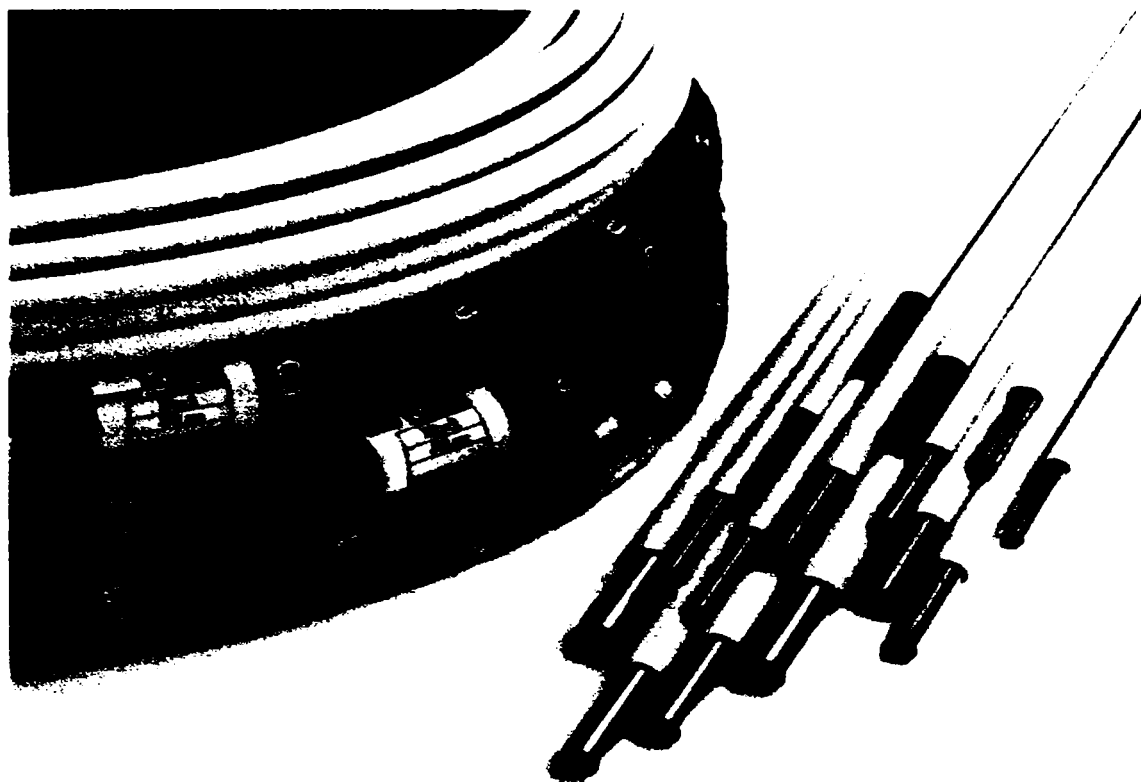


Fig.6.5. Diferite dimensiuni de conducte de cupru izolate

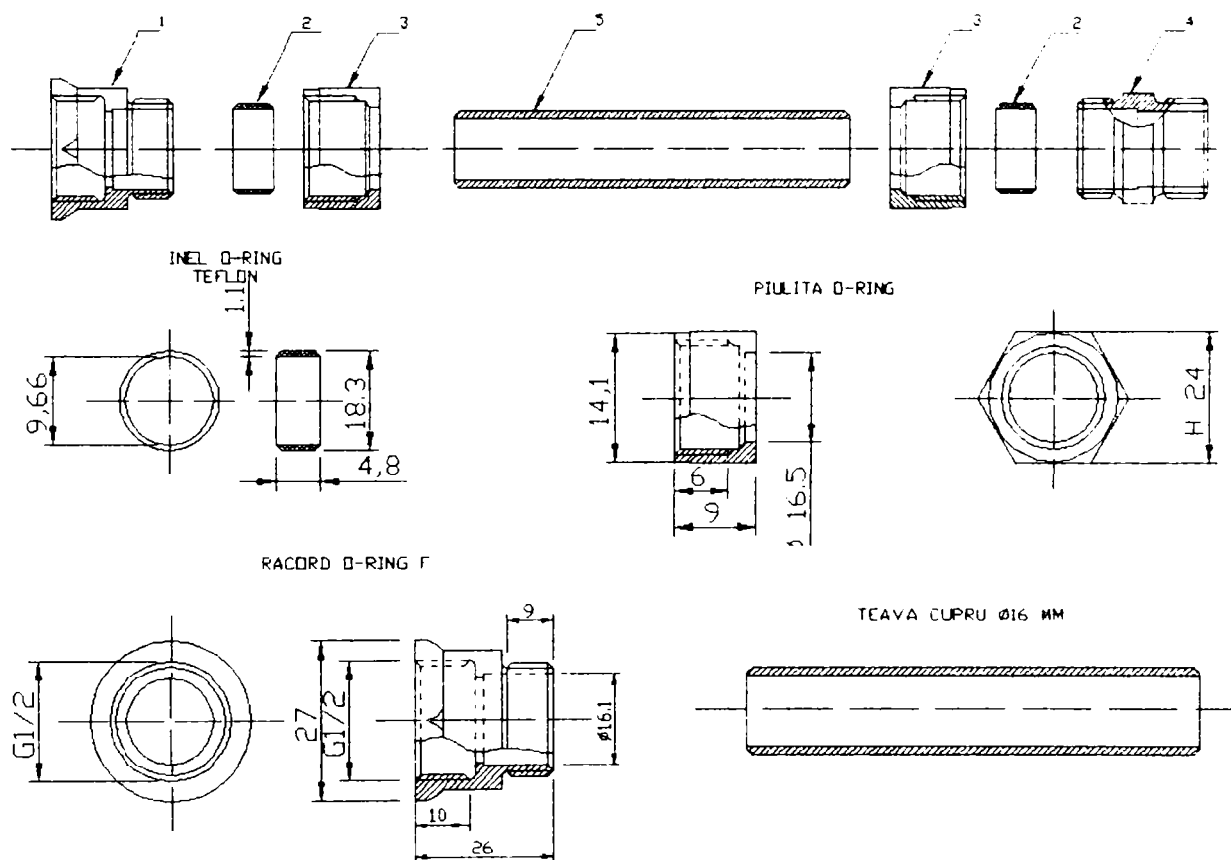


Fig.6.6. Piese componente pentru o îmbinare cu O-ring pe țeava de cupru
 Legenda: 1-racord O-ring F; 2-inel O-ring; 3-piuliță O-ring; 4--racord O-ring M; 5--țeavă de cupru

Traseul de $L=37\text{m}$ este realizat din țevă OLT, laminată la cald, tip Silcotub Zalău, cu dimensiunea și compoziția chimică prezentate în Tabelul 6.1.

Tabelul 6.1 Dimensiunea și compoziția chimică pentru țeava OLT tip Silcotub Zalău

Dim	Compoziție								
	C	Mn	Si	P	Al	Cr	Mo	Cu	Ni
33.4x3.5	0.16	0.48	0.29	0.024	0.025	0.11	0.024	0.25	0.15

Aceste două tipuri de conducte sunt utilizate la S.C Sistemgas, fiind reprezentative pentru instalații de GPL mici și mijlocii, fără vaporizatoare.

Traseul din țeava OLT s-a realizat prin sudarea cap la cap a țevelor cu lungimea de 6m/buc., traseu care simulează multe situații concrete de instalații cu GPL.

b) Diafragma utilizată

Pentru determinarea debitului de GPL consumat s-a montat o diafragmă prin intermediul unei conducte [58] cu diametrul interior $D=52.4\text{mm}$; cu mărimile constructive trecute în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2.

Mărimi pentru diafragmă

Diametrul interior al conductei $D[\text{mm}]$	Coefficient de strangulare $m=A/A_0=(d/D)^2$	Diametrul inelului diafragmei $d[\text{mm}]$	Coefficient de debit pt $Re=4000..6000$ α	Coefficient de debit pt. $Re>10000$ α
52.4	0.05	11.72	0.600	0.598

c) Manometrele utilizate la standul de probă

Manometrele sunt cu element elastic produse de Coprim-Vicenza Italia, etalonate de BRML–Direcția Regională de Metrologie Legală Timișoara. Manometrele montate pe stand au fost etalonate și pe standul propriu de verificat supape. Pentru *circuitul atipic* (cu manometrul de joasă presiune montat imediat după regulatorul de înaltă presiune), s-au utilizat manometre de 100 mbar, iar pentru *circuitul normal*, s-au utilizat manometre de 4bar. Presiunile diferențiale mici în cazul aerului au fost măsurate cu micromanometre înclinate, cu alcool (masa specifică, determinată experimental în laborator la 20°C , este

$\rho=0.8565\text{kg/m}^3$ și coeficientul de dilatare volumică, determinat experimental, este egal cu valoarea de $\beta=-0.00115\text{ T}^{-1}$ [73]) care permit citirea cu precizie de 0,1 mm alcool.

Pentru căderi de presiune mici pe circuitul de gaz și la determinarea căderii de presiune pe diafragmă au fost utilizate manometre diferențiale în formă de U cu alcool tehnic, iar pentru diferențe mici, manometre diferențiale înclinate [58].

d) Termometrele utilizate la standul de probă

S-au utilizat atât termometre de sticlă cu mercur ($-30^{\circ}\text{C}..+50^{\circ}\text{C}$) cu diviziunea de $0,1^{\circ}\text{C}$, cât și termometre produse de ADELADA ELECTRONIC Craiova, modelul DV1VT – TM, termometre numerice ($-35^{\circ}\text{C}/+135^{\circ}\text{C}$) [77] Modulul DV1TV-TM este un modul de indicație numerică care poate fi configurat pentru măsurători de temperatură cu ajutorul unui senzor cu siliciu de tip KTY11-6 produs de firma INFINEON și permite montarea directă pe un panou de afișare (fig.6.7)

Tabelul 6.3 Caracteristicile termometrelor DV1VT – TM

Alimentare	Intensitate	Precizie	Rezo lutie	Conversie	Domeniul de lucru al senzorului	Timpul de răspuns al senzorului.
8Vcc- 12Vcc	max.300mA	pentru -35°C /- $10^{\circ}\text{C} < 1^{\circ}\text{C}$ +/- 1 digit	0.1 $^{\circ}\text{C}$	3 măsurători/ secundă	-50°C $+150^{\circ}\text{C}$	sub 2 secunde

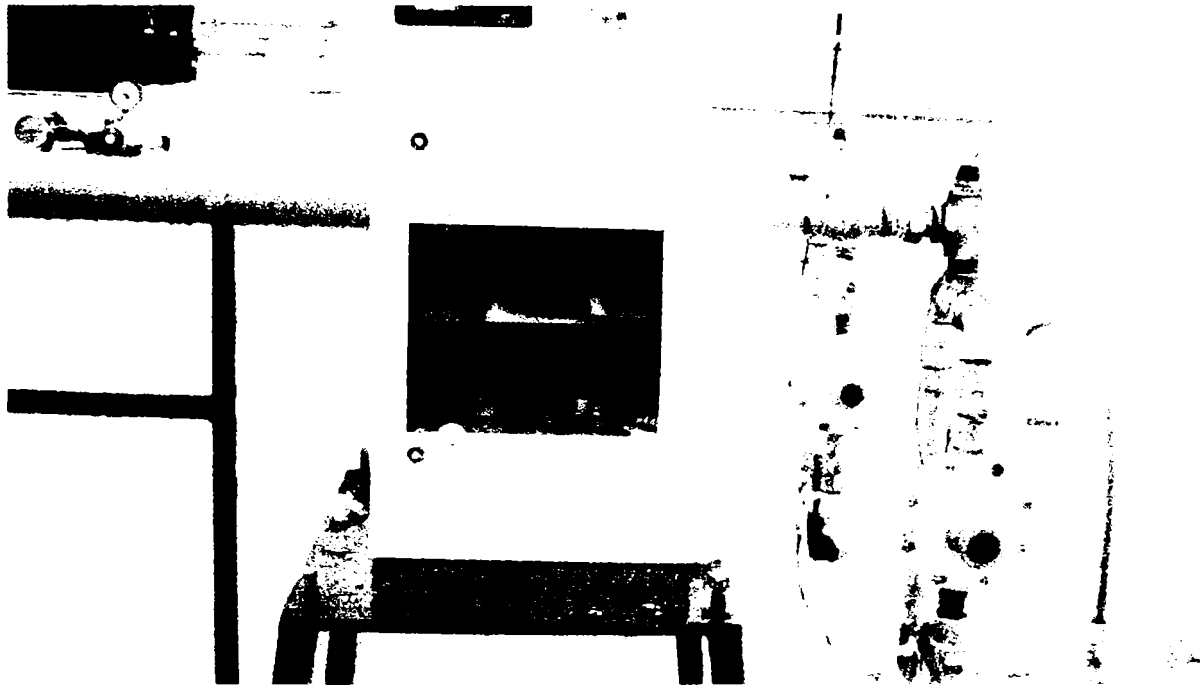


Fig.6.7. Panou de afișare a temperaturilor, montat direct pe standul de probă.

Pentru recalibrarea modulului s-a introdus senzorul în apă cu gheață și s-a reglat P1 până când indicația era 0.00; apoi s-a introdus senzorul într-un mediu a cărui temperatură a fost adusă la 100°C, și s-a reglat P2 până când indicația a devenit 100.00.

Termometrele au fost etalonate și reglate, împreună, la 0 °C (în apă cu gheață) și la 100 °C (în apă la fierbere la 760 Torr) și verificate permanent cu un termometru de înaltă precizie, (cu diviziuni de 0,1 °C) cu scara între -30 °C ...+50 °C.

Ca și consumatori s-au utilizat două arzătoare de putere mare (2x110kW), montate pe trepiede, cu ardere în atmosferă (fig.6.8).



Fig.6.8. Arzătoare montate pe trepiede. Încercări pe timp înnourat.

6.2.3. Gazul petrolier utilizat în cercetările experimentale

În rezervorul standului de încercări s-a utilizat GPL furnizat de producătorul NWE-Belgia sub certificatul de calitate Nr. 33807921 105-2/decembrie 2004. S-a preferat utilizarea acestui gaz pentru că era la acea dată în stoc la Sistemgas, deci era pregătit pentru livrare la consumatori și pentru certitudinea compoziției, conform tabelului 6.4. Acest gaz are caracteristicile foarte apropiate de GPL furnizat de firmele din țară. Pe baza teoriei amestecurilor s-au calculat proprietățile termofizice [69] ale GPL-ului utilizat și s-au trecut în tabelul 6.5

Ținând cont de *efectul transvazărilor* de GPL asupra lichidului rezidual și presupunând că s-au făcut patru transvazări, în momentul începerii experimentelor lichidul de GPL din rezervor are procentajul de propan de $x_1=96,0\%$. Pentru un calcul acoperitor restul de componente se asimilează cu componente grele ce au proprietățile termofizice ale izo-butanului.

Tabelul 6.4 Compoziția chimică a gazului utilizat pentru testări

Nr. crt.	Compoziția chimică	UM	Valori determinate
1	Propan	%	97.056
2	Iso –Butan,	%	1.586
3	Propilenă	%	0.514
4	N-butan	%	0.361
5	Butene 1	%	0,013
5	Butene 2	%	0,056
5	Iso-butilenă	%	0,023
5	Etan	%	0,391

Tabelul 6.5 Proprietățile termofizice ale GPL-ului utilizat

Masa moleculară [kg/kmol]	Masa specifică a vaporilor [kg/m ³ _N]	Constanta R _i [J/(kg·K)]	Temp. °C	Vâscozitatea cinematică v·10 ⁶ [m ² /s]	Capacitatea termică masică la pres const. c _p [J/kgK]
44,265	1,976	187,823	-20	7.051	1365
			-15	7.101	1389
			-10	7.232	1414
			-5	7.387	1439
			0	7.511	1463
			5	7.692	1487

6.2.4. Metodica cercetărilor experimentale

Procesul de vaporizare a GPL-ului în rezervoare fiind atât de complex s-a căutat să se facă cercetările la temperaturi cât mai joase, dimineața și pe timp înnorat (fig.6.8) ca razele soarelui să nu afecteze senzorii termometrelor și să nu fie un schimb mai intens de căldură cu mediul ambiant sau spre seară (fig.6.9) când temperatura mediului ambiant era relativ staționară și viteza vântului redusă.

Încercările au fost efectuate, pe rând pentru cele patru circuite posibile și dirijate astfel:

- s-a modificat debitul de gaz consumat după aprox. 15...20 minute, dacă nu erau variații sensibile ale temperaturii mediului ambiant; interval în care răcirea relativă a gazului lichid nu era mai mult de $-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ și termometrele indicau temperaturi relativ constante (cu o variație de maxim $-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) și s-au citit toate aparatele de măsură. Astfel s-au obținut date pentru care debitele de gaz au variat (deci și vitezele prin conducte) și celelalte mărimi au rămas relativ constante.



Fig.6.9. Încercări pe standul de probă, seara

- s-a menținut debitul de gaz constant, după aprox. 10...15 minute, interval în care temperatura gazului lichid nu cobora cu mai mult de -0.1 °C, s-au citit toate aparatele de măsură. Apoi s-a așteptat 30...40 minute modificarea temperaturii interne a gazului și s-au repetat citirile. Astfel au rezultat date pentru care temperaturile și presiunile au variat în timp și s-a obținut o imagine reală de funcționare a unui rezervor fără vaporizator, cu debit constant de GPL furnizat,

- s-a modificat debitul de gaz consumat după aprox. 5...10 minute, interval în care răcirea gazului lichid a fost foarte mică, s-au citit toate aparatele de măsură. Astfel s-au obținut date pentru studiul coeficientului de rezistență la frecare prin conducte când celelalte mărimi au rămas relativ constante,

- s-a menținut debitul de gaz "constant" (în sensul că nu s-a reglat) timp de câteva ore, timp în care răcirea gazului lichid era sensibilă, la un timp regulat s-au citit toate aparatele de măsură inclusiv debitul, s-a repetat operația până când arzătoarele sau un singur arzător mai funcționa. Astfel au rezultat date pentru care toate mărimile au variat în timp și s-a obținut o imagine reală de funcționare a unui rezervor fără vaporizator.

Testările privind funcționarea aparatelor și a standului, într-o primă fază, au fost făcute în perioada 12.01.-28.02. 2004. Apoi standul a fost completat și modificat ajungând la forma actuală și încărcat cu GPL-ul prezentat mai sus și s-au făcut încercările finale în perioada 0.7.01-30.03.2005.

6.2.5. Aparatura de control și verificare din laborator

S.C. Sistemgas Timișoara dispune de un laborator propriu fiind dotat cu instalații și aparatură de control și verificare necesare atât pentru corectarea citirilor, etalonarea sau verificarea aparatelor de măsură cât și pentru determinarea maselor specifice ale lichidului de GPL, tensiunii vaporilor, etc. Legat de cercetarea experimentală un aparat important este termodensimetrul.

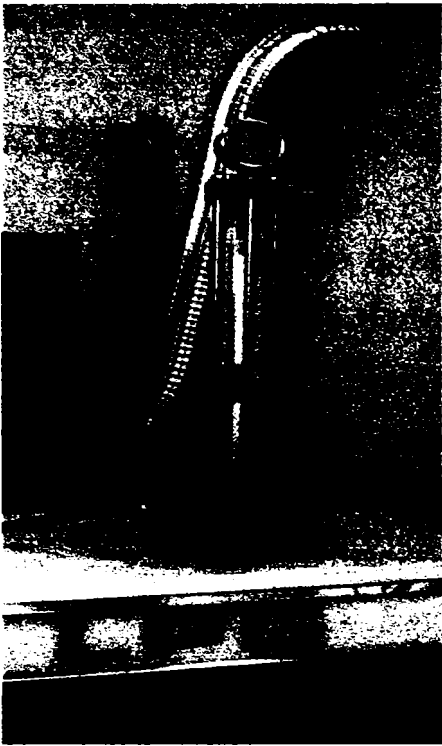


Fig.6.10. Termodensimetrul

Termodensimetrul (fig.6.10.) se utilizează pentru determinarea densității lichidului de GPL, mai ales a autogazului.

Termodensimetrul este format dintr-un densimetru în care este imersat un termometru cu diviziuni de $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, și un manometru ce indică suprapresiunea vaporilor de GPL. Aparatul fiind ușor și transportabil se poate depozita în diferite locuri, cu temperatura variabilă, mai ales iarna și se pot verifica și alte proprietăți caracteristice ale autogazului (tensiunea vaporilor, etc.)

6.3. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE

6.3.1. Mărimi determinate experimental

Procesul complex de vaporizare a GPL-ului în rezervoare chiar și în cazul unei temperaturi constante a mediului ambiant și viteza vântului redusă au făcut ca toate măsurătorile să se desfășoare într-un sistem termodinamic nestaționar. În această situație, pentru perioade scurte de timp, s-a căutat identificarea unor mărimi quasi staționare pentru a se putea ridica diferite diagrame. Pentru a mări numărul de puncte de pe diagrame, în cazul unor parametrii importanți (considerați pentru proiectare) s-a căutat repetarea măsurătorilor în condiții apropiate și cu cantități similare de GPL în rezervor (prin realimentarea rezervorului).

În perioada 30.01.05-10.02.05 s-au făcut cercetări la temperaturi deosebit de joase ale mediului ambiant, nespecifice pentru Timișoara, dar aceste temperaturi variau foarte mult în timp de 3-4 ore (este de menționat că în acest interval de timp, în multe zile, razele solare erau destul de puternice).

1. Măsurători pe circuitul atipic

S-a convenit denumirea de *circuit atipic* circuitului cu reglatoarele montate unul după altul. Este un circuit practic fără traseu de medie presiune pentru că presiunea gazului se reduce de la înaltă presiune (5...1.5 bar) la medie presiune (0.5 bar) în primul regulator și apoi la presiune joasă (30..50 mbar). În acest caz gazul se destinde foarte mult, se răcește, scade presiunea și pentru trasee relativ lungi există riscul ca la consumator să nu mai fie presiunea prescrisă. Masa specifică a gazului se micșorează și este necesară o secțiune (un diametru) mai mare pentru vehicularea gazului, deci o investiție mai mare. Cercetările au demonstrat acest lucru; de altfel montajul este utilizat mai rar. S.C. Sistemgas nu practică astfel de montaje. Se pot utiliza aceste montaje atunci când lungimea exterioară este foarte mică, neglijabilă, iar traseele interioare sunt foarte mari (Legislația în vigoare nu permite vehicularea GPL-ului în interiorul construcțiilor decât la presiuni joase). Montajul s-a realizat pentru a demonstra cele de mai sus.

Măsurători pe circuitul normal

S-a convenit denumirea de *circuit normal* circuitului cu reglatoarele montate la distanță, adică cu existența unui traseu pe medie presiune și a unui traseu de joasă presiune. Măsurătorile prezentate mai jos se referă la acest montaj, pe traseul cu conducte de oțel sau pe traseul cu conducte de cupru.

Măsurători pe traseul de 37 m cu țevă de oțel

În figura 6.11 s-a reprezentat variația temperaturilor din rezervorul de 1750 litri și a mediului ambiant în două situații și anume:

- în rezervor cantitatea de lichid este la începutul încercărilor 55% și temperatura mediului ambiant de $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, iar debitul de gaz este maxim, de 19 kg/h ,
- în rezervor cantitatea de lichid este la începutul încercărilor 35% și temperatura mediului ambiant de $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, iar debitul de gaz este 19 kg/h .

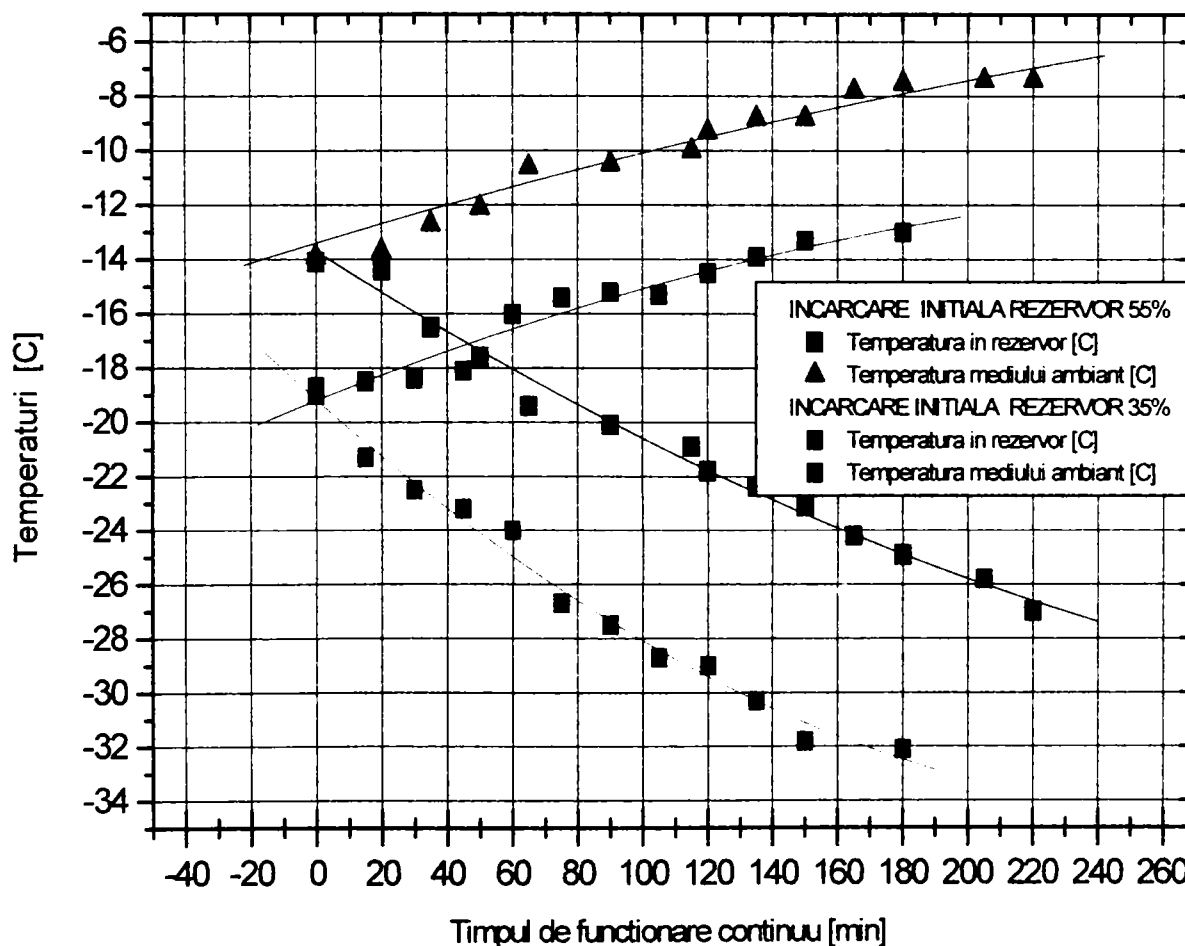


Fig.6.11 Variația temperaturilor din rezervor și a mediului ambiant

În ambele situații temperatura din rezervor, la începutul încercărilor, era destul de apropiată de temperatura mediului ambiant, apoi temperatura mediului ambiant a crescut destul de mult. Pentru primul caz în figura 6.12. s-au reprezentat variația în timp a debitului de gaz și a presiunii din rezervorul de 1750 litri. Debitul de gaz la început (aproximativ primele două ore) are o ușoară scădere, apoi scăderea se accentuează datorită scăderii temperaturii lichidului din rezervor și datorită micșorării suprafeței de contact lichid-rezervor-mediul ambiant. Este de remarcat faptul că această scădere ar fi fost și mai accentuată dacă temperatura mediului ambiant ar fi rămas constantă, dar această temperatură a crescut și efectul răcirii gazului s-a diminuat (fig.6.13). Suprapresiunea din rezervor scade puternic; după 4 ore tinde să atingă pragul critic de 0.5 bar (suprapresiunea minimă de proiectare, necesară pentru o funcționare corectă a aparatelor consumatoare de GPL). Din acest motiv, se recomandă utilizarea rezervoarelor de 1750 litri la instalații cu consum orar mult redus; debit consumat mai mic înseamnă suprafață de contact lichid-rezervor-mediul ambiant mai mare în timp și răcire diminuată în timp a lichidului.

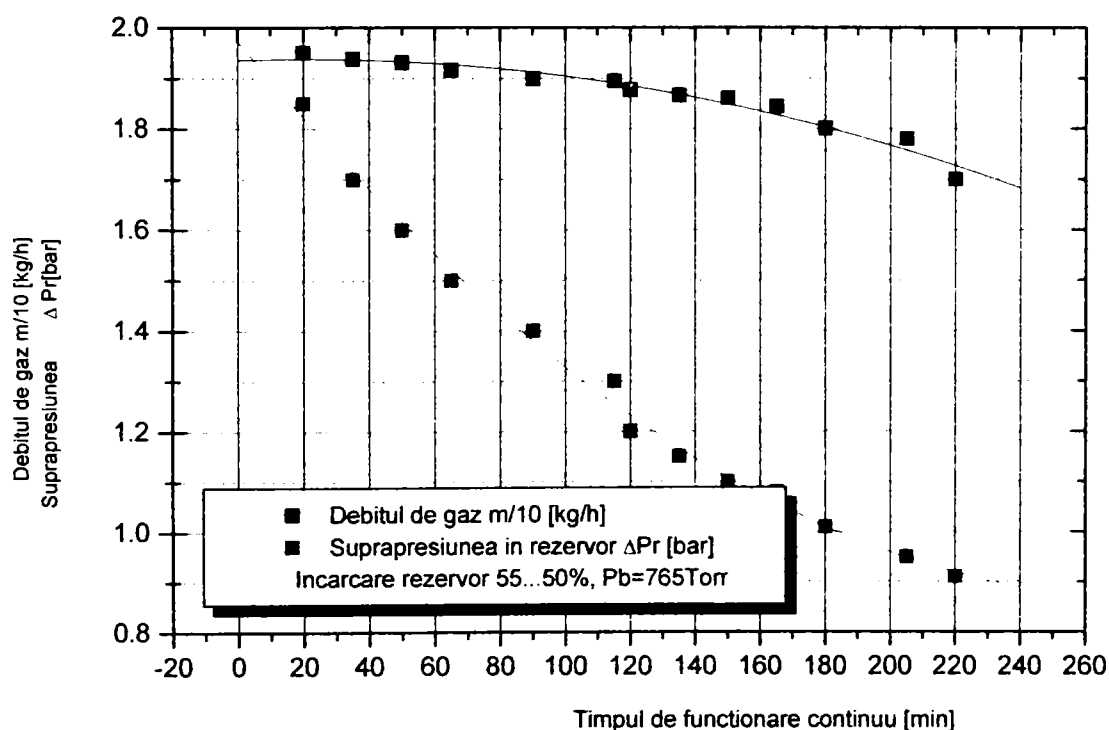


Fig. 6.12. Variația în timp a debitului de gaz și a presiunii din rezervor

În figura 6.13 s-a reprezentat variația debitului de gaz și a suprapresiunii în conducta de după regulatorul de înaltă presiune, cu temperatura din rezervor, în timp ce crește temperatura ambiantă

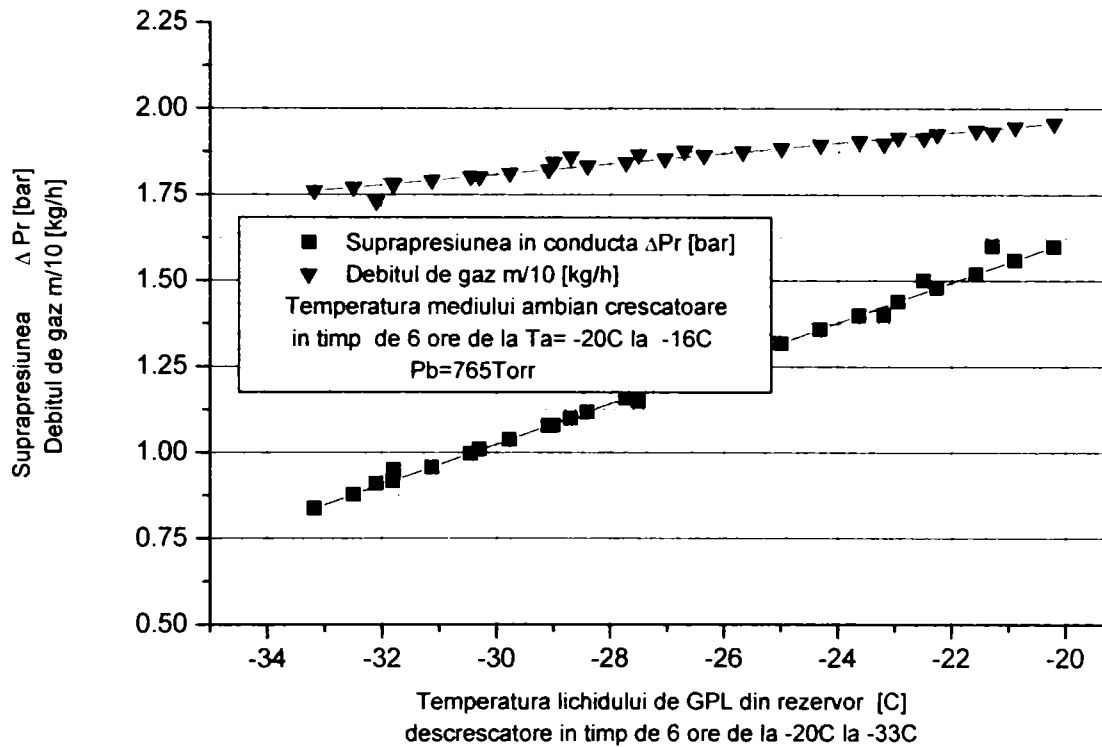


Fig. 6.13. Variația debitului de gaz și a presiunii la intrare în conducta de medie presiune, cu temperatura din rezervor, în timp ce crește temperatura ambiantă

Se constată că presiunea după regulatorul de înaltă presiune este, în acest caz, destul de mare, acest lucru se explică prin faptul că temperatura exterioară (a mediului ambiant) a crescut și temperatura amestecului lichid propan-butan este relativ mare.

În figura 6.14. s-au reprezentat: variația în timp a presiunii din rezervorul de 1750 litri și presiunea la consumator. Se constată că presiunea la consumator scade relativ puțin cu scăderea presiunii din rezervor. Instalațiile de GPL fără vaporizator sunt instalații în care consumatorii necesită, la intrare, o presiune de 30....40mbar. Analizând diagrama din (fig.6.13) se constată că se pot realiza aceste valori și pentru instalații cu conducte destul de lungi, atât timp cât în rezervor suprapresiunea nu scade sub 0.5 bar. Trebuie ținut cont nu numai de temperatura mediului ambiant dar și de cantitatea de

lichid din rezervor, care sub 20% încărcare conține din ce în ce mai puțin propan (amestecul utilizat la încercări conține în această situație între 95..90% propan)

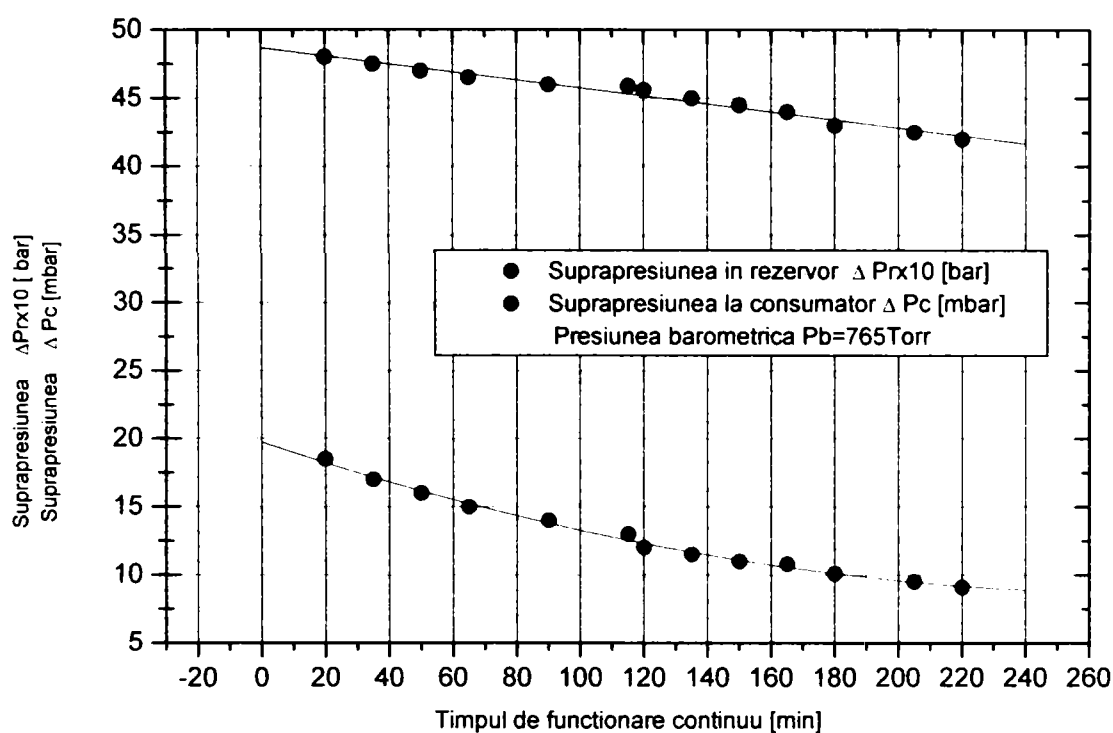


Fig.6.14. Variația în timp a presiunilor din rezervor și la consumator

Diagrama din figura 6.14 permite și evaluarea căderilor de presiune pe cele două regulate, calculând în prealabil pierderile de presiune de pe traseu, robineti, coturi, etc. Regulatele din exemplul de mai sus au fost reglate la debitul nominal. În caz de necesitate, cu diminuare de debit de gaz (dacă instalația permite) se pot mări presiunile la consumator (dacă instalația este prevăzută cu regulate reglabile) numai dacă există o supra presiune suficientă în rezervor.

Pentru primul caz în figura 6.15. s-a reprezentat variația în timp a principalelor mărimi măsurate și anume: supra presiunea din rezervor, la intrare în conducta de oțel, supra presiunea finală a gazului la consumator, debitul de gaz furnizat continuu de rezervor, densitatea gazului în conductă, etc. Toate aceste mărimi tind să se micșoreze, viteza gazului în conductă tinde să crească datorită scăderii presiunii din conductă.

Măsurători pe traseul de 49 m cu țevă de cupru

Mărimile determinate mai sus, cu excepția suprapresiunii la consumator, nu depind de traseul de circulație a gazului, ele depind de rezervorul de GPL, deci nu s-au repetat pe acest traseu. Măsurătorile efectuate pe acest traseu au permis stabilirea altor mărimi, prezentate în continuare

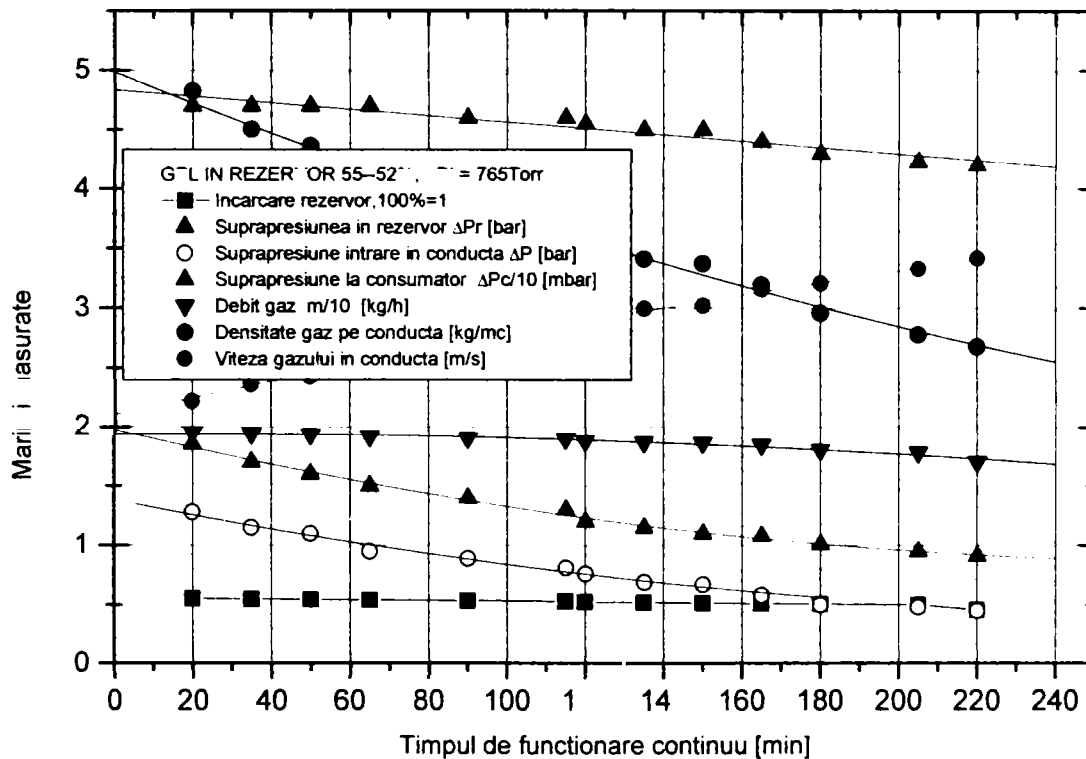


Fig. 6. 15. Variația în timp a principalelor mărimi măsurate

Căderi de presiune, coeficienți de rezistență la frecare

Ambele conducte formează 6 (șase) coturi; prin măsurători s-au obținut căderile de presiune pe întreaga instalație. Calculând pierderile de presiune în aceste coturi s-a determinat o cădere de presiune $-\Delta p/L [(N/m^2)/m]$ -pe un metru de instalație, fiind o mărime practică utilizată în proiectare. (Conform recomandărilor practice a Uniunii Asociațiilor de GPL din Europa [4] se putea considera că fiecare cot introduce o pierdere echivalentă cu o pierdere liniară pe o distanță de 0.5m; calculele au demonstrat o pierdere mai mică). Având în vedere variația aproape continuă a temperaturii din rezervor și din mediul ambiant s-au putut identifica câteva familii de curbe ce au masa specifică (densitatea) apropiate.

În figura 6.16 s-a reprezentat variația $-\Delta p/L$ funcție de viteza de curgere, pentru diferite densități de GPL-gaz. Valoarea înscrisă a densităților este o valoare medie (valorile reale variază cu $\pm 5\%$ față de valoarea înscrisă)

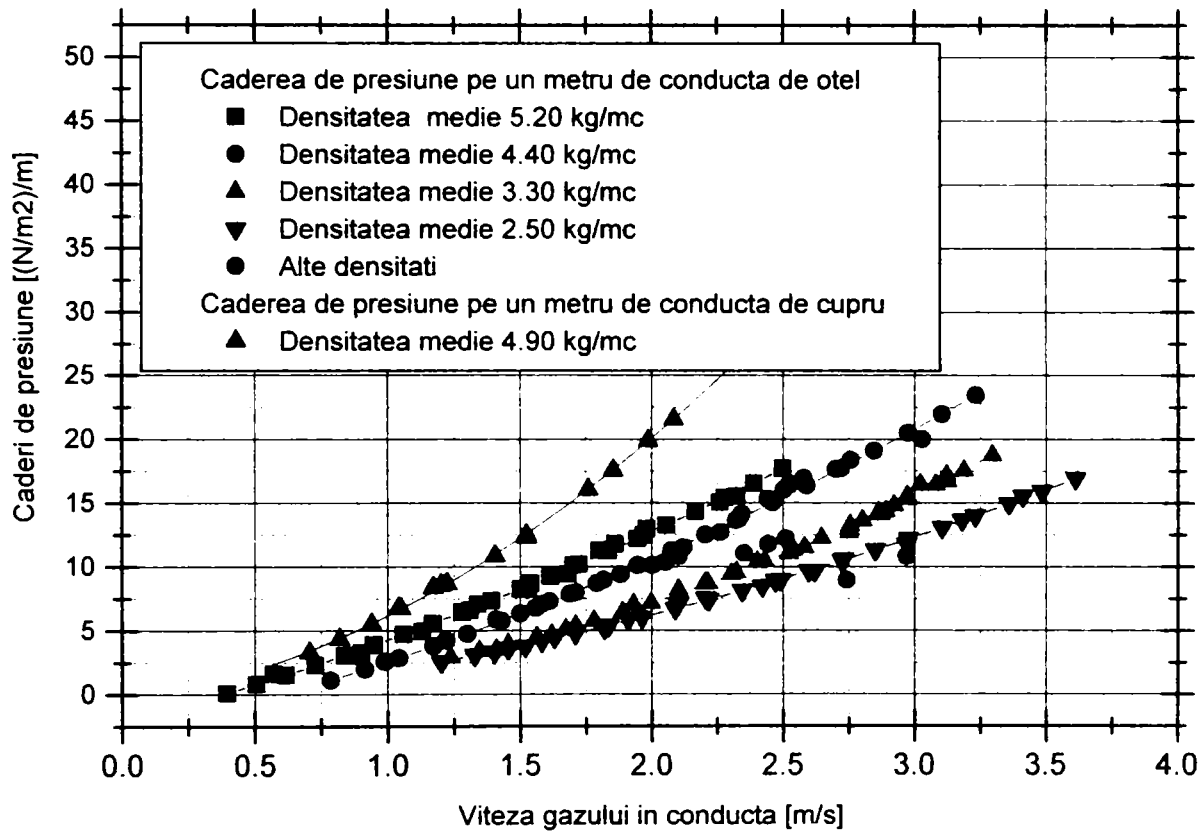


Fig.6.16. Variația căderii de presiune cu viteza gazului în conducte

Pentru conductele de GPL cu lungimea "L" și diametrul "d", pierderea liniară de presiune se calculează cu formula lui Darcy:

$$\Delta p_f = \lambda \frac{\rho w^2 L}{2 d} \quad [N/m^2] \quad (6.3)$$

unde :

λ - coeficientul de rezistență la frecare.

ρ [kg/m³] - masa specifică a fluidului pe porțiunea considerată,

w [m/s] - viteza fluidului pe porțiunea considerată (viteza medie).

Plecând de la formula de mai sus s-a calculat λ - coeficientul de rezistență la frecare și numărul Reynolds.

În figura 6.17 s-au trasat diagramele de variație a coeficientului de frecare în funcție de numărul Reynolds, pentru cele două conducte încercate

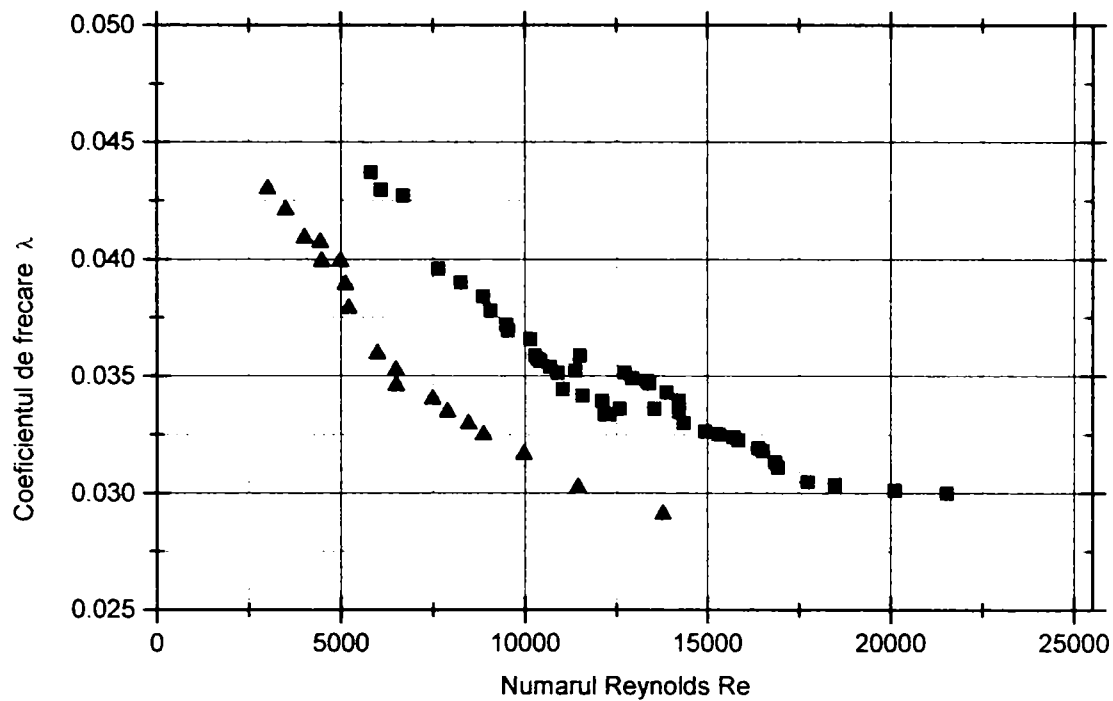


Fig.6.17 Variația coeficientului de frecare în funcție de numărul Reynolds

În figura.6.18 s-au trasat tensiunile vaporilor de propan 100% și propanul comercial utilizat la încercările din laboratorul Sistemgas Timisoara; curba care a fost determinată experimental de autor. Diferența între curba experimentală și curba teoretică este explicabilă prin diferența între compozițiile celor două gaze.

Celelalte mărimi determinate experimental (densitatea autogazului, tensiunile vaporilor, etc.) au fost prezentate în Cap.4 (fig4.4,...4.7)

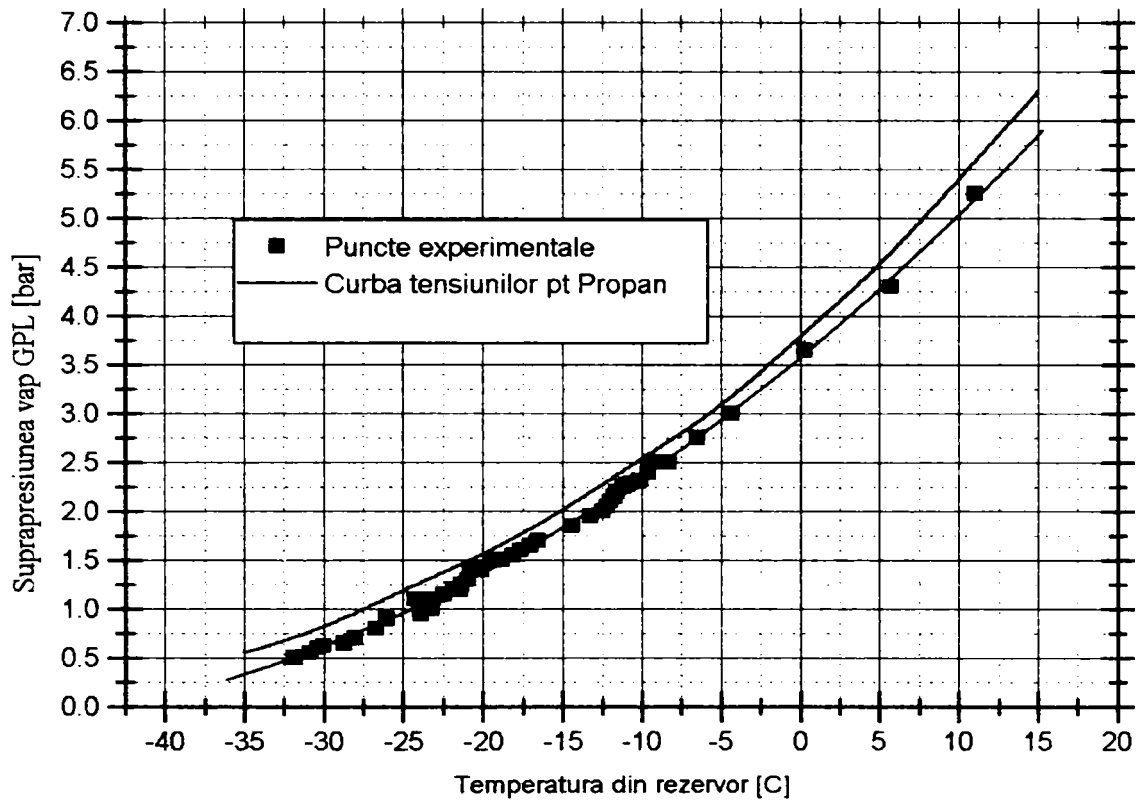


Fig.6.18. Tensiunea vaporilor de propan pur și a propanului încercat

Cum compoziția GPL-ului variază de la un furnizor la altul (în limite destul de apropiate) pentru fiecare recipient de depozitare de GPL, este recomandat să se determine experimental tensiunea vaporilor, masa specifică, etc.

În Anexa A7. se găsesc câteva tabele cu mărimi determinate experimental și valorile prelucrate.

6.3.2. INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE COMPARATIV CU DATELE DIN CALCULE

Din analizele de mai sus rezultă că parametrii cei mai importanți în exploatarea sistemelor autonome cu GPL, fără vaporizatoare, sunt:

- variația în timp a presiunii din rezervor; presiune care asigură vehicularea gazului prin instalație și presiunea necesară arderii,
- coeficienții de frecare la diferite tipuri de conducte,
- debitul de gaz furnizat continuu de rezervor la temperaturi joase (ex. -15°C),

Variația presiunii și a temperaturii din rezervor

În timpul experimentelor temperatura mediului ambiant variază, așa cum rezultă din figura 6.11 sau 6.20; temperatură care se poate exprima prin formula:

$$t_{ex} = -14.4 + 2.997\tau - 0.273 \cdot \tau^2 \quad (6.4)$$

unde τ [h]- este timpul de funcționare

Această temperatură se va introduce în relația (5.18) și se rulează din nou programul VAPGPL (valorile sunt trecute în Anexele A7.4):

În figura 6.19 s-a reprezentat variația în timp a presiunii din rezervor, iar în figura 6.20 s-a reprezentat variația în timp a temperaturilor din rezervor și variația temperaturii mediului ambiant în ziua încercărilor; încărcarea cu lichid este de 55%, temperatura mediului ambiant variază de la -14°C la -6°C .

În figurile de mai sus s-au trecut și curbele teoretice, obținute în urma rulării programului VAPGPL, la temperaturi exterioare constante (pentru comparare).

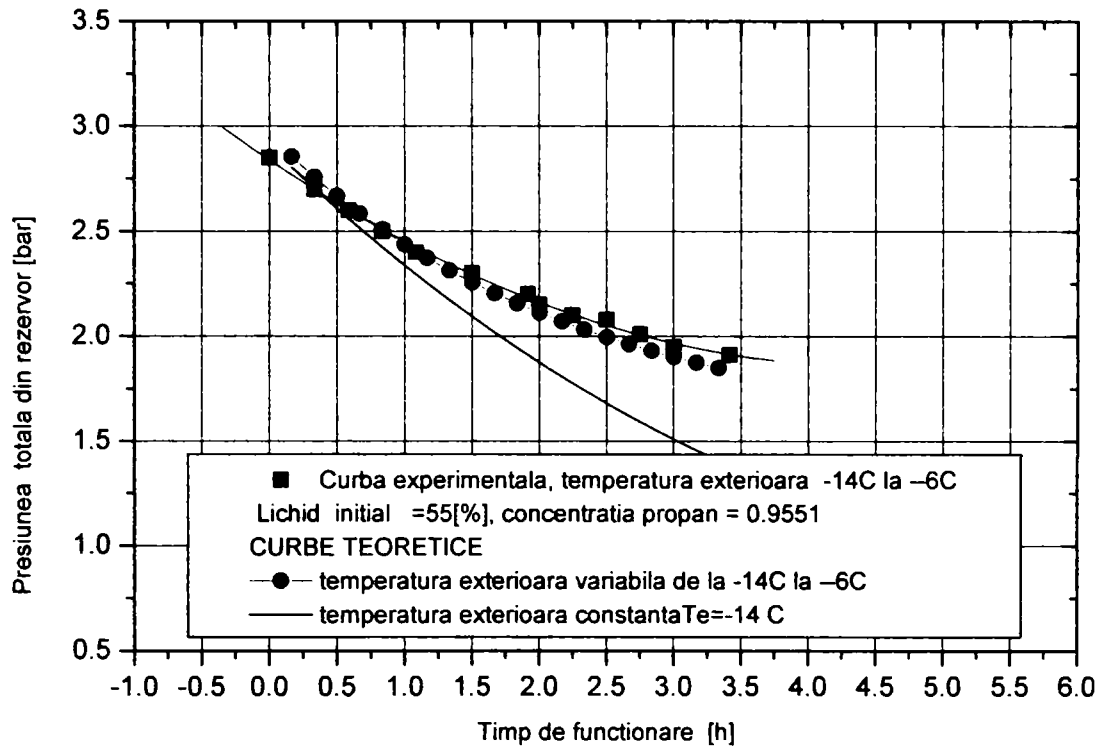


Fig. 6.19 Presiunea din rezervorul de 1750 litri; teoretic și experimental

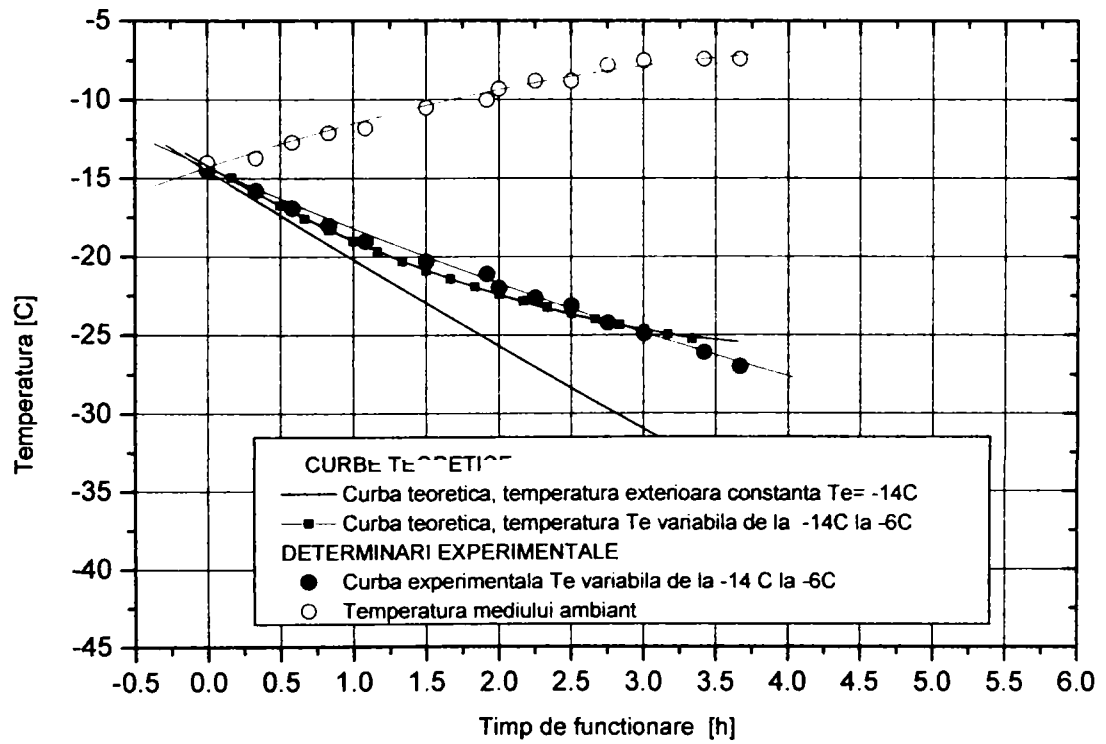


Fig. 6.20 Temperatura lichidului teoretic și experimental

Se constată că există o bună corespondență între curbele determinate experimental și curbele obținute prin calcule, atunci când se ține cont de variația temperaturii mediului ambiant. Acesta lucru confirmă precizia măsurărilor și corectitudinea programului VAPGPL; program care se poate utiliza și pentru alte tipuri de rezervoare sau alte condiții de funcționare.

Variația temperaturii mediului ambiant nu se poate anticipa la un calcul teoretic unde se consideră temperatura exterioară constantă. Temperatura ambiantă peste valoarea de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ îmbunătățește procesul de vaporizare; calculele teoretice fiind astfel acoperitoare.

Coeficienții de frecare

Pentru domeniul curgerii stabilizate turbulente ($Re > 4\ 000$) există, teoretic, mai multe posibilități de a determina coeficientul lui Darcy λ :

- în literatura de specialitate, pentru GPL [24] și pentru gaze naturale [86] se indică aceeași formulă a lui Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71d} \right) \quad (6.5)$$

cu indicarea pentru k , rugozitatea absolută, valoarea de $k = 0.005\text{ mm}$, (dacă diametrul interior „ d ” este exprimat în [mm], pentru conducte de oțel.

- în lucrările consacrate calculelor de rezistențe hidraulice [87] al conductelor de secțiune circulară cu pereți netezi se recomandă după formula Filonenko-Altșul.

$$\lambda = \frac{1}{(1.8 \lg Re - 1.64)^2} \quad (6.6)$$

În figura 6.21 s-au trasat diagramele de variație a coeficientului de frecare în funcție de numărul Reynolds, după cele două relații de mai sus (6.5,6.6) și cele determinate experimental.

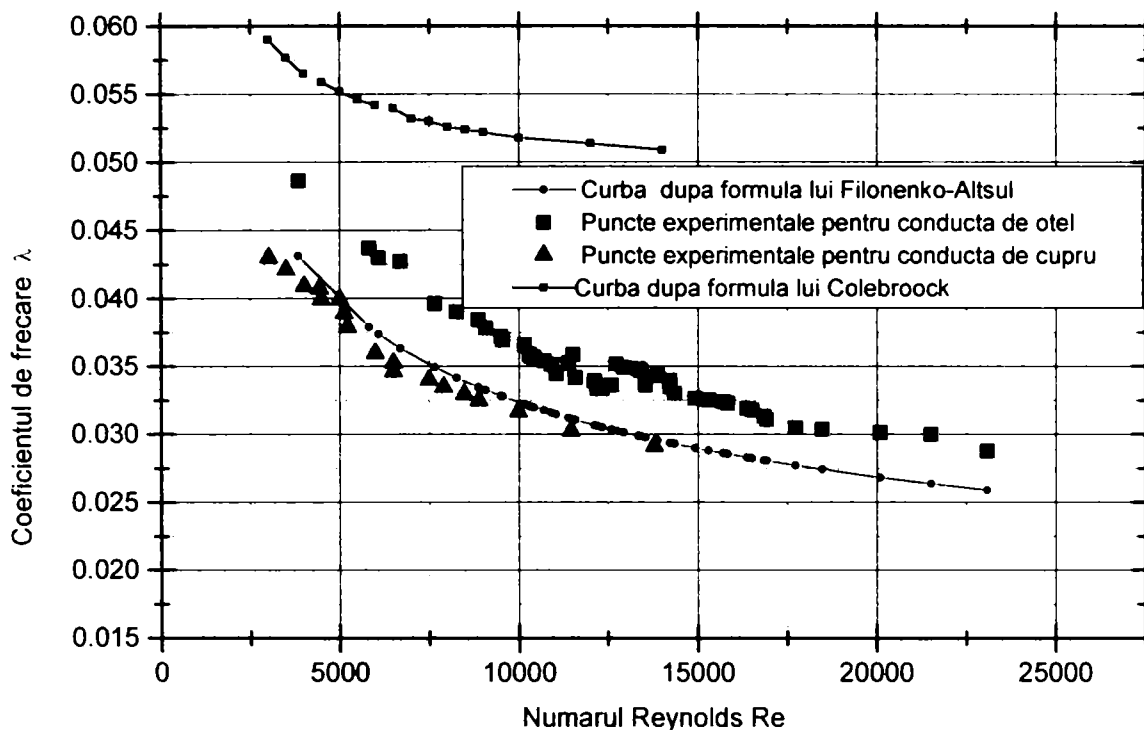


Fig.6.21. Variația coeficientului de frecare în funcție de numărul Reynolds

Se constată că, valorile pentru coeficientul de rezistență la frecare găsite experimental, pentru cupru, se apropie destul de mult de relația recomandată de Filonenko-Altsul, dar valorile pentru conductă de oțel sunt cu 18-20 % mai mari decât valorile după formula Filonenko-Altsul și mai mici decât cele indicate de literatura de specialitate, pentru gaze naturale sau GPL, cu formula lui Colebrook. Acest lucru este în avantajul proiectanților de GPL, tentația fiind aceea de utilizare a formulei lui Colebrook; formulă preluată și de puțina literatură de specialitate în GPL, fără încercări prealabile.

Debitul de vapori de GPL furnizat de un rezervor

În timpul cercetărilor făcute cu rezervorul de 1750 litri s-a căutat să se consume debitul cel mai mare de gaz pe care putea să-l furnizeze rezervorul. Pentru acesta arzătoarele nu au fost utilizate cu diuze, urmărindu-se o ardere perfectă și capacitatea de distribuție de GPL dintr-un rezervor. Prin noțiunea de *debit maxim de vapori de GPL furnizat* (prin vaporizare naturală), de un rezervor mic cu GPL, se înțelege debitul pe care îl poate asigura rezervorul la o funcționare continuă astfel ca presiunea la arzătorul consumatorului să fie constantă, pentru o temperatură exterioară constantă.

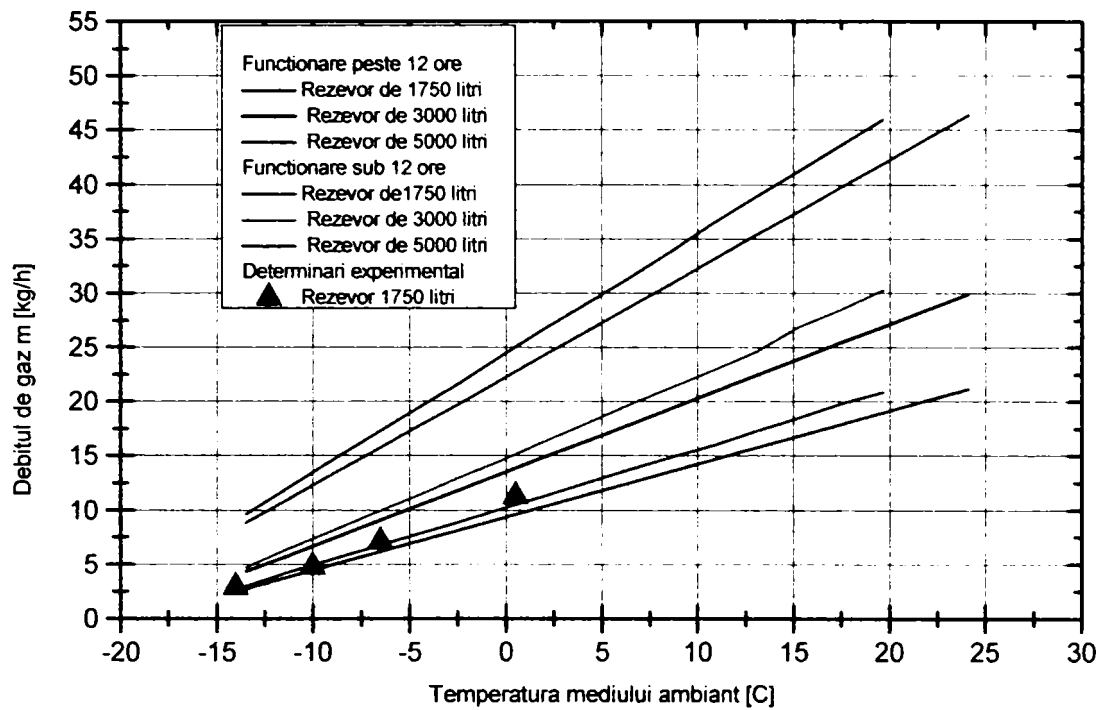


Fig.6.22. Debitul de gaz furnizat de rezervoarele de GPL

În fig.6.22 s-au trasat aceste curbe; experimental s-au verificat, la SC Sistemgas Timișoara, pentru câteva temperaturi, debitul furnizat continuu timp de 12 ore, la o încărcare de 35-25% din rezervor. Se menționează, în literatura de specialitate [1.2.3.37], că valorile din diagrama de mai sus nu mai sunt valabile când cantitatea de lichid din rezervor coboară sub 25% din volumul rezervorului. Din acest motiv, pe indicatorul de nivel al rezervorului s-a trecut un câmp roșu, de atenționare, pentru volumul sub 20%, pentru ca beneficiarul să solicite alimentare cu GPL; sub acest volum există riscul, funcție de temperatura exterioară, să nu se mai furnizeze *debitul maxim* la presiunea prescrisă. Pentru rezervorul de 1750 litri într-adevăr valoarea de 4kg/h, determinată analitic, se confirmă și prin cercetări experimentale.

Deci există o bună corespondență între determinările experimentale și cele obținute prin calcule cu programul VAPGPL

Celelalte mărimi determinate experimental, care s-au putut compara cu mărimi determinate analitic sau cu cele din literatura de specialitate, cum ar fi: densitatea autogazului lichid (fig.4.3), tensiunea vaporilor de GPL (Fig.4.5), tensiunea vaporilor de

propanul comercial utilizat la încercările din laboratorul Sistemgas Timișoara, au fost analizate în capitolele respective (Cap.4 și 6),.

6.3.3. Concluzii privind determinările experimentale

Încercările efectuate pe stand au fost complexe; s-a urmărit să se verifice cât mai mulți parametri. Standul a fost echipat cu câte două rânduri de aparate de măsură, etalonate și verificate înainte de fiecare încercare; acest lucru a permis să se determine cu o precizie destul de mare mărimile necesare pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor de GPL.

Mărimile obținute experimental, prelucrate și comparate cu cercetările teoretice au demonstrat o bună corespondență între ele; acest lucru confirmă corectitudinea programului VAPGPL și permite utilizarea lui la alte tipuri de rezervoare supraterane și prognoza altor situații .

Parametrii cercetați și determinați prin cele mai multe măsurători au fost parametrii pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor autonome de GPL-tip Sistemgas care nu puteau fi riguros determinați din literatura de specialitate cum ar fi: căderile de presiune pe instalațiile proprii, (coeficienți de pierdere liniară), variația în timp a debitului de gaz furnizat de rezervoarele mici, variația presiunii și a temperaturii în rezervor, etc.

Aceste cercetări vor fi continuate mai ales în plaja care poate genera îmbunătățiri ale instalațiilor și reducerea costurilor.

6.3.4 Calculul erorilor

6.3.4.1. Erorile de măsurare și propagarea lor

În cazul efectuării unei măsurări, rezultatul acesteia poate fi considerat ca exact numai când coincide cu valoarea reală a mărimii măsurate.

Rezultatul unei măsurări se abate întotdeauna, mai mult sau mai puțin, de valoarea reală a mărimii măsurate, pentru că erorile sunt inevitabile unei măsurări.

Se știe că erorile pot fi :

- erori sistematice ale metodei de măsură și ale instalației de măsurat,
- erorile aparatului,
- influența mediului înconjurător,
- erori de citire, etc.

Erorile de citire sunt erori întâmplătoare. Ele sunt erori subiective și iau naștere în procesul citirii unei valori măsurate de către un observator.

Dacă mărimile afectate de erori se adună sau se scad atunci erorile sistematice " δ_m " se adună respectiv se scad, în timp ce erorile întâmplătoare " Δ_m " se adună după o relație pătratică de forma : [92]

$$\Delta_x = \sqrt{\Delta m_1^2 + \Delta m_2^2 + \dots + \Delta m_n^2} \quad (6.7)$$

Dacă - x- rezultă ca un produs al unor mărimi afectate de erori, eroarea relativă va fi:

$$\frac{\Delta x}{x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m_1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_2}{m_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta m_n}{m_n}\right)^2} \quad (6.8)$$

iar eroarea sistematică relativă- $\delta x/x$ - va fi :

$$\frac{\delta x}{x} = \frac{\delta m_1}{m_1} + \frac{\delta m_2}{m_2} + \dots + \frac{\delta m_n}{m_n} \quad (6.9)$$

Dacă "x" se obține din raportul a două produse de forma :

$$x = \frac{m_1 \cdot m_2 \dots m_n}{n_1 \cdot n_2 \dots n_p} \quad (6.10)$$

Se obțin erorile finale relative de forma :

$$\frac{\delta x}{x} = \left(\frac{\delta m_1}{m_1} + \frac{\delta m_2}{m_2} + \dots + \frac{\delta m_n}{m_n} \right) - \left(\frac{\delta n_1}{n_1} + \frac{\delta n_2}{n_2} + \dots + \frac{\delta n_p}{n_p} \right) \quad (6.11)$$

respectiv:

$$\frac{\Delta x}{x} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta m_i}{m_i} \right)^2 + \sum_{j=1}^p \left(\frac{\Delta n_j}{n_j} \right)^2} \quad (6.12)$$

În cazul unei mărimi determinate prin calcul, pe baza altor mărimi măsurate direct, eroarea funcției depinde de erorile variabilelor respective.

Se poate demonstra [93] că eroarea probabilă a unei funcții de mai multe variabile

$$f = f(x, y, z, \dots) \quad (6.13)$$

are forma :

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \Delta y^2 + \dots} \quad (6.14)$$

unde Δf este eroarea probabilă a funcției, iar Δx și $\Delta y, \dots$ sunt erorile variabilelor.

6.3.4.2. Abaterile mărimilor măsurate direct și calculate

Mărimile măsurate direct în cursul încercărilor au putut fi stabilite cu următoarele abateri :

- temperaturile cu ajutorul termometrelor numerice [77] și cu mercur, cu o abatere de $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$, clasa de precizie 1;

- presiunea micromanometrelor diferențiale de pe diafragmă cu o abatere de $\pm 0,5$ mmAlcool, clasa de precizie 2;

- presiuni diferențiale de pe circuitul de gaz, la manometrele cu tub U cu o abatere de $\pm 0,5$ mmAlcool , clasa de precizie 2;

- presiuni de pe circuitele de gaze la manometre cu element, cu o abatere de $\pm 0,5$ mbar, clasa de precizie 2;

- presiunea din rezervor și la ieșire $\pm 0,1$ bar, clasa de precizie 3;

Cu relațiile și mărimile de mai sus se obțin:

- eroarea absolută de măsurare a temperaturii la -15°C este [103]:

$$\Delta t = \pm \left(\frac{1}{100} 15 + \frac{0,05}{2} \right) = \pm 0,175$$

- iar cea relativă

$$\frac{\Delta t}{t} = \pm \frac{0,175}{15} \cdot 100 = \pm 1,167 \%$$

- eroarea absolută de măsurare a presiuni la $p=1,5$ bar mbar, precizie 2, [103]

$$\Delta p = \pm \left(\frac{2}{100} 1,5 + \frac{0,05}{2} \right) = \pm 0,055$$

- iar cea relativă

$$\frac{\Delta p}{p} = \pm \frac{0,055}{1,5} \cdot 100 = \pm 3,66 \%$$

- eroarea absolută de măsurare a presiuni la diafragma, 100 mAlcool, precizie 2,

$$\Delta p_d = \pm \left(\frac{2}{100} 100 + \frac{0,5}{2} \right) = \pm 2,25$$

- iar cea relativă

$$- \frac{\Delta p_d}{p_d} = \pm \frac{2.25}{100} \cdot 100 = \pm 2.25 \%$$

Pentru propagare a erorilor la debitul m ,

$$m = \alpha \cdot \varepsilon \cdot k_t \cdot A \cdot \sqrt{2\rho\Delta p} \quad (6.15)$$

unde: $\Delta p = p^I_{II} - p^{II}_{II}$ este căderea de presiune activă pe diafragmă.

Logaritmăm ecuația și obținem:

$$\ln m = \ln \alpha + \ln \varepsilon + \ln k_t + \ln A + \frac{1}{2} \ln 2 + \frac{1}{2} \ln \rho + \frac{1}{2} \ln(\Delta p) \quad (6.16)$$

α , ε , k_t , 2 – sunt constante, deci:

$$\frac{dm}{m} = \frac{d\alpha}{\alpha} + \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{dk_t}{k_t} + \frac{dA}{A} + \frac{1}{2} \frac{d\rho}{\rho} + \frac{1}{2} \frac{d\Delta p}{\Delta p} \quad (6.17)$$

Cu cantități finite mici relația devine:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{1}{2} \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{1}{2} \frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta p} \quad (6.18)$$

Având în vedere că $A = \frac{\pi d^2}{4}$ și Δp rezultă din p^I_{II} și p^{II}_{II} măsurate separat, relația devine:

$$\frac{\Delta m}{m} = 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{1}{2} \frac{\Delta \rho}{\rho} + 2 \frac{1}{2} \frac{\Delta p}{p} \quad (6.19)$$

Întrucât la măsurătorile practice s-a folosit relația (6.15), rezultată dintr-un calcul de proiectare al diafragmei că:

$$\frac{\Delta m}{m} = 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{1}{2} \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta p}{p} \quad (6.20)$$

unde d s-a măsurat cu un șubler cu clasa de precizie 0,1. Atunci:

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta d_1}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_2}{d}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\frac{\Delta d}{d} = 0,3\%$$

- eroarea relativă procentuală de debite va fi:

$$\frac{\Delta m}{m} = \pm \sqrt{4\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_d}{p_d}\right)^2}, \text{ rezultă } \frac{\Delta m}{m} = \pm 2,26\%$$

CAPITOLUL 7

CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1. CONCLUZII

Lucrarea *Contribuții la studiul utilizării gazelor petroliere lichefiate în sisteme autonome* are la bază activitatea managerială începută din anul 1994 și de cercetare de peste 10 ani a autorului la firma S.C. Sistemgas Timișoara. Teza de doctorat a putut fi elaborată datorită climatului de cercetare existent în firma sus menționată și datorită colaborării contractuale a întreprinderii Sistemgas (concretizat prin trei contracte de cercetare) cu Departamentul de Mașini Termice și Transporturi, Facultatea de Mecanică, Universitatea Politehnică din Timișoara.

Cercetările teoretice (mai puțin în domeniul proprietăților termofizice ale gazelor petroliere lichefiate și complexe în domeniul vaporizării amestecului binar propan-butan) au fost completate de cercetări experimentale și rezultatele au fost comparate nu numai între ele dar și cu valori (acolo unde existau) din literatura de specialitate.

Încercările efectuate pe stand au permis să se determine mărimile necesare pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor de GPL; încercările au fost complexe, dar și costisitoare în același timp și dificile având în vedere condițiile vitrege de temperaturi mult sub 0 °C.

Cercetările au vizat mai ales parametrii importanți din exploatarea sistemelor autonome cu GPL, fără vaporizatoare, ca de exemplu: presiunea din rezervor, coeficienții de frecare la diferite tipuri de conducte, debitul de gaz furnizat continuu de rezervor la temperaturi joase, presiunea gazului la consumator, etc.

Aceste cercetări vor fi continuate în plaja care poate genera îmbunătățiri ale instalațiilor și reducerea costurilor.

Din analiza lucrării se desprind următoarele concluzii:

- literatura de specialitate, cu excepția informațiilor cu caracter general, fiind săracă în informații, numai un studiu aprofundat, de specialitate, a putut rezolva

multiplele probleme ale sistemelor autonome de GPL, mai ales cele legate de instalațiile fără vaporizatoare precum și problemele legate de optimizarea instalațiilor de GPL ,

- raportul C_3/C_4 a gazelor petroliere lichefiate se stabilește în funcție de utilizarea gazului. Pentru rezervoare supraterane fixe, raportul C_3/C_4 trebuie astfel ales încât conținutul recipientului să se vaporizeze în totalitate, asigurând în același timp o presiune suficientă unei utilizări satisfăcătoare,

- mărimea rezervorului de stocare de GPL și caracteristicile armăturilor sunt stabilite pe bază de calcul, în funcție de zona geografică (temperatura minimă a mediului înconjurător), astfel încât să se asigure funcționarea simultană a tuturor aparatelor la puterea maximă în condiții climaterice dificile,

- proprietățile termofizice ale unui amestec dat se pot determina fie teoretic cunoscând exact compoziția amestecului, fie prin determinări experimentale.

În general se poate spune despre GPL că:

- nu este otrăvitor; totuși are proprietăți anestezice și este bine să se evite inspirarea lor,
- în fază lichidă, din cauza evaporării lui rapide, dacă vin în contact cu epiderma pot provoca leziuni de o anumită gravitate,
- în faza gazoasă este mai greu decât aerul: de aceea, se adună în zonele cele mai joase ale mediului în care se găsește; când este prezent în faza gazoasă în atmosferă, tinde să se depoziteze pe sol și poate forma amestecuri inflamabile.

Utilizarea G.P.L.-ului ca și combustibil oferă posibilitatea reducerii poluării printr-un consum mai mic de combustibil, datorită unui randament mărit și impact mai mic asupra ecosistemului. Absența plumbului, aditivilor și a particulelor materiale și prezența foarte scăzută a anhidridelor sulfuroase, de oxid de azot, etc. precum și alte avantaje fac din GPL un *combustibil verde*.

Dacă se ține cont de faptul că pe piața Europeană GPL va crește într-un ritm de 5% pe an, principala motivație a acestei creșteri fiind emisiile reduse ale automobilelor alimentate cu autogaz și că până în anul 2020 consumul de GPL în lume va crește apreciabil și probabil se vor căuta și alte tehnologii de producție a GPL din hidrocarburi cu greutate moleculară mai mare, atunci preocupările pentru studiul acestui produs, relativ nou pe piața românească, merită toate eforturile. Teza de doctorat prezentată mai sus se înscrie în acest efort de reducerea noxelor din atmosferă; noxe care se datorează

proceselor de ardere a combustibililor clasici. Combustibilii clasici emit în atmosferă anhidride carbonice și sulfuroase, oxizi de azot și carbon și particule materiale.

Lucrarea vine în sprijinul creșterii confortului casnic prin asigurarea unui agent termic furnizat de microcentrale care folosesc acest combustibil și în sprijinul întreprinderilor mici și mijlocii în zonele unde gazul metan nu se poate distribui.

În multe țări din UE accizele sunt foarte scăzute pentru stimularea consumului de GPL. Și în țara noastră ar trebui făcute eforturi pentru popularizarea avantajelor utilizării gazelor petroliere lichefiate, adaptate legi care să încurajeze utilizarea GPL-ului, micșorarea accizelor, etc.

7.2. CONTRIBUȚII PERSONALE

Prin cercetările efectuate, autorul tezei a reușit să găsească răspunsul la multe întrebări pe care literatura de specialitate nu le poate furniza, cum ar fi cele legate de funcționarea instalațiilor de GPL fără vaporizatoare, în climatul țării noastre.

Contribuțiile originale ale autorului în domeniul studiului utilizării gazelor petroliere lichide în sisteme autonome, se pot grupa în două mari clase și anume:

- contribuții teoretice contribuții experimentale

A) contribuții teoretice

Contribuțiile teoretice sunt legate de cercetări privind vaporizarea gazului petrolier lichefiat, în general, și în particular, tratarea teoretică a acestui combustibil ca un amestec binar de propan și butan. În acest context au fost realizate, pe lângă cercetările propriu-zise cu formule și relații de calcul și o serie de diagrame, cum ar fi:

- a) *diagrama p-x*, la diferite temperaturi (fig.5.2)
- b) *curba de echilibru, t-x*, la diferite presiuni, (fig.5.3, 5.4)
- c) *curba y-x* pentru presiunea constantă (fig.5. 5)

d) S-au stabilit ecuațiile care descriu fenomenul vaporizării amestecului binar de propan-butan într-un rezervor fără vaporizator. Ecuațiile diferențiale au fost rezolvate cu ajutorul metodei diferențelor finite MDF și s-a realizat un program de calcul, denumit în lucrare VAPGPL (anexa A.4); programul este scris în limbajul de programare Visual FORTRAN v. 6.0.

e) Programul de calcul permite variația multor parametrii (dimensiunile rezervorului, compoziția masică inițială a lichidului, proprietățile termo-fizice ale componentelor, temperatura mediului ambiant și a lichidului din rezervor, volumul de lichid din rezervor, debitul de gaz, etc.) și furnizează parametrii importanți (temperatura lichidului din rezervor, presiunea totală a gazului din rezervor, volumul de lichid din rezervor, concentrația masică de propan în lichidul rezidual, timpul de golire a rezervorului).

Rulând programul, s-au construit diferite diagrame teoretice:

g) *variația procentului din masă de lichid rezidual existent în rezervorul de GPL funcție de fracția masei de propan (fig. 5.7 și 5.8)*

h) *pentru rezervorul de 1750 litri s-au trasat variația în timp a volumului de lichid rezidual (fig. 5.14), a presiunii gazului în rezervor (fig. 5.15) a temperaturii (fig. 5.16), a concentrației de propan (fig. 5.16), etc.*

i) *pe baza studiilor și observațiilor făcute s-a explicat posibilitatea blocării reductorilor de presiune și în acest context s-au făcut o serie de recomandări practice de montare a conductelor în amonte și în aval de reductoare.*

B) contribuții experimentale

Încercările efectuate pe stand au permis să se determine mărimile necesare pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor de GPL.

Pe baza experimentărilor, a rezultatelor obținute și a studiilor, s-au întocmit următoarele diagrame practice :

j) densitatea autogazului lichid (fig. 4.4).

k) tensiunea vaporilor de GPL (fig. 4.5, 6.17),

Pe baza acestor studii, Sistemgas Timișoara a obținut licența de procesare a autogazului ca și combustibil conventional.

l) *s-au experimentat* doua tipuri de circuite; *circuit atipic*, cu regulatoarele montate unul după altul și *circuitul normal* și s-au explicat avantajele și dezavantajele practice.

m) *s-a reprezentat* variația temperaturilor din rezervorul de 1750 litri în diferite situații (funcție de cantitatea de lichid la începutul încercărilor și temperatura mediului ambiant) (fig. 6.11),

n) *s-a reprezentat* variația debitului de gaz și a suprapresiunii în conducta după regulatorul de înaltă presiune (fig. 6.13),

o) *s-a reprezentat* variația în timp a principalelor mărimi măsurate (suprapresiunea din rezervor, din conducte, suprapresiunea finală a gazului la consumator, debitul de gaz furnizat continuu de rezervor, densitatea gazului în conductă,

p) *s-au trasat* diagramele de variație a coeficientului de frecare în funcție de numărul Reynolds și s-a comparat cu valori din literatura de specialitate (fig. 6.16),

r) *s-au interpretat* toate datele experimentale *comparativ* cu datele din calcule sau din literatura de specialitate, rezultând o bună concordanță între cele două tipuri de valori, rezultat care permite simularea pe calculator a fenomenelor investigate și pentru alte tipuri de rezervoare și alte condiții, (fig. 6.19... 6.20),

s) *s-a stabilit* teoretic și s-a verificat experimental, care sunt *debitele de vapori de GPL furnizate* continuu de un rezervor mic cu GPL, (fig. 6.22), debit ce poate fi asigurat de rezervor la o funcționare continuă, astfel ca presiunea la arzătorul consumatorului să fie constantă, pentru o temperatură exterioară constantă (fig.6.21)

Pentru a realiza toate cele de mai sus a fost proiectată și realizată un stand complex de GPL.

Cercetările teoretice și experimentale au fost deja implementate în producție; rezultatele cercetărilor se regăsesc parțial și în cele 10 (zece) lucrări științifice publicate în reviste din țară sau cu ocazia diferitelor simpozioane științifice (v. Bibliografie 25, 68, 71, 75, 76, 81, 96, 98 ,99 104).

ANEXE CU DIAGRAME, TABELE ȘI NORMATIVE

Cuprins:

A1. CONSTANTA DE ECHILIBRU PENTRU PROPAN

A.2. CONSTANTA DE ECHILIBRU PENTRU IZOBUTAN

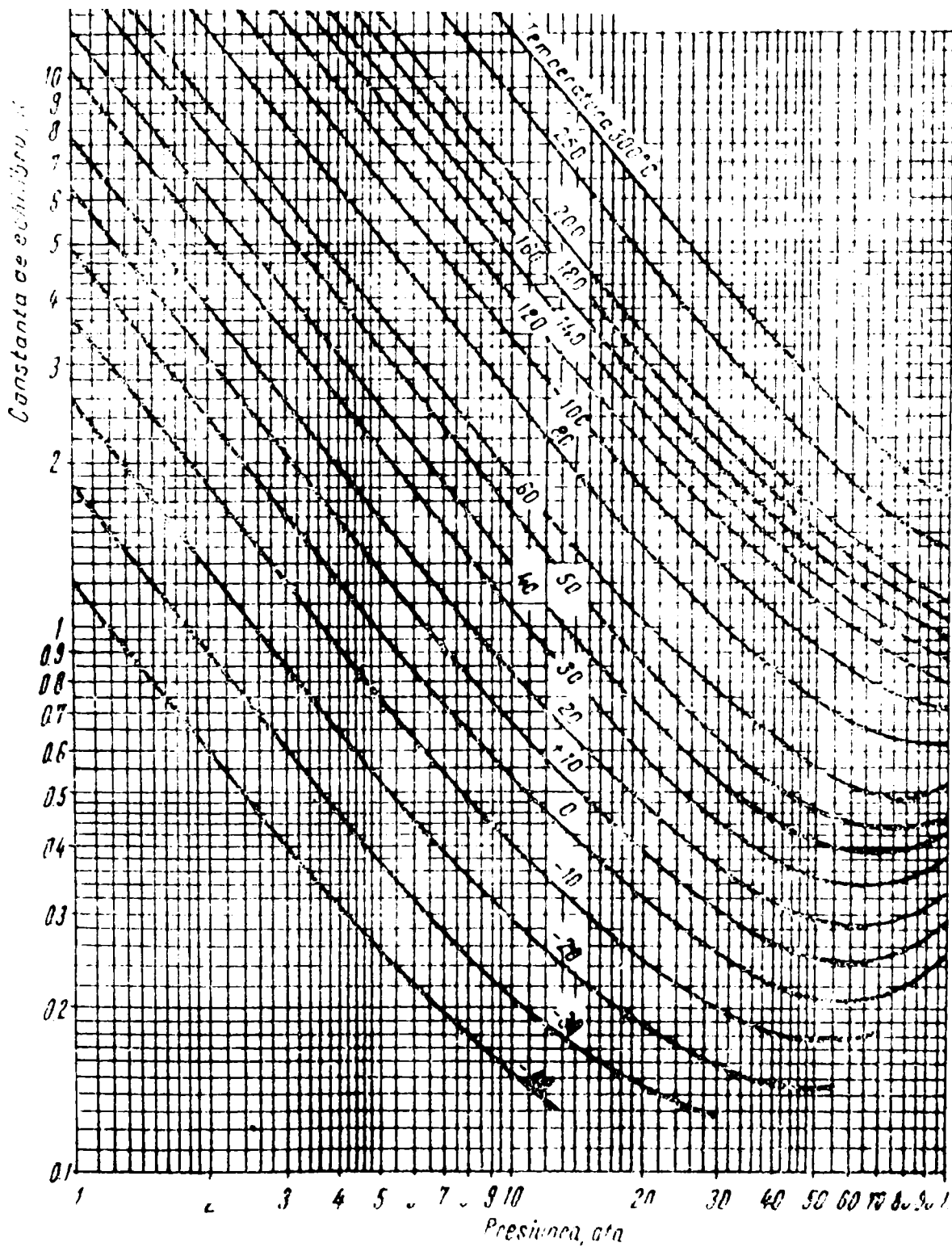
A.3. CONSTANTA DE ECHILIBRU PENTRU N-BUTAN

A. 4. PROPRIETĂȚILE VAPORILOR SATURAȚI DE PROPAN

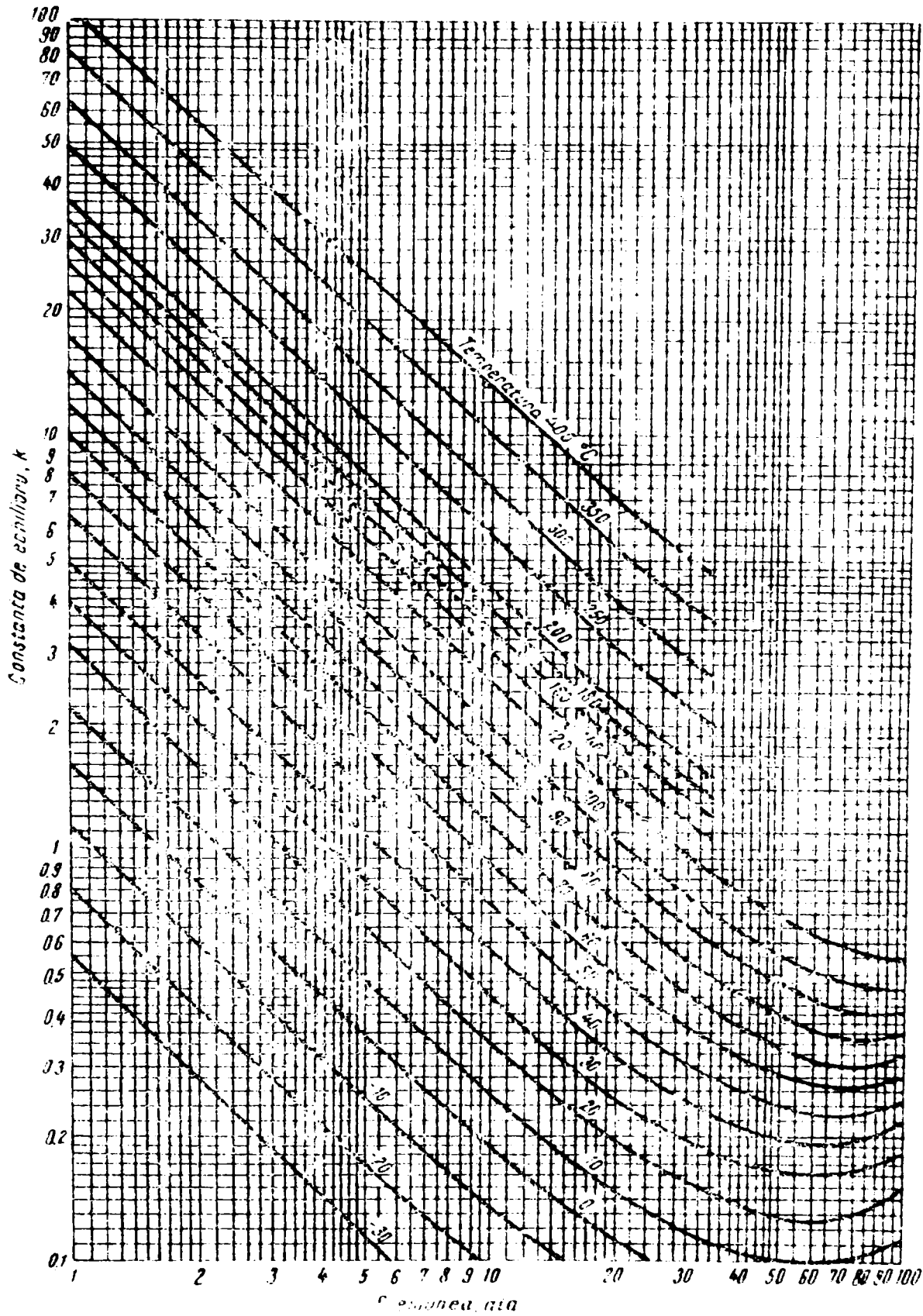
A. 5. PROPRIETĂȚILE VAPORILOR SATURAȚI DE IZOBUTAN

A .6. PROGRAMUL DE CALCUL VAPGPL

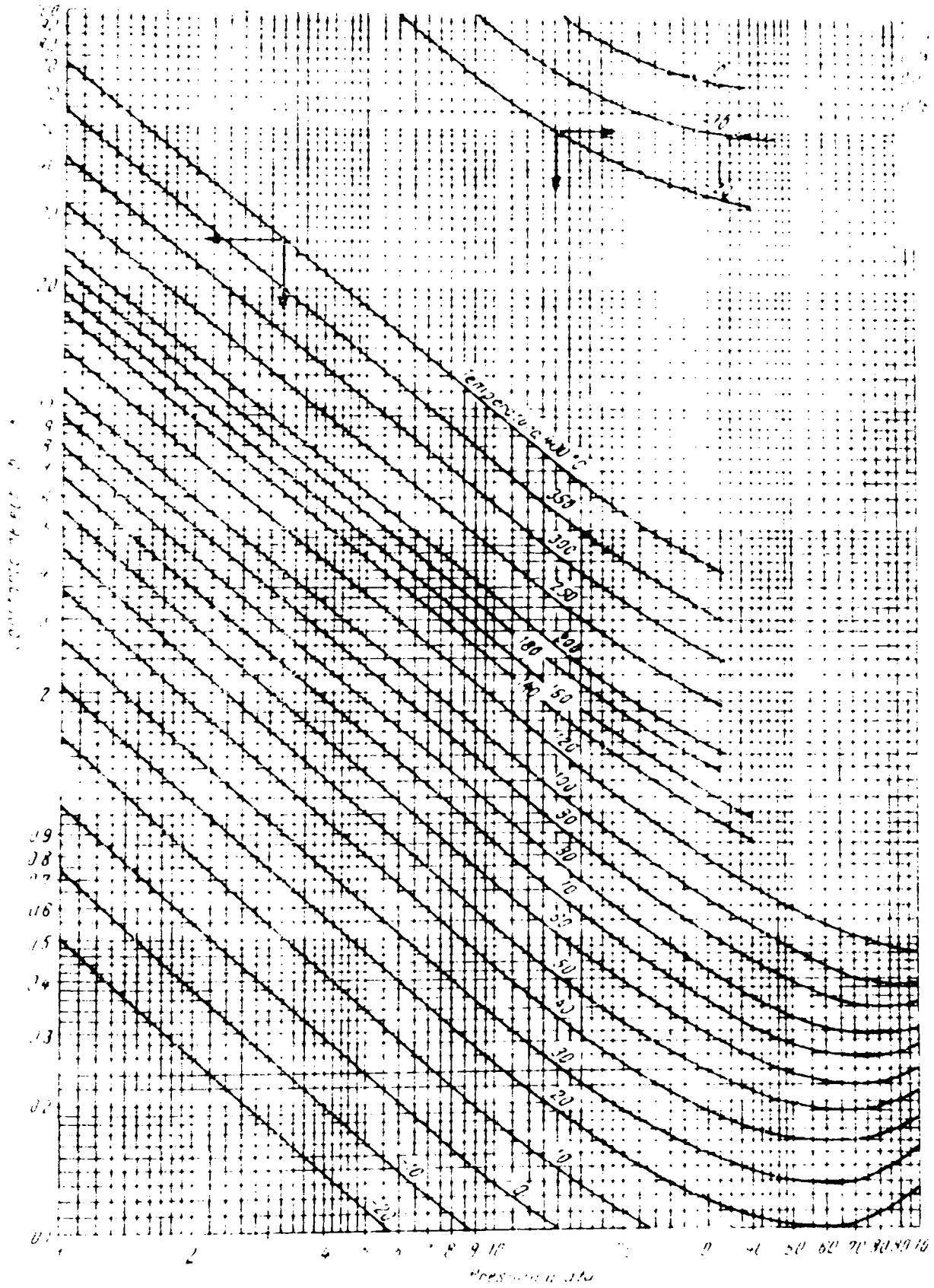
A.7. TABEL CU MĂRIMI MĂSURATE ȘI CALCULATE



A. 1. Constanta de echilibru pentru propan



A. 2. Constanta de echilibru pentru izobutan



A. 3. Constanta de echilibru pentru n-butan

A. 4. Proprietățile vaporilor saturați de propan

T	P	ρ'	ρ''	v	v''	i	i''	s	s''
°C	bar	kg/m ³	g/m ³	m ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kgK	kJ/kgK
-50	0,70706	591,0	1,725	0,001690	0,580	304,464	736,333	3,7208	5,6543
-45	0,89044	585,3	2,141	0,001707	0,467	315,308	742,362	3,7706	5,6421
-45	0,89044	585,3	2,141	0,001707	0,467	315,308	742,362	3,7706	5,6421
-40	1,11502	579,3	2,630	0,001725	0,380	326,487	748,935	3,8192	5,6312
-35	1,37881	573,5	3,145	0,001743	0,318	337,917	756,471	3,8673	5,6245
-30	1,67203	568,0	3,845	0,001761	0,260	349,263	763,505	3,9151	5,6187
-25	2,01723	561,7	4,651	0,001780	0,215	360,651	769,785	3,9632	5,6116
-20	2,42322	555,5	5,495	0,001799	0,182	371,955	775,353	4,0101	5,6032
-15	2,88904	549,3	6,427	0,001820	0,1556	383,260	781,215	4,0545	5,5952
-10	3,40487	543,0	7,595	0,001842	0,1318	394,773	787,077	4,0989	4,5894
-5	4,01484	536,7	8,826	0,001864	0,1133	406,496	792,101	4,1428	5,5810
0	4,68366	530,0	10,28	0,001887	0,0974	418,680	797,334	4,1868	5,5730
5	5,45348	523,0	11,82	0,001911	0,0846	430,905	802,275	4,2295	5,5668
10	6,33902	516,0	13,69	0,001935	0,0731	442,922	807,089	4,2722	5,5584
15	7,29811	509,0	15,65	0,001963	0,0639	455,273	811,904	4,3149	5,5530
20	8,33369	501,5	17,80	0,001992	0,0561	468,670	816,175	4,3576	5,5467
25	9,48891	494,0	20,20	0,002023	0,0495	480,393	820,487	4,4007	5,5416
30	10,80693	486,0	22,98	0,002055	0,0435	493,373	824,423	4,4439	5,5366
35	12,21909	477,7	25,97	0,002095	0,0385	507,147	828,233	4,4866	5,5283
40	13,73912	469,0	29,95	0,002135	0,0339	520,880	831,708	4,5289	5,5211
45	15,45528	459,5	33,11	0,002178	0,0302	535,408	835,602	4,5720	5,5153
50	17,26951	450,0	37,33	0,002222	0,0268	549,476	838,867	4,6151	5,5102

S-au notat cu:

t [C]- temperatura, p- presiunea totală, ρ' -masa specifică a lichidului la saturație, ρ'' - masa specifică a vaporilor la saturație, i' , i'' - entalpia masică la saturație, s' , s'' entropia specifică, etc.

A. 5. Proprietățile vaporilor saturați de izobutan

A. 5. Proprietățile vaporilor saturați de izobutan

Nr. crt.	t[C]	P[bar]	i''[kJ/kg]	i'[kJ/kg]	s''[kJ/kg]	s'[kJ/kg]
1	0	1	558.219	200	2.373	1
2	2		561.399	204.536	2.385	1.016
3	4		564.596	209.092	2.397	1.032
4	6		567.810	213.668	2.408	1.049
5	8		571.041	218.264	2.420	1.065
6	10		574.289	222.881	2.431	1.081
7	0	2	553.619	200	2.262	1
8	2		556.888	204.536	2.274	1.016
9	4		560.172	209.092	2.286	1.032
10	6		563.469	213.668	2.298	1.049
11	8		566.781	218.264	2.310	1.065
12	10		570.108	222.881	2.322	1.081
13	0	3	548.649	200	2.191	1
14	2		552.027	204.536	2.204	1.016
15	4		555.415	209.092	2.216	1.032
16	6		558.813	213.668	2.228	1.049
17	8		562.222	218.264	2.240	1.065
18	10		565.643	222.881	2.252	1.081

A.6. PROGRAMUL DE CALCUL**VAPGPL****c Modelarea fenomenului de schimb de căldură și vaporizare
din rezervorul GPL**

implicit double precision (a-z)

parameter (NMAX=100000)

integer i,j,k,k1

real ml,mrap

```
dimension A1(NMAX),t1(NMAX),t11(NMAX),t12(NMAX),intau(NMAX),
$      V1(NMAX),dV1(NMAX),nivel(NMAX),ml(NMAX),teta(NMAX),
$      s(NMAX),d(NMAX),dx(NMAX),c(NMAX),pl(NMAX),
$      umplichid(NMAX),umpgaz(NMAX)
```

```
OPEN(1,FILE='gplgeo.inp',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='gplx_tau.dat',STATUS='NEW')
OPEN(3,FILE='propan.inp',STATUS='OLD')
OPEN(4,FILE='butan.inp',STATUS='OLD')
OPEN(5,FILE='gplincond.inp',STATUS='OLD')
OPEN(6,FILE='gpl_rez.dat',STATUS='NEW')
```

```
READ(1,228) er,delta,Vrez
READ(3,229) rolprop,cplprop,lambdarez,Hlatevprop
READ(4,235) rolbut,cplbut,Hlatevbut
READ(5,230) dtau,tex,tlin,umplin,alfacint,alfacext,debitl,x0
```

k=20000

c participarea masica a isobutanului

x2=1.0-x0

c transformarea datelor initiale

```
debitl=debitl/3600.0
Vrez=Vrez*1e-3
  umplin=umplin/100.0
```

$$l = V_{rez} / (er^{**2} * 3.141592654)$$

c coeficientul global de schimb de caldura

$$U_l = (1.0 / \alpha_{facext} + \delta / \lambda_{bdarez} + 1.0 / \alpha_{facint})^{**} - 1.0$$

$$t_l(1) = t_{lin}$$

$$um_{lichid}(1) = um_{plin}$$

c proprietatile amestecului

$$r_{ol} = x_0 * r_{olprop} + x_2 * r_{olbut}$$

$$c_{pl} = x_0 * c_{plprop} + x_2 * c_{plbut}$$

$$H_{latev} = x_0 * H_{latevprop} + x_2 * H_{latevbut}$$

$$um_{pgaz}(1) = 1 - um_{lichid}(1)$$

c volumul (masa) lichidului, gazului

$$V_l(1) = um_{lichid}(1) * V_{rez}$$

$$m_l(1) = V_l(1) * r_{ol}$$

$$V_g = um_{pgaz}(1) * V_{rez}$$

do j=2,k

$$teta(j) = 2 * 3.141592654$$

c determinarea parametrilor geometrici

do i=1,10000

$$R = 2.0 * um_{pgaz}(j-1) * 3.141592654$$

$$R_{11} = teta(j) - \sin(teta(j))$$

$$R_{22} = R_{11} - R$$

if(R₂₂.lt.0.or.R₂₂.eq.0) goto 10

$$teta(j) = teta(j) - 0.01$$

end do

$$10 \quad teta(j) = teta(j) * 180.0 / 3.141592654$$

$$s(j) = er * teta(j) * 3.141592654 / 180.0$$

$$d(j) = er * \cos((teta(j) * 3.141592654 / 180.0) / 2.0)$$

$$c(j)=\sqrt{er^{**2}-d(j)^{**2}}$$

$$ml(j-1)=Vl(j-1)*rol$$

$$Ag=er^{**2}*(teta(j)*3.141592654/180.0- \\ \$ \sin(teta(j)*3.141592654/180.0))/2.0$$

$$Al(j)=(2*er*3.141592654*1+2*er^{**2}*3.141592654)-(Ag+s(j)*l)$$

c temperatura și presiunea din rezervor

$$tl1(j)=dtau*Hlatev*debitl/(ml(j-1)*cpl) \\ tl2(j)=U1*Al(j)*dtau*(tex-tl(j-1))/(ml(j-1)*cpl) \\ tl(j)=tl(j-1)-tl1(j)+tl2(j)$$

$$pl(j)=4.77595+0.14968*tl(j)+0.00143*tl(j)^{**2} \\ dx(j)=debitl*dtau/(rol*c(j)*l) \\ d(j)=d(j)-dx(j) \\ nivel(j)=er+d(j)$$

$$dVl(j)=debitl*dtau/rol \\ Vl(j)=Vl(j-1)-dVl(j) \\ umplichid(j)=Vl(j)/Vrez \\ umpgaz(j)=1-umplichid(j)$$

$$intau(j)=intau(j-1)+dtau$$

```
if(ABS(pl(j)-1.0).lt.0.1) then
k1=j
goto 20
endif
```

c determinarea part. masice a propanului

$$mrap=ml(j-1)/ml(1)$$

$$x1=0.80013+0.61724*mrap-1.0644*mrap^{**2}+ \\ @ 0.90171*mrap^{**3}-0.29485*mrap^{**4}$$

$$x2=1.0-x1$$

c proprietatile amestecului

$$rol=x1*rolprop+x2*rolbut$$

```

cpl=x1*cplprop+x2*cplbut
Hlatev=x1*Hlatevprop+x2*Hlatevbut

end do

20 do j=2,k1
write(2,227) intau(j)/3600.0,umplichid(j)*100,tl(j),pl(j),teta(j)
end do

write(6,231) Ul,debitl,intau(k1)/3600.0,umplichid(k1),x1

227 format(5F12.5)
228 format(////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4)
229 format(////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4)
230 format(////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4,
$ ////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4)
231 format(' k [W/m2K] = ',F12.4,/, ' debit [kg/s] = ',F12.6,/,
&' timp golire [ore] = ',F12.4,/, ' cant. lichid [%] = ',E12.4,/,
&' concentrația propan = ',F12.4)
235 format(////,D15.4,////,D15.4,////,D15.4)

```

A 7.

VALORI OBTINUTE ÎN URMA RULĂRII PROGRAMULUI VAPGPL ȘI PRIN ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE

Condițiile inițiale:

Temperatura mediului ambiant –14 °C

Temperatura lichidului –14,5 °C

Volumul inițial de lichid în rezervor 55%

Concentrația în propan a lichidului rezidual 94%

Rezultatele obținute sunt trecute în tabellele A7.1...A7.3

Tabela A7.1

Timpul [ore]	Volum lichid %	Temp lichid	Preiune gaz[bar]	concentrație propan
0.10000	54.79371	-15.07542	2.84445	0.94053
0.20000	54.58742	-15.64887	2.78382	0.94039
0.30000	54.38112	-16.22038	2.72432	0.94024
0.40000	54.17483	-16.78997	2.66595	0.94010
0.50000	53.96854	-17.35762	2.60870	0.93995
0.60000	53.76225	-17.92337	2.55256	0.93981
0.70000	53.55596	-18.48727	2.49752	0.93966
0.80000	53.34966	-19.04926	2.44357	0.93951
0.90000	53.14337	-19.60939	2.39069	0.93936
1.00000	52.93708	-20.16768	2.33888	0.93921
1.10000	52.73079	-20.72414	2.28813	0.93906
1.20000	52.52450	-21.27878	2.23843	0.93890
1.30000	52.31821	-21.83162	2.18976	0.93875
1.40000	52.11191	-22.38262	2.14212	0.93860
1.50000	51.90562	-22.93191	2.09550	0.93844
1.60000	51.69933	-23.47944	2.04988	0.93828
1.70000	51.49304	-24.02516	2.00527	0.93812
1.80000	51.28675	-24.56921	1.96164	0.93796
1.90000	51.08045	-25.11156	1.91900	0.93780
2.00000	50.87416	-25.65213	1.87732	0.93764
2.10000	50.66787	-26.19109	1.83661	0.93747
2.20000	50.46158	-26.72830	1.79685	0.93731
2.30000	50.25529	-27.26384	1.75804	0.93714
2.40000	50.04899	-27.79784	1.72016	0.93698
2.50000	49.84270	-28.33011	1.68321	0.93681
2.60000	49.63641	-28.86077	1.64718	0.93664
2.70000	49.43012	-29.38983	1.61206	0.93647
2.80000	49.22383	-29.91730	1.57784	0.93629
2.90000	49.01754	-30.44319	1.54452	0.93612
3.00000	48.81124	-30.96754	1.51208	0.93594
3.20000	48.39866	-32.01161	1.44984	0.93559
3.40000	47.98608	-33.04948	1.39105	0.93523
3.60000	47.57349	-34.08156	1.33564	0.93486
3.80000	47.16091	-35.10766	1.28358	0.93448
3.90000	46.95462	-35.61847	1.25878	0.93430
4.00000	46.74832	-36.12787	1.23480	0.93411
4.10000	46.54203	-36.63605	1.21161	0.93391
4.20000	46.33574	-37.14266	1.18923	0.93372
4.30000	46.12945	-37.64791	1.16764	0.93352
4.40000	45.92316	-38.15198	1.14683	0.93333
4.50000	45.71686	-38.65452	1.12681	0.93313
4.60000	45.51057	-39.15573	1.10755	0.93293

TABELUL A.7.2
TABEL CU MĂRIMI MĂSURATE ȘI CALCULAT
 pentru circuitul cu conducta de oțel

Nr.crt	Volum lichid %	Teperatur rezervor	Temp aer [C]	Pres rez [bar]	Debit gaz [kg/h]	Dens.gaz [kg/m ³]	Viteza [m/s]	Număr Reynolds	coeficient Frecare
1	65	-8.8	-6.5	2.5	19.31316	5.14664	2.05717	13919.05	0.03146
2	64.2	-9.6	-6.1	2.4	18.26158	5.14108	1.94726	27180.76	0.03316
3	64.5	-10.2	-5.6	2.3	16.60713	5.13108	1.7743	24766.45	0.03442
5	63.7	-11.2	-5.6	2.25	13.08961	5.25124	1.36649	19074.03	0.03692
6	63.4	-11.7	-5.5	2.15	11.40239	5.29246	1.18108	16486.03	0.03678
7	63	-12	-5.4	2.1	8.81788	5.38958	0.89691	12519.49	0.03877
8	62.5	-13.2	-5.3	1.95	5.97942	5.44683	0.60181	8400.267	0.04588
1	61	-8.3	-7.3	2.5	19.55754	5.1829	2.06862	28874.77	0.03789
2	60	-9.4	-6.9	2.48	17.82976	5.18545	1.88495	26310.97	0.03369
3	59	-10.2	-6.6	2.3	16.68411	5.19986	1.75894	24552.11	0.03215
4	58	-10.9	-6.8	2.27	15.2142	5.2336	1.59364	22244.67	0.0535
5	57	-11.6	-6.6	2.2	13.45854	5.27436	1.39884	19525.67	0.06014
6	56	-12.2	-6.7	2.05	11.46698	5.31419	1.18291	16511.61	0.06955
7	55.5	-12.5	-6.5	2	9.18935	5.35468	0.94079	13131.94	0.0382
1	55	-14.4	-13.7	1.85	19.50644	4.82434	2.21657	30939.84	0.03164
2	55	-16.5	-12.7	1.7	19.38139	4.50278	2.35963	32936.8	0.03301
3	55	-17.6	-12.1	1.6	19.31437	4.36429	2.42609	33864.5	0.03322
4	54	-19.4	-10.6	1.5	19.15483	3.98327	2.63621	36797.35	0.0327
5	53.5	-20.1	-10.5	1.4	18.98613	3.86737	2.69129	37566.28	0.0337
6	53	-20.9	-10	1.3	18.94307	3.68299	2.81962	39357.46	0.03312
7	52.5	-21.8	-9.3	1.2	18.76734	3.57587	2.87714	40160.42	0.03407
8	52	-22.4	-8.8	1.15	18.66347	3.4124	2.99828	41851.38	0.04636
9	51	-23.1	-8.8	1.1	18.60964	3.37401	3.02365	42205.46	0.03479
10	50	-24.2	-7.8	1.1	18.44214	3.19734	3.16201	44136.73	0.03438
1	49	-17	-0.975	1.65	19.56376	4.37107	2.45361	34248.57	0.02309
2	48	-18.1	-10.2	1.55	19.20113	4.13003	2.54867	35575.52	0.0241
3	47	-20.8	-11	1.4	19.16733	3.51928	2.98571	41675.92	0.0239
4	44	-24.2	-8	1.1	18.36982	2.99254	3.36516	46972.38	0.02595

TABELUL A.7.2 (continuare)

Nr.crt	Volum lichid %	Teperatur rezervor	Temp aer [C]	Pres rez [bar]	Debit gaz [kg/h]	Dens.gaz [kg/m ³]	Viteza [m/s]	Număr Reynolds	coeficient Frecare
1	42	-18.8	-16.4	1.5	19.3621	4.05127	2.62	36571.12	0.02325
2	41	-21.4	-15.5	1.2	18.9364	3.34225	3.10598	43354.7	0.02406
3	40	-23.9	-15.2	0.95	18.32056	2.80168	3.58476	50037.66	0.02442
4	38	-26	-13.2	0.9	17.60464	2.44628	3.94514	55067.97	0.02377
5	37	-28	-14.6	0.7	16.71346	2.21327	4.13974	57784.33	0.02386
6	36	-30	-11.1	0.62	15.12184	2.18967	3.78588	52844.98	0.02472
7	35	-30.8	-11.4	0.55	14.58454	2.19601	3.64082	50820.12	0.02576
1	34	-21.3	-18.5	1.25	19.07841	3.42479	3.05386	42627.08	0.0255
2	33	-23.2	-18.7	1	18.33952	3.08223	3.26185	45530.29	0.0276
3	33	-26.7	-15.4	0.8	16.38893	2.5157	3.57134	49850.37	0.02821
4	32	-28.7	-15.3	0.65	15.03491	2.48069	3.32253	46377.33	0.02739
5	31.5	-30.3	-13.9	0.6	13.64106	2.41363	3.09826	43246.87	0.02679
6	31	-31.8	-13.3	0.5	12.73944	2.44148	2.86047	39927.71	0.0246

TABELUL A7.3**VARIAȚIA VOLUMULUI DE LICHID, A TEMPERATURII ȘI PRESIUNII ÎN TIMP****Tabel cu mărimi măsurate și prelucrate**

Nr. crt	Timpul [ore]	Volum lichid în rezervor %	Temperatura lichid t[C]	Presiunea P [bar]	Cocentrație propan [%]
1	0.03333	54.93124	-14.69203	2.88552	94.063
2	0.06667	54.86247	-14.88383	2.86492	94.058
3	0.1	54.79371	-15.07542	2.84445	94.053
4	0.13333	54.72494	-15.26679	2.82411	94.048
5	0.16667	54.65618	-15.45793	2.8039	94.044
6	0.2	54.58742	-15.64887	2.78382	94.039
7	0.23333	54.51865	-15.83959	2.76386	94.034
8	0.26667	54.44989	-16.03009	2.74402	94.029
9	0.3	54.38112	-16.22038	2.72432	94.024
10	0.33333	54.31236	-16.41046	2.70474	94.02
11	0.36667	54.2436	-16.60032	2.68528	94.015
12	0.4	54.17483	-16.78997	2.66595	94.01
13	0.43333	54.10607	-16.97939	2.64674	94.005
14	0.46667	54.0373	-17.16861	2.62766	94
15	0.5	53.96854	-17.35762	2.6087	93.995
16	0.53333	53.89978	-17.54642	2.58987	93.991
17	0.56667	53.83101	-17.73501	2.57115	93.986
18	0.6	53.76225	-17.92337	2.55256	93.981
19	0.63333	53.69348	-18.11155	2.53409	93.976
20	0.66667	53.62472	-18.29952	2.51575	93.971
21	0.7	53.55596	-18.48727	2.49752	93.966
22	0.73333	53.48719	-18.6748	2.47942	93.961
23	0.76667	53.41843	-18.86212	2.46143	93.956
24	0.8	53.34966	-19.04926	2.44357	93.951
25	0.83333	53.2809	-19.23618	2.42582	93.946
26	0.86667	53.21214	-19.42289	2.4082	93.941
27	0.9	53.14337	-19.60939	2.39069	93.936
28	0.93333	53.07461	-19.79567	2.37331	93.931
29	0.96667	53.00585	-19.98178	2.35604	93.926
30	1	52.93708	-20.16768	2.33888	93.921
31	1.03333	52.86832	-20.35336	2.32185	93.916
32	1.06667	52.79955	-20.53883	2.30493	93.911

TABELUL A7.3 (continuare)

33	1.1	52.73079	-20.72414	2.28813	93.906
34	1.13333	52.66203	-20.90923	2.27145	93.901
35	1.16667	52.59326	-21.09411	2.25488	93.896
36	1.2	52.5245	-21.27878	2.23843	93.89
37	1.23333	52.45573	-21.46324	2.22209	93.885
38	1.26667	52.38697	-21.64754	2.20587	93.88
39	1.3	52.31821	-21.83162	2.18976	93.875
40	1.33333	52.24944	-22.0155	2.17377	93.87
41	1.36667	52.18068	-22.19917	2.15789	93.865
42	1.4	52.11191	-22.38262	2.14212	93.86
43	1.43333	52.04315	-22.56593	2.12647	93.854
44	1.46667	51.97439	-22.74902	2.11093	93.849
45	1.5	51.90562	-22.93191	2.0955	93.844
46	1.53333	51.83686	-23.11458	2.08019	93.839
47	1.56667	51.76809	-23.29712	2.06498	93.833
48	1.6	51.69933	-23.47944	2.04988	93.828
49	1.63333	51.63057	-23.66155	2.0349	93.823
50	1.66667	51.5618	-23.84346	2.02003	93.818
51	1.7	51.49304	-24.02516	2.00527	93.812
52	1.73333	51.42427	-24.20672	1.99062	93.807
53	1.76667	51.35551	-24.38807	1.97608	93.802
54	1.8	51.28675	-24.56921	1.96164	93.796
55	1.83333	51.21798	-24.75015	1.94732	93.791
56	1.86667	51.14922	-24.93096	1.9331	93.785
57	1.9	51.08045	-25.11156	1.919	93.78
58	1.93333	51.01169	-25.29196	1.905	93.775
59	1.96667	50.94293	-25.47214	1.89111	93.769
60	2	50.87416	-25.65213	1.87732	93.764
61	2.03333	50.8054	-25.83199	1.86364	93.758
62	2.06667	50.73663	-26.01164	1.85007	93.753
63	2.1	50.66787	-26.19109	1.83661	93.747
64	2.13333	50.59911	-26.37033	1.82325	93.742
65	2.16667	50.53034	-26.54937	1.81	93.736
66	2.2	50.46158	-26.7283	1.79685	93.731
67	2.23333	50.39281	-26.90702	1.78381	93.725
68	2.26667	50.32405	-27.08553	1.77087	93.72
69	2.3	50.25529	-27.26384	1.75804	93.714
70	2.33333	50.18652	-27.44205	1.74531	93.709
71	2.36667	50.11776	-27.62004	1.73268	93.703
72	2.4	50.04899	-27.79784	1.72016	93.698
73	2.43333	49.98023	-27.97543	1.70774	93.692

TABELUL A7.3 (continuare)

74	2.46667	49.91147	-28.15282	1.69543	93.686
75	2.5	49.8427	-28.33011	1.68321	93.681
76	2.53333	49.77394	-28.5072	1.6711	93.675
77	2.56667	49.70517	-28.68409	1.65909	93.669
78	2.6	49.63641	-28.86077	1.64718	93.664
79	2.63333	49.56765	-29.03725	1.63538	93.658
80	2.66667	49.49888	-29.21364	1.62367	93.652
81	2.7	49.43012	-29.38983	1.61206	93.647
82	2.73333	49.36135	-29.56581	1.60056	93.641
83	2.76667	49.29259	-29.7416	1.58915	93.635
84	2.8	49.22383	-29.9173	1.57784	93.629
85	2.83333	49.15506	-30.0928	1.56663	93.623
86	2.86667	49.0863	-30.2681	1.55553	93.618
87	2.9	49.01754	-30.44319	1.54452	93.612
88	2.93333	48.94877	-30.61809	1.53361	93.606
89	2.96667	48.88001	-30.79291	1.5228	93.6
90	3	48.81124	-30.96754	1.51208	93.594
91	3.03333	48.74248	-31.14196	1.50147	93.588
92	3.06667	48.67372	-31.31618	1.49095	93.582
93	3.1	48.60495	-31.49034	1.48052	93.577
94	3.13333	48.53619	-31.66429	1.4702	93.571
95	3.16667	48.46742	-31.83805	1.45997	93.565
96	3.2	48.39866	-32.01161	1.44984	93.559
97	3.23333	48.3299	-32.18496	1.4398	93.553
98	3.26667	48.26113	-32.35826	1.42986	93.547
99	3.3	48.19237	-32.53136	1.42001	93.541
100	3.33333	48.1236	-32.70427	1.41026	93.535
101	3.36667	48.05484	-32.87697	1.4006	93.529
102	3.4	47.98608	-33.04948	1.39105	93.523
103	3.43333	47.91731	-33.22193	1.38158	93.516
104	3.46667	47.84855	-33.39419	1.3722	93.51
105	3.5	47.77978	-33.56625	1.36292	93.504
106	3.53333	47.71102	-33.73811	1.35374	93.498
107	3.56667	47.64226	-33.90993	1.34464	93.492
108	3.6	47.57349	-34.08156	1.33564	93.486
109	3.63333	47.50473	-34.25298	1.32673	93.48
110	3.66667	47.43596	-34.42421	1.31792	93.473
111	3.7	47.3672	-34.59525	1.3092	93.467
112	3.73333	47.29844	-34.76625	1.30057	93.461
113	3.76667	47.22967	-34.93705	1.29203	93.455
114	3.8	47.16091	-35.10766	1.28358	93.448

TABELUL A7.3 (continuare)

115	3.83333	47.09214	-35.27807	1.27522	93.442
116	3.86667	47.02338	-35.44828	1.26696	93.436
117	3.9	46.95462	-35.61847	1.25878	93.43
118	3.93333	46.88585	-35.78847	1.2507	93.423
119	3.96667	46.81709	-35.95827	1.2427	93.417
120	4	46.74832	-36.12787	1.2348	93.411
121	4.03333	46.67956	-36.29746	1.22698	93.404
122	4.06667	46.6108	-36.46685	1.21925	93.398
123	4.1	46.54203	-36.63605	1.21161	93.391
124	4.13333	46.47327	-36.80505	1.20406	93.385
125	4.16667	46.4045	-36.97387	1.19661	93.378
126	4.2	46.33574	-37.14266	1.18923	93.372
127	4.23333	46.26698	-37.31127	1.18195	93.365
128	4.26667	46.19821	-37.47968	1.17475	93.359
129	4.3	46.12945	-37.64791	1.16764	93.352
130	4.33333	46.06068	-37.81612	1.16062	93.346
131	4.36667	45.99192	-37.98415	1.15368	93.339
132	4.4	45.92316	-38.15198	1.14683	93.333
133	4.43333	45.85439	-38.31962	1.14007	93.326
134	4.46667	45.78563	-38.48707	1.1334	93.319
135	4.5	45.71686	-38.65452	1.12681	93.313
136	4.53333	45.6481	-38.82178	1.1203	93.306
137	4.56667	45.57934	-38.98885	1.11389	93.299
138	4.6	45.51057	-39.15573	1.10755	93.293
139	4.63333	45.44181	-39.32242	1.10131	93.286

VARIAȚIA COEFICIENTULUI DE REZISTENȚĂ CU NUMARUL REYNOLDS
Mărimi calculate în urma cercetărilor experimentale

TABELUL A7.4

Nr curent	Conducta de oțel		Conducta de cupru	
	Re	λ	Re	λ
1	5818.85988	0.0437	3011	0.043
2	6698.45498	0.04272	3497	0.0421
3	8254.66169	0.039	4007	0.0409
4	9066.59563	0.0378	5123	0.0389
5	9540.22376	0.03695	4437	0.0407
6	10284.49654	0.03588	4993	0.0399
7	10690.46351	0.0354	4478	0.0399
8	11502.39744	0.03588	5991	0.03595
9	12314.33138	0.03336	6491	0.03524
10	12923.28183	0.03492	6499	0.03459
11	13870.53809	0.03432	7489	0.034
12	14344.16622	0.033	7892	0.03346
13	16374.00107	0.03192	8461	0.03295
14	16915.29036	0.03108	8872	0.03248
15	17727.22429	0.03048	9978	0.03164
16	18471.49707	0.03036	11453	0.03023
17	20095.36494	0.03012	13783	0.02909

**A 7.5. VARIAȚIA VOLUMULUI DE LICHID, A TEMPERATURII ȘI PRESIUNII GAZULUI
ÎN REZERVOR
ȘI A TEMPERATURII MEDIULUI AMBIANT ÎN TIMP**

Tabel cu mărimi măsurate și prelucrate

Nr. crt	Timpul [ore]	Volum lichid în rezervor %	Temperatura Exterioara t[C]	Temperatura lichid t[C]	Presiunea P [bar]	Cocentrație propan [%]
1	0.16667	54.65618	-14.00000	-14.96611	2.85612	0.94050
2	0.33333	54.31236	-13.76159	-15.89031	2.75857	0.94030
3	0.50000	53.96854	-13.26486	-16.76371	2.66862	0.94000
4	0.66667	53.62472	-12.78868	-17.58883	2.58565	0.93980
5	0.83333	53.28090	-12.33305	-18.36813	2.50907	0.93950
6	1.00000	52.93708	-11.89795	-19.10400	2.43836	0.93920
7	1.16667	52.59326	-11.48339	-19.79874	2.37302	0.93900
8	1.33333	52.24944	-11.08938	-20.45459	2.31260	0.93870
9	1.50000	51.90562	-10.71591	-21.07372	2.25670	0.93850
10	1.66667	51.56180	-10.36298	-21.65824	2.20493	0.93820
11	1.83333	51.21798	-10.03060	-22.21018	2.15694	0.93790
12	2.00000	50.87416	-9.71875	-22.73300	2.11228	0.93760
13	2.16667	50.53034	-9.42745	-23.22718	2.07079	0.93740
14	2.33333	50.18652	-9.15669	-23.69456	2.03220	0.93710
15	2.50000	49.84270	-8.90647	-24.13695	1.99624	0.93680
16	2.66667	49.49888	-8.67680	-24.55606	1.96269	0.93650
17	2.83333	49.15506	-8.46766	-24.95359	1.93133	0.93620
18	3.00000	48.81124	-8.27907	-25.33117	1.90197	0.93590
19	3.16667	48.46742	-8.11102	-25.69038	1.87441	0.93560
20	3.33333	48.12360	-7.96351	-26.03274	1.84849	0.93530

BIBLIOGRAFIE

- [1] ***** *Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de utilizare cu G.P.L*
Indicativ I 31/76.
- [2] ***** *Normativ pentru proiectarea și executarea sistemelor de alimentare cu G.P.L.*
Indicativ I 31/99.
- [3] ***** *Manuale G.P.L.*. Coprim Altavilla, Italy, 2002
- [4]***** *Liquigas. Manuale liquigas, Prima gaz energia, Italia 1976*
- [5] ***** *LPG equipments.* Coprim. Vicenza, Italy, Nr.12/2002
- [6] Suciuc, G.C. *Ingineria prelucrării hidrocarburilor, Vol. 4/ pag. 418*
- [7] Vintilă, St., s.a. *Instalații sanitare și de gaze. Îndrumător de proiectare*, Ed.Th., București, 1987
- [8]******Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția, repararea, utilizarea și verificarea buteliilor cu capacitate de până la 12 litri pentru gaz petrolier lichefiat, butan și propan. Prescripții I.S.C.I.R. C2-82*
- [9] IORDACHE V., *Reformularea produselor petroliere și alinierea lor calitativă la nivelul normelor Uniunii Europene.* Jurnalul de petrol și gaze, Nr.8(14), 2000. pg.48-50.
- [10] *****. *STANDARDUL EUROPEAN EN 589/2000. Combustibili pentru motoare cu ardere internă GPL. Cerințe și metode de testare.*
- [11] MUNTEANU, C., *GPL- carburant alternativ. Argumente, opțiuni, tendințe(I).* Info-GPL, Nr.8./ 2002, pg.11.
- [12] PREDĂ F. *GPL-carburant ecologic și eficient pentru vehicule.* Info-GPL, Nr.2./ 2000, pag.4.
- [13] HOORELBEKE POL *Siguranța în funcționare a autovehiculelor auto alimentate cu GPL(II).* Info-GPL, Nr.7./ 2002, pg.9-13
- [14] ALEXANDRU, D. *Manualul pentru instalarea, verificarea, umplerea recipientelor sub presiune cu gaz petrolier,* SISTEMGAS, Timișoara 1998, avizat I.S.C.I.R.
- [15] AMADEI, C. *GPL –Suport pentru dezvoltarea economică și reducerea poluării mediului.* Info-GPL, Nr.2./ 20

- [16] PECICAN, A, H. *Studiul si cercetarea unui m.a.s. funcționând cu gaze petroliere intr-un sistem cu utilizarea cat mai completa a energiei gazelor petroliere*. Timisoara 2001, teza de doctorat.
- [17] ZGAIA, I, R., *Evolutia prognozata a pietii de GPL*. Info-GPL, Nr.3./ 2001, pg.10.
- [18] MUNTEANU, C., *GPL- carburant alternativ. Argumente, optiuni, tendinte(II)*. Info-GPL, Nr.9./ 2002, pg.9.
- [19] AMADEI, C. *ARGPL –la trei ani de activitate* . Info-GPL, Nr.1./ 2000, pg.1
- [20] ***** *Ce este ARGPL*. Info-GPL, Nr.11/ 2003, pg.23-24.
- [21] *****. *Programe privind elaborarea de standarde si reglementari tehnice pe anul*
- [22] PREDA F. *Unele aspecte privind promovarea utilizării GPL la mijloacele de transport in comun.* . Info-GPL,
- [23] MUNTEANU, C., *Congresul AEGPL si Expozitia Internationala a GPL*. Info-GPL, Nr.5./ 2001, pg.17-23.
- [24]***** *Prescriptii tehnice pentru proiectarea, executia, instalarea, exploatarea, repararea si verificarea recipientelor stabile de stocare si alimentare a instalatiilor cu gaze petroliere lichefiate cu capacitatea pana la 5000 litri*. Prescriptii I.S.C.I.R. C8-97 .
- [25] ALEXANDRU, D., BOJAN, C. *Instalații GPL în întrebuințările particulare* Luc. Stin. Reșița 2000, Vol I.
- [26] ***** *Manuale pratico*, Pietro Fiorentini, (Piese pentru instalatii GPL) 1995. Milano
- [27] ***** SACIGAS. *Progettazione e costruzione impianti e apparecchiature per G.P.L. LP-GAS equipment buyer's guid.*, (Piese pentru instalații GPL), Fisher-Rosemount, 1996. Assago Milano
- [28] ***** *Manuale di instalatione e manutentione*, Antonoi Merloni, 1996.Fabriano .
- [29] ***** *Manuale per installatori di apparecchi di utilizzazione alimentati con gas di petrolio liqefatti*. Apigas,
- [30] ***** *Manuale perl'utente dei piccoli serbatoi per lo stoccaggio diGPL*, Apigas,
- [31] ***** *Manual pentru utilizatorii instalațiilor GPL cu rezervoare de capacitate până la 5000 litri*, Sistemgas.1999. Mirton Timișoara, .
- [32]***** *Manual pentru proiectarea, execuția si exploatarea sistemelor de distribuție a propanului*. IPIP.S.A

- [33]***** *Manual pentru proiectarea, execuția și exploatarea instalațiilor de utilizare a propanului*. IPIPS.A Ploiesti
- [34] ***** *STAS 4102 – 85 Piese pentru instalatii de legare la pământ de protecție*
- [35] ***** *Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția, instalarea, exploatarea, repararea, și verificarea recipientelor metalice stabile sub presiune*. Pr. I.S.C.I.R. C4-90
- [36] GOLOVANOV, E. ST, s.a. *Evaluarea riscurilor generate de descărcări electrostatice*. Editura Tehnica, Buc
- [37] ***** *Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția, montarea, exploatarea, repararea și verificarea conductelor tehnologice metalice pentru unele gaze lichefiate din industria chimică și petrochimică*. Prescripții
- [38] M. NAGI. *Calculul și construcția utilajelor și rețelelor termice*. Lito U.T.T.998
- [39] M. NAGI *.Calculul și construcția instalațiilor termice* Vol.I E. MURGU/1998.
- [40] M. NAGI *Utilaje termice*. Lito U.T.T. 1995
- [41] REYNOLDS, A.I. *Curgeri turbulente în tehnica*. Seria Termo-Frig.Ed.The. Bucuresti,1982.
- [42] IDELCIK, I.E. - *Îndrumător pentru calculul rezistențelor hidraulice*. Editura Tehnică, București 1984.
- [43]******Manual de instalatii*. Ed.Artecno. Buc. 2002
- [44] NEGREA V. D. , SANDU V. *Combaterea poluării mediului în transporturile rutiere*, Ed. Tehnică, Buc. 2000
- [45] VASILESCU A. C. – *Combaterea produșilor poluați emiși de motoarele autovehiculelor*, Ed. Acad. RSR. 1972
- [46] Arama C., Apostolescu N., Grunwald B. – *Poluarea aerului de către motoarele cu ardere internă*, Ed. Tehnica,
- [47] VASILESCU A. C., NASTASE M., TEODORESCU L. – *Rezultatele experimentale în legătură cu desfășurarea procesului de ardere în motoare cu ardere internă alimentate cu gaze petroliere lichefiate*, Rev. Construcții de
- [48] KARPOV V. – *Arderea amestecului de gaze în motoare*, Moskova, 1965
- [49] TOOR SAVADKOOCHI LOTFOLLAH – *Contribuții la studiul și cercetarea arderii în motoare cu aprindere prin scânteie alimentate cu gaze lichefiate*, Teză doctorat, Timișoara, 1980

- [50] *****. Normativul ISO4257/2001
- [51] *****. BEDINI. *Sistemi LPG e CNG per autoveicoli.. (Piese pentru instalatii GPL pe autovehicule)*, Modenar-Italy
- [52] *****. *Lovato Autogas. Guida Impianto Italia* 1996
- [53] ZECHERU, I., *Un combustibil ecologic-autogazul*. Info-GPL, Nr.12 / 2000, pg.11
- [54] HOORELBEKE POL *Siguranta in functionare a autovehiculelor auto alimentate cu GPL(III)*. Info-GPL, Nr.8/ 2002, pg.19.
- [55] *****. *Documentatia tehnica pentru obtinerea avizului I.S.C.I.R.* Proiect SKID, SISTEMGAS 1999.
- [56] IONESCU, R., *Solutii complete pentru echiparea statiilor de GPL.* . Info-GPL, Nr.5./ 2001, pg.9-12
- [57] ZECHERU, I., *Incadrarea GPL in prevederile regulamentelor privind transportul mărfurilor periculoase ADR/RID restructurat in 2001*. Info-GPL, Nr.11./ 2003, pg.6-8
- [58] M. NAGI, s.a, *Gazodinamica echipamentelor termice* E. MURGU/1999
- [59] EL. NEACSU, M. NAGI *.Tabele, Diagrame si Formule Termotehnice* Lito U.T.T/97
- [60] ***** *Normativ de proiectare, executare si exploatare a sistemelor de alimentare cu G.P.L. pentru autovehicule*, Indicativ NP-037/99. Buc.1999
- [61] MARIN LEPADATU. *Transportul rutier de mărfuri periculoase ADR* .Ed. I.F.P.T.R. Miercurea-Ciuc. 2000
- [62] JADANEANT, M., *Termotehnica si mașini termice*, Lito IPT 1996
- [63] PECULEA, M., *Instalații criogenice*. Ed. Conphys, 1997
- [64] V.I .ROBU, *Distilare –fracționare*. Ed.Tehnică. Buc. 1963.
- [65] V.I. ROBU, *Procese și aparate de separare în industria petrolului și petrochimiei*. Ed.Did. și Ped. Buc. 1968.
- [66] LECA, A. POP,M.G. s.a *Tabele, nomograme si formule termotehnice*. Vol I,II, Ed teh. Buc, 87
- [67] SCHWARCZENBERGER I.: *Diploma Thesis, Institut fur Technische Thermodynamik und Kaltetechnik*, Universitate Karlsruhe 1997
- [68] ALEXANDRU, D., NAGI M *The processing of autogas in S.C. SISTEMGAS TIMISOARA*, Conat 2004. Brasov

- [69] V.SOMOGHI. Proprietățile fizice utilizate în calcule termice și fluidodinamice. Univ. Petrol-Gaze. Ploiesti 1997
- [70] STEFANESCU, D, LECA A s a. Transfer de căldură și masă Ed Didactica și ped. Bucuresti. 1983.
- [71] ALEXANDRU, D., NAGI M Cercetări privind tensiunea vaporilor de autogaz Luc. Conf. Internat. UNIVERSITY'S DAY. Tg-Jiu24-25 mai 2002, ISBN
- [72] UNGUREANU.C., Combustibili, instalații de ardere și cazane. Ed. Politehnica.1998
- [73] KUZMAN RAZNJEVICI, Tabele și diagrame termodinamice. Ed. Tehnica. Buc.1978
- [74] UNGUREANU,C s.a/ Gaze combustibile. Ed. Politehnica.2003
- [75] ALEXANDRU, D., NAGI The utilisation of LPG as fuel for internal-combustion engines Conf STABILITY PACT particip internat, 2005 Timisoara, Vol 2. pg.141-144
- [76] NAGI, M., ALEXANDRU, D., Consideratii critice privind proprietățile termofizice ale autogazului Conf.Termo, ed.XIV cu particip internat. 2004, Bucuresti. A-34
- [77]***** Programma originale WICU, Prospect KMEuropa Metal AG, Milano, Italia
- [78] JADANEANT, M., Termodinamica tehnica Ed. Orizonturi Universitare 1998
- [79] **** *Stand pentru verificarea la deschidere-închidere a supapelor de siguranță.* Sistemgas Timisoara. Autorizatia Nr.IC 418 S-011/2003 ISCIR,
- [80] ***** *Cerinte tehnice privind utilizarea, repararea, verificarea, scoaterea din uz și casarea dispozitivelor de siguranță.* Colectia PT 7-2003 ISCIR,
- [81] ALEXANDRU, D., NAGI M., *Verificarea și încercarea supapelor de siguranță* Luc. Conf. Nat. Termo. 2003, Resita Vol I.Pag228
- [82] ***** *Dublul decalitrul etalon* Prospect, Societe Generale Impianti Gas SRL Milano, Italia, 1998
- [83] ******Prescripții tehnice pentru autorizarea personalului de deservire a instalațiilor mecanice sub presiune și instalațiilor de ridicat.* Colectia ISCIR,CR 5-2003.
- [84] ******Măsurarea cu ultrasunete a grosimii elementelor instalațiilor mecanice sub presiune și ale instalațiilor de ridicat* Colectia ISCIR, PT CR 12-2003.
- [85] ******Etalonarea și reglarea defectoscoapelor ultrasonice,* STAS R 12500/2-87
- [86]***** Normativ pentru proiectarea și executarea sistemelor de alimentare cu gaze naturale. Colectia ISCIR, I6-98

- [87] IDELCIK, I.E. - *Îndrumător pentru calculul rezistențelor hidraulice*. Editura Tehnică, București 1984.
- [88] BARBU, V., *Masini frigorifice*, Ed. Did. Ped. Buc. 1965
- [89] DRĂGOTESCU, N., ș.a. *Transportul pe conducte al țițeiului, gazelor și produselor petroliere*. Ed. Tehnica. 1984
- [90]] ***** *Cerințe tehnice privind amplasarea-instalarea, asamblarea, exploatarea, repararea, distribuția și verificarea instalațiilor de gaze petroliere lichefiate*. C 8-2003
- [91] ***** *Tabele cu proprietăți termofizice*. Cool pack V.1.46
- [92] TOLE, H. - *Măsurări în instalații termice*. Editura Tehnica Bucuresti, 1972.
- [93] WORTHING, A. GEFFNER - *Prelucrarea datelor experimentale*. Ed.Teh. Buc. 1959.
- [94] ******Măsurarea cu ultrasunete a grosimii elementelor instalațiilor mecanice sub presiune și ale instalațiilor de ridicat* Colectia ISCIR, PT CR 12-2003.
- [95] BICĂ, M., NAGI, M., *Transfer de masă și căldură*. Ed. Universitaria Craiova 1999
- [96] ALEXANDRU, NAGI, M., *GPL combustibil ecologic Conf. Nat. cu part Internat, Vol.V,Pg. 71,Sebes 2004*
- [97] CIAMBELLI, P s/a . *The risk of transportation of dangerous goods: Blevé in a tunnel FireDisasters- vol. X - n Annals of Burns and. 4 - December 1997*
- [98] NAGI. M., ALEXANDRU, D., *Research respecting lpg distribution, in gaseous phase, from set containers Bul. IP Iasi, TomL(LIV), Fasc.6C, Const. De . Mas. 2004-140*
- [99] NAGI, M., ALEXANDRU, D., *Consideratii critice privind proprietățile termo-fizice ale autogazului Conf.Termo, ed.XIV cu particip internat, 2004, Bucuresti, A-34*
- [100] PANTANKAR, S.V. *Numerical Heat Transfer*, Pergamon Press. 1980
- [101] BUHNER, K; MAURER, G; BENDER, E,*Pressure-enthalpy diagrams for methane, ethane, propane, ethylene and propylene*, Cryogenics. Vol. 21, pp. 157-64. Mar. 1981, www.schola.google.com
- [102] J. G. STIEHL, MERK HOBSON, JAMES H. WEBER *Differential heats of condensation and enthalpies of saturated liquid hydrocarbon mixtures* University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, www.3.intersciene.wiley.com
- [103] NEGREA, V.,D., *Bazele cercetării experimentale a motoarelor cu ardere internă și a autovehiculelor rutiere*. Ed. Eurostampa, Timișoara 2005
- [104] ALEXANDRU, D. NAGI, M., BICA., *Vaporizarea GPL, XII-a Conf. Buc.2005*

CURRICULUM VITAE

1. Name , surname: **ALEXANDRU DAN**
2. Date and place of birth: **16.03.1959 , Ramnicu-Sarat**
3. Current adress: **Bucuresti street nr.7, Timisoara**
4. Education: **Petroleum and Gases Institute , Ploiesti
Engineer , 1984 Series of graduates**
5. Work experience: **1984 - 1987 SCHELA DE PETROL
1987 – 1990 CHIMPEX CONSTANTA
1990 – 1993 PECO TIMISOARA
1993 – 1994 TIMIOILS SA TIMISOARA
1994 - 2005 General Manager of
SC SISTEMGAS SRL TIMISOARA**
6. Written Scientific Papers :
**13 ISSN/ISBN published Papers
6 prime author Papers
1 abroad written Paper**
7. Monographies
 1. **Setting, checking and filling pressurized containers with LPG, MANUAL**
 2. **Paper to be written : USING LPG IN AUTONOMOUS SYSTEMS**

TIMISOARA

16.11.2005