Ivanović Slaviša

PNEUMATIKA

SISTEMI, INSTALACIJE, MAŠINE, APARATI, UREĐAJI, ALATI, PRIBORI, NAPRAVE, KOMPONENTE, ODRŽAVANJE

AGM knjiga

2025

PNEUMATIKA
Prof. Ivanović Slaviša, dipl. maš. inž.

Recenzent:

Petar Ivanović, dipl. maš. ing.

Izdavač:

AGM knjiga d.o.o. Beograd - Zemun
www.agmknjiga.co.rs
email: agmknjiga@gmail.com
tel: + 381 11 26 18 554

Glavni i odgovorni urednik:
Slavica Sarić-Ahmić

Korice: *Robi Ahmić*
Štampa: *Birograf, Beograd*
Tiraž: 300
ISBN: 978-86-6048-061-5

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд
621.5/.6(075.8)(076)
621-85(075.8)(076)
532.5(075.8)(076)

ИВАНОВИЋ, Славиша, 1967-

Pneumatika : sistemi, instalacije, mašine, aparati, uređaji, alati, pribori, naprave, komponente, održavanje / Ivanović Slaviša. - Beograd : AGM knjiga, 2025 (Beograd : Birograf). - 214 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 300. - Bibliografija: str. 212-214.

ISBN 978-86-6048-061-5
a) Пнеуматика -- Вежбе b) Хидраулика -- Вежбе
COBISS.SR-ID 154490889

0.0. Predgovor

Praktikum je nastao kao težnja autora da napiše praktikum koji će pomoći prvenstveno učenicima i studentima da savladaju nastavni plan i program iz pneumatike i hidraulike a i drugim korisnicima će biti od velike pomoći u praksi.
Ovaj praktikum je namenjen učenicima za obrazovne profile u kojima se izučava pneumatika i hidraulika u cilju sticanja znanja, veština i navika neophodnih za obavljanje složenih i konkretnih zadataka u proizvodnji.

Praktikum je koncipiran tako da su u prvom delu data teorijska objašnjenja i demonstracije neophodne za razumevanje osnovnih veličina u pneumatici.

U drugom delu su data teorijska objašnjenja pneumatskih komponenata i veliki broj slika komponenata u cilju lakšeg rešavanja konkretnih problema u praksi.

Za pisanje je korišćena stručna, savremena i egzaktna literatura u štampanoj i elektronskoj formi koja je u priručniku i sistematski navedena!

Da bi ova knjiga našla mesto u školama i u proizvodnji, zahvaljujem se recenzentu Ivanović Petru, diplomiranom mašinskom inženjeru, profesoru mašinstva, dugogodišnjem inženjeru u proizvodnji u fabrici "Šamot" iz Aranđelovca i živoj enciklopediji iz oblasti mašinstva, elektronike i nekonvencionalnih postupaka obrade, koji je proverio sva teorijska objašnjenja i slike, a i dao je iskrene sugestije, da bi ovaj rukopis ugledao svetlost dana.

Posebnu zahvalnost izražavam svojim ćerkama Ivanović Tijani, apsolventu Pedagoškog fakulteta u Užicu i Ivanović Marti, master inženjeru Saobraćajnog fakulteta u Beogradu, na izvršenoj lekturi i korekturi teksta.

Aranđelovac, 2025. Prof. Slaviša Ivanović, dipl. maš.inž.

0.1. Sadržaj

1.0. Pneumatika/9
2.0. Uvod/9
3.0. Primena instalacija pneumatskih sistema/28
4.0. Pneumatika - Karakteristike/32
5.0. Kompresori/35
5.1. Klipni kompresori/37
5.2. Jednostepeni i višestepeni kompresori/41
5.3. Jednoradni i dvoradni kompresori/42
5.4. Membranski kompresori/43
5.5. Lamelasti krilni kompresori/45
5.6. Rutsov zupčasti kompresor/47
5.7. Vijčani zavojni kompresor/48
5.8. Rotacioni kompresor/50
6.0. Regulacija rada kompresora/52
7.0. Priprema vazduha pod pritiskom/53
8.0. Sušenje/hlađenje/54
9.0. Rezervoar za vazduh/spremnik/57
10.0. Razvođenje vazduha pod pritiskom/cevovodi/63
10.1. Vezivni elementi pneumatskog sistema/63
11.0. Priključci za cevi/68
12.0. Pripremne grupe/70
12.1. Filteri/71
12.2. Prečistač vazduha/73
12.3. OdvajačI kondezata/75
12.4. Regulator pritiska/77
12.5. Merači brzine fluida/79
12.6. Manometri/86
12.6. 1. Merni uređaji za merenje pritiska/87
12.6.2. Hidraulični manometer/89
12.6.3. Kosi manometer/92
12.6.4. Prstenasta vaga/93
12.6.5. Becov mikromanometar/93
12.6.6. Mehanički manometer/94
12.6.7. Burdonova cev/95
12.6.8. Membrana/97
12.6.9. Kapsula/98
12.6.10. Meh/99
12.6.11. Bartonova ćelija/102

12.6.12. Klipni merač pritiska/103
12.6.13. Elektronski manometer/103
12.6.14. Indukcioni manometer/104
12.6.15. Piezoelektrični merač pritiska/104
12.6.16. Kapacitivni merač pritiska/105
12.6.17. Piezorezistivni merač pritiska105
13.0. Zauljivač/106
14.0. Pneumatski cilindri/110
14.1. Horizontalni izvršni elementi/111
14.1.1. Cilindri sa dvostranom klipnjačom/111
14.1.2. Jednoradni cilindri/112
14.1.3. Membranski cilindri/114
14.1.4. Cilindar sa ublaživačima udara/115
14.1.5. Tandem cilindri/115
14.1.6. Teleskopski cilindar/117
14.1.7. Višepoložajni cilindri/118
14.1.8. Cilindar bez klipnjače/118
14.1.9. Magnetski cilindar/120
14.1.10. Cilindar sa uzdužnim prorezom/121
14.1.11. Cilindar sa trakom ili užetom/122
14.1.12. Udarni cilindri/122
15.0. Obrtni izvršni elementi/123
15.1. Zakretni cilindri/123
15.1.1. Cilindri sa ozubljenom letvom/123
15.1.2. Cilindri sa zaokrenutom pločom/124
16.0. Obrtni pneumatski motori/125
16.1. Klipni motori/126
16.2. Rotirajući /obrtni pneumatski motori/128
16.3. Lamelasti pneumatski motori/129
17.0. Razvodnici/131
17.1. Razvodnici sa slobodnim klipom/131
17.2. Razvodnik sa sedištem/134
17.2.1. Razvodnik sa kuglicom/134
17.2.2. Razvodnik sa tanjirićem/135
18.0. Ventili/143
18.1. Nepovratni ventili/144
18.2. Uslovno zaporni ventil - I ventil/146
18.3. Naizmenični ventil/146
18.4. Prigušno nepovratni ventil/148
18.5. Brzoispusni ventil/149

18.6. Ventil sa obostranim pritiskom/150
18.7. Ventil za pritiske/150
18.8. Ventil za ograničenje pritiska/151
18.9. Regulatori pritiska/151
18.10. Prosledni pritisni ventil/157
18.11. Uključni ventil/157
18.12. Protočni ventil/158
18.13. Slavine/160
18.14. Kombinovani ventili/161
18.15. Prigušivač zvuka/162
18.16. Ventil sigurnosti/162
18.17. Ventil - Razvodnik 5/4/163
19.0. Promenljivi davač taktova/163
20.0. Pojačivači pritiska/164
21.0. Pneumatsko - električni pretvarač signala/166
22.0. Pneumatsko upravljanje/167
23.0. Električni i elektropneumatski elementi/174
23.1. Bezkontaktni senzori/175
23.2. Induktivni prekidač/175
23.3. Optički senzori/176
23.4. Releji/176
23.5. Elektropneumatski ventili i pretvarači/178
24.0. Pneumatski alati/181
25.0. Vetrenjače/188
26.0. Simboli i nazivi hidrauličnih i pneumatskih komponenata/192
27.0. Simboli cevnih instalacija/197
28.0. Instalacije pneumatskog upravljanja/200
29.0. Održavanje gasovodnih sistema/203
30.0. Literatura/211

1.0. PNEUMATIKA

2.0. Uvod

Pneumatika: predstavlja deo mehanike fluida, koja izučava vazduh pod pritiskom. Industrijska pneumatika predstavlja deo mašinstva koja se bavi: proizvodnjom, skladištenjem, distribucijom, razvođenjem i primenom vazduha pod pritiskom. Radni fluid je isključivo atmosferski vazduh, mada može da bude i neki drugi gas. Vazduh pod pritiskom je jedan od najstarijih oblika energije. Svesno prihvatanje vazduha kao medija traje hiljadama godina. Ipak, tek od 1950. Može da se govori o stvarnoj primeni pneumatike u proizvodnji.

Danas, skoro sve faze rada fabričkih postrojenja zavise od vazduha pod pritiskom: pneumatski transport, pneumatski alati, obrada hrane i farmaceutskih proizvoda, bojenje sprejom, pogon i upravljanje mnogih mašina. Pneumatika je zajednički izraz za primenu pneumatskih elemenata radi obavljanja korisnog rada.

Što se tiče energije za obradu, ti resursi su sami prošli ceo razvojni put od snage mišića ljudi i životinja, pa preko snage vode i vetra, do početka prvog ozbiljnog koraka u eri mehanizacije:

/Denis Papin (Denis Papen) - Prva ideja parne mašine (1690),

/James Watt (Džems Vat) - Prva ozbiljna varijanta parne mašine (1765),

/Robert Fulton - Parobrod (1807),

/George Stephenson (Džordž Stivenson) - Parnjača (parna lokomotiva) (1814).

Navedeni veliki razvoj mehanizacije za sobom povlači i ubrzani razvoj niskogradnje (izgradnju puteva i tunela). Tako, prilikom probijanja tunela u masivima Alpa prvi se put koristio komprimovani vazduh. Pneumatika se u industrijske svrhe prvi put koristi u Parizu u drugoj polovini XIX veka. Sabijeni vazduh se proizvodio u centralnoj kompresorskoj stanici, snage oko 17000 kW ili oko 24000 KS a raspodela se vršila preko cevovoda prečnika od 300 mm. Dužina instalacije je iznosila oko 7 km.

Jedinstvenu celinu čine:

- Strana koja snabdeva (proizvodnja, priprema i distribucija),
- Pneumatski sistem kao potrošač.

Pneumatski sistemi mogu da rade:

- Na sabijeni vazduh (pod pritiskom),
- Na razređeni vazduh (vakuum).

Pozitivne osobine vazduha pod pritiskom:

- **Količina** - Neograničena, besplatan,
- **Transport** - Lak, nema povratni vod,
- **Akumulacija**- U rezervoarima ne mora kompresor da bude stalno u pogonu,
- **Temperatura** - Neosetljiv na temperaturne promene,
- **Siguran** - Nije eksplozivan, ni zapaljiv,
- **Čistoća** - Ne zagađuje okolinu,
- **Konstrukcija** - Jednostavna i jeftina,
- **Brzina** - Veoma velika, pa se postižu velike radne brzine.
- **Negativne osobine vazduha pod pritiskom:**
- **Priprema** - Zahteva pripremu zbog prisustva vlage i nečistoća,
- **Stišljivost** - Ekonomičan je samo do određene vrednosti pritiska(7 bara),
- **Cena** - Može da bude skup pri nepravilnoj upotrebi.
- **Pneumatski sistem** je skup elemenata i relacija između tih elemenata, kao i njihovih karakteristika, integrisanih u cilju ostvarenja određenog cilja, odnosno promene stanja sistema. **Pneumatski sistem** je integrisana, međusobno uslovljena celina.

Da bi se neki sistem upoznao, treba da se znaju: **1.** Elementi sistema, **2.** Struktura sistema, **3.** Funkcija sistema.

Elementi pneumatskog sistema su:

- **Izvršni elementi** (cilindar, obrtni cilindar, motor),
- **Komandni elementi** (razvodnici, slavine),
- **Elementi za obradu informacija** (logički elementi, procesori),
- **Signalni elementi** (granični prekidači, tasteri),
- **Elementi za dobijanje vazduha** (kompresori, vakuum pumpe).

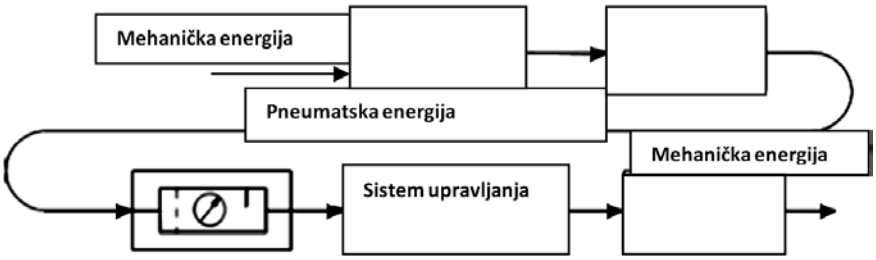
Struktura sistema je utvrđeni redosled elemenata sistema. Pod strukturom sistema se podrazumeva:

- Broj elemenata,
- Karakteristike elementa,
- Broj i karakter veza između elemenata.

Funkcija sistema može da bude:

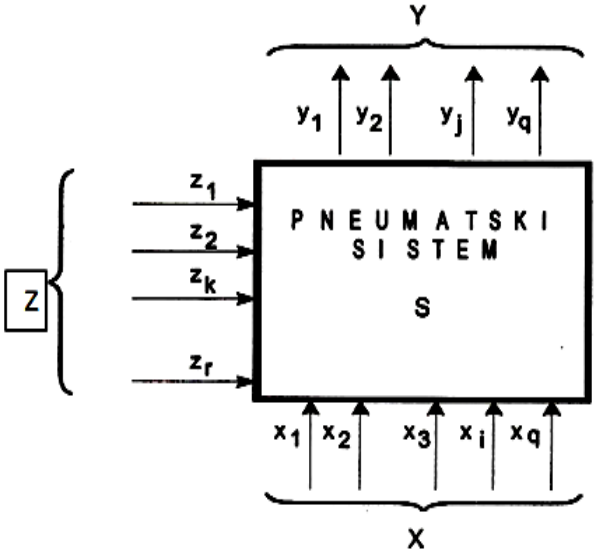
- Ostvarenje ili zaustavljanje kretanja,
- Ostvarenje sile ili pritiska,
- Promene stanja nekog drugog sistema,
- Identifikacija,
- Obrada informacija.

Osnovne funkcije pneumatskog sistema su pretvaranje, prenos i upravljanje energijom a pneumatski sistem je šematski je prikazan na slici ispod, gde se u prvom delu sistema, vrši pretvaranje mehaničke energije u energiju sabijenog vazduha a pretvarač energije je kompresor, dok je upotreba sabijenog vazduha prikazana u drugom delu šeme. Vazduh iz rezervoara, preko razvodne pneumatske mreže, dolazi u pripremnu grupu, gde se vrši njegovo čišćenje i zauljivanje. Očišćen i zauljen vazduh vodi se u pneumatski motor, gde se energija sabijenog vazduha pretvara u mehanički rad.



Slika. 021.1. Šematski prikaz pneumatskog sistema

Sabijeni vazduh pored prenosa energije u pneumatskim sistemima, služi i za prenos informacija, odnosno signala za upravljanje, jer u pneumatskom sistemu mogu da budu ugrađene komponentne, koje omogućuju upravljanje smerom strujanja, protokom i pritiskom sabijenog vazduha i pretvaranje energije sabijenog vazduha u mehanički rad. Nakon što izvrši zadatu funkciju mehanički rad ili upravljanje, vazduh se ispušta u slobodnu atmosferu, pa pneumatski sistemi nemaju povratni vod, tako da postoji više vrsta pneumatskih sistema, koji se primenjuju u tehničkoj praksi zavisno od radnog pritiska, koji se kreće od 0.1 bar do 2000 bar i više, kao što su:
- Vakuumska tehnika, sa radnim priticima max. 0.1 bar, - Fluidika, gde su radni pritisci max. 2 bara, - Industrijska pneumatika, sa radnim pritiscima max. 15 - 30 bara, - Pneumatika visokog pritiska, sa radnim pritiscima max. 200 bara i - Pneumatika extremno visokog pritiaka, gde su radni pritisci preko 1000 bara.



Slika. 2.1. Pneumatski sistem

Ulazne veličine (input-i) X - Sistem prima u obliku materijalnih i energetskih veličina ili u obliku signala (informacija).
Poremećaji (smetnje) Z - Deluju u toku rada i mogu da budu različiti po karakteru, veličini, smeru, pravcu i vremenu. Najčešći su uzrok otkaza ili davanja različitih rezultata (izlaznih), npr. vlaga.
Izlazne veličine(output-i) Y- Kojima sistem deluje na okolinu.
Prednosti i nedostaci pneumatskih sistema: Pneumatski sistemi se koriste za manje sile i zakretne momente. Sa pritiskom vazduha od 6 - 7 bara mogu da ostvare sile do $1.5 \bullet 10^4$ N, sa prihvatljivim gabaritima komponenata sistema. Ako se upoređuju hidraulički, pneumatski, fluidni, električni i elektronski sistemi onda važi pravilo: - Kada se u sistemu vrši prenos velikih sila i zakretnih momenta, koriste se hidraulički sistemi, - Za prenos manjih sila i zakretnih momenata uz mogućnost upravljanja, koriste se pneumatski i električni sistemi, - Za prenos informacija i funkcije upravljanja, koriste se fluidni i elektronsk sistemi.
Prednosti pneumatskih sistema su: - Ne postoji opasnost od eksplozije ili požara, pa su vrlo pogodni za primenu u industriji obrade drveta, nafte, boja i lakova, eksploziva - Optimalne brzine strujanja vazduha su 40 m/s, ali mogu biti i brzine zvuka bez posledica za pneumatski sistem, dok su standardne brzine klipnjače cilindra 1 - 2 m/s a kod udarnih cilindara 10

m/s, - Moguć je jednostavan način prenosa pneumatske energije na veće udaljenosti, - Neosetljivost na preopterećenje, pa se pneumatski izvršni motori mogu da preopterete do zaustavljanja a da pri tome ne nastanu nikakva oštećenja, - Pneumatski sistemi mogu da rade od - 20 ^{o}C do + 70 ^{o}C a neke konstrukcije i do 200 ^{o}C, fluidni od - 50 ^{o}C do približno 1000 ^{o}C,
- Nisu osetljivi na radijaciju, magnetsko i električno polje i na druge oblike zagađenosti okolne atmosfere, - Omogućuju kontinualnu promenu brzine izvršnih motora, kao i dužine hoda klipnjače kod cilindara, - Sabijeni vazduh mora da bude čist, pa kod eventualnih propuštanja, kao i izduvavanja u atmosferu ne prlja uređaje i okolinu, pa je pogodan za upotrebu u prehrambenoj industriji, - Pneumatski sistemi nemaju povratne vodove, - Jednostavno je održavanje i laka zamena delova s obzirom na standardne elemente, - Mala je masa, jer su komponente lakše od električnih za istu snagu, - Komponente su robusne i otporne na vibracije.
Nedostaci pneumatskih sistema su: - Zbog stišljivosti vazduha, sile na klipnjači su ograničene, - Sabijeni vazduh kao medijum je skuplji od ekvivalentnog medijuma za isti proizvodni rad ostvaren električnom energijom ili uljem u hidrauličnom sistemu, jer je u proseku potrebno oko 0.12 kWh električne energije za dobijanje 1 m^3 sabijenog vazduha na 6 bara, - Kod ekspanzije vazduha u atmosferu, nakon izvršenog rada, stvara se znatna buka, - Zbog stišljivosti vazduha nije moguće da se postignu male i konstantne brzine kretanja izvršnih organa, - Prenos signala na veće udaljenosti je ograničen. Navedeni nedostaci se mogu da ublaže ili otklone odgovarajućim konstrukcijskim rešenjima i upotrebom drugih medijuma u kombinaciji sa sabijenim vazduhom, pa tako na primer, za veće sile mogu da se koriste pneumohidraulički sistemi, gde se kombinacijom pneumatskog i hidrauličkog cilindra različitih površina mogu značajno da pojačaju-multiplikuju sile. Pneumohidraulički sistemi koriste se za vrlo fino kontinuirano, poziciono upravljanje hoda klipa. Za sprečavanje buke na izduvnoj strani ventila ili cilindra ugrađuju se prigušivači buke. Kad je potrebno da se vrši upravljanje na većim udaljenostima, kao i kod složenih upravljačkih zahteva, koriste se električni upravljački signali a za izvršenje mehaničkog rada sabijeni vazduh - pneumoelektrični sistemi. Dobijanje sabijenog vazduha ima značajnu cenu, ali kada postoji kompresor i razvodna mreža i kada je pneumatska energija na raspolaganju, analize pokazuju da je pogonska energija pneumatske brusilice 40 % jeftinija od električne energije

potrebne za pogon električne brusilice istih karakteristika. Ako se još dodaju troškovi održavanja, tada su pneumatski sistemi u prednosti.

Vazduh

Vazduh je mešavina gasova i ima sledeći sastav:
-78 vol. % azota,
-21 vol. % kiseonika,
-1 vol. % ostalih gasova (ugljen dioksid, argon, vodoniik, neon, helijum…)
U zavisnosti od meteoroloških i geografskih uslova, vazduh uvek sadrži u svom sastavu i određenu količinu vodene pare.

Osnovne veličine stanja u pneumatici

Veličine stanja su merljive fizičke veličine koje jednoznačno definišu određeno stanje posmatranog objekta.

Osnovne fizičke osobine koje karakterišu vazduh su:

- **Gustina ρ**, **ρ = m / V** (kg / m^3) je odnos mase i zapremine.

Gustina vazduha kod 288 K (15 ^oC) = 1.21 [kg / m^3]
- **ρ = 1 / *v*,** Gustina vazduha je recipročna vrednost specifične zapremine (***v***).

- **Specifična zapremina *v*, *v* = *1* / ρ** (m^3 / kg), recipročna vrednost gustine je specifična zapremina (***v***).
- **Temperatura T,** T (K), t (^oC)

Sabijanjem vazduha, temperatura raste i odaje toplotu okolini.
Vakuumiranjem temperatura opada i oduzima toplotu okolini. Posledica toga može da bude oštećenje pneumatskih komponenti. U SI sistemu jedinica za temperaturu je **K**. Apsolutna nula je kad prestaje kretanje molekula (-273.15 ^oC).

- **Stišljivost**

Stišljivost je svojstvo promene gustine i zapremine pod dejstvom pritiska i temperature, dok su kohezione sile minimalne.

Jednačina stanja idealnog gasa

Gasovita tela se sastoje od molekula koji pri sudarima interaguju slabim međumolekulskim silama. Zbog toga se u proučavanju gasova uvodi pojam idealnog gasa. Idealan gas je onaj gas čiji su molekuli idealno krute kuglice, zanemarljive zapremine, koje interaguju elastičnim sudarima, u kojima

nema transformacije kinetičke energije u druge vidove energije. Kod realnih gasova na sobnim temperaturama, međumolekulske sile u gasu su zanemarljive, ako je gas male gustine. Zbog toga se vazduh, azot, kiseonik, mogu da smatraju bliskim idealnim gasovima na sobnim temperaturama (**t** ~ 20 ^{0}C) i na normalnom atmosferskom pritisku. Posebno su pod tim uslovima vodonik i helijum bliski idealnim gasovima. Stanje neke mase gasa određeno je sa 3 parametra i to: pritiskom **p**, apsolutnom temperaturom **T** i zapreminom **V** te mase gasa i ovi parametri su međusobno zavisni. Postoji relacija:

$$\mathbf{F\ (p, V, T) = 0}$$

koja ih povezuje.
U slučaju idealnog gasa ova relacija glasi:

$$\mathbf{(p \bullet V) / T = const}.$$

Konstanta se određuje prema zakonu koji je ustanovio **Avogadro** i koji kaže da jedan mol gasa koji sadrži **Avogadrov** broj molekula ($\mathbf{N_A}$ = 6.023 •10^{23} na temperaturiod 0 ^{o}C i na normalnom pritisku od 1.01 •10^5 Pa ima uvek istu zapreminu od 22.4 dm^3. Ako se ova zapreminu od 1 mol gasa obeleži sa $\mathbf{V_m}$, može da se napiše jednačina stanja idealnog gasa za jedan mol gasa u obliku

$$\mathbf{P \bullet V_m = R \bullet T} \quad \text{ili} \quad \mathbf{[(V_m \bullet p) / T] = R}$$

a konstanta **R** se određuje na osnovu izraza:
R = (1.01 •10^5 Pa / 273.16K) • 22.4 dm^3 = 8.314 J/mol • K
Konstanta **R** se naziva univerzalna gasna konstanta.
Ako masa gasa **m** sadrži **n** molova gasa, tada je zapremina te mase gasa na normalnom pritisku i na 0 °C jednaka:

$$\mathbf{V = n \bullet V_m}$$

tada se množenjem prethodne jednačine sa **n** dobije:

$$\mathbf{p \bullet n \bullet V_m = R \bullet T \bullet n} \text{ ili } \mathbf{p \bullet V = R \bullet T \bullet n.}$$

Prethodna jednačina se naziva jednačina stanja idealnog gasa.
Kako je broj molova gasa **n**, odnos mase gasa **m** i molarne mase gasa **M**, tj.

$$\mathbf{n = m / M,}$$