



1.1 A gázok állapotátározói és ezek összefüggései

A gázok állapotát nyomásuk, hőmérsékletük és térfogatuk (a tárolóedény térfogata) határozza meg, amely állapotátározók között határozott összefüggés (gáztörvény) érvényes.

A **nyomás** (P) mértékegysége a nemzetközileg előírt SI mértérendszerben a pascal (**Pa**), azaz N/m^2 (newton/négyzetméter), vagy ennek többszöröse, mint például a kPa és MPa (kilopascal, megapascal). Gázok nyomásának megadására a műszaki gyakorlatban a külön névvel ellátott, ezektől eltérő többszörös, a **bar** is megfelel az SI-nek, és az ipari, valamint különleges gázok területén a gyakorlatban ez az általánosan elfogadott, így a továbbiakban, katalógusunkban is ezt a nyomásmértékegységet használjuk.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Kis nyomások megadására a bar törtrészei is használatosak, ezek közül is leginkább a mbar (millibar).

$$1 \text{ mbar} = 10^{-3} \text{ bar}$$

A régebben használt nyomásmértékegységek, az atm (fizikai atmoszféra), az at = kp/cm^2 vagy még régebben kg/cm^2 (technikai atmoszféra), a Torr vagy az ezzel közel egyenlő mmHg (higanymilliméter) és az angolszász területen használt p.s.i. ($lb.in^{-2}$) még mindig a köztudatban vannak, ezért a következő táblázatban megadjuk ezek összefüggéseit (átszámításait) a törvényes Pa és bar mértékegységekkel.

A régebben mértékegységként használt atm ma fizikai állandóként van érvényben, mint a tengerszinti átlagos légnyomás értéke. Az at (kp/cm^2) régi nyomásmértékegységgel együtt a velük megadott nyomás értéke közel azonos a bar-ban kifejezett értékkel. Ez az indoka annak, hogy a Pa helyett a gyakorlatban a bar-t használjuk.

SI és régi nyomásmértékegységek átszámítása

	bar	mbar	Pa	kPa	MPa	atm	at	Torr	p.s.i.
1 bar	1	10^3	10^5	10^2	10^{-1}	0,98692	1,01972	$0,7501 \cdot 10^3$	1,4503 · 10
1 mbar	10^{-3}	1	10^2	10^{-1}	10^{-4}	$0,9869 \cdot 10^{-3}$	$1,0197 \cdot 10^{-3}$	0,75006	$1,4503 \cdot 10^{-2}$
1 Pa	10^{-5}	10^{-2}	1	10^{-3}	10^{-6}	$0,9869 \cdot 10^{-5}$	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	$0,7501 \cdot 10^{-2}$	$1,4503 \cdot 10^{-4}$
1 kPa	10^{-2}	10	10^3	1	10^{-3}	$0,9869 \cdot 10^{-2}$	$1,0197 \cdot 10^{-2}$	0,7501 · 10	$1,4503 \cdot 10^{-1}$
1 MPa	10	10^4	10^6	10^3	1	0,9869 · 10	1,0197 · 10	$0,7501 \cdot 10^4$	$1,4503 \cdot 10^2$
1 atm	1,01325	$1,0133 \cdot 10^3$	$1,0133 \cdot 10^5$	$1,0133 \cdot 10^2$	$1,0133 \cdot 10^{-1}$	1	1,03323	$0,7600 \cdot 10^3$	1,4695 · 10
1 at*	0,98066	$0,9807 \cdot 10^3$	$0,9807 \cdot 10^5$	$0,9807 \cdot 10^{-1}$	$0,96784 \cdot 10^2$	0,98784	1	$0,7356 \cdot 10^3$	1,4222 · 10
1 Torr**	$1,3332 \cdot 10^{-3}$	1,33322	$1,3332 \cdot 10^2$	$1,3332 \cdot 10^2$	$1,3332 \cdot 10^{-1}$	$1,3332 \cdot 10^{-4}$	$1,3158 \cdot 10^{-3}$	1	$1,9335 \cdot 10^{-2}$
1 p.s.i.***	$0,6895 \cdot 10^{-1}$	$0,6895 \cdot 10^2$	$0,6895 \cdot 10^4$	0,6895 · 10	$0,6895 \cdot 10^{-2}$	$0,6805 \cdot 10^{-1}$	$0,7031 \cdot 10^{-1}$	$0,5172 \cdot 10^2$	1

* 1 at = 1 kp/cm^2

** 1 Torr ~ 1 Hgmm

*** 1 p.s.i. = 1 $lb.in^{-2}$

A táblázat használatakor mindig az első oszlopban található mértékegység vízszintes sorában keressük meg a függőleges oszlop szerinti átszámítási tényezőt. Így például: 1 bar = 0,98692 atm, vagy 1 at = 0,98066 bar

A gyakorlatban többnyire a *túlnyomással* találkozunk, mivel a szokásos nyomásmérők a környezeti légköri (atmoszferikus) nyomáshoz képesti többletnyomást mérik, és a gázok felhasználásakor is csak ezzel a többlettel tudunk dolgozni. Számításokhoz, és ha táblázatból vagy diagramból keresünk valamely gázjellemzőt, viszont mindig az abszolút nyomást kell figyelembe vennünk, vagyis a túlnyomáshoz gyakorlatilag 1 bar-t hozzá kell adnunk. (A pontos abszolút nyomást ugyan csak az aktuális környezeti nyomás ismeretében kaphatjuk meg, de a gyakorlati számításokhoz általában elegendő, ha a bar-ban mért túlnyomáshoz 1-et hozzáadunk.)

A **hőmérséklet** (T) SI egysége a termodinamikailag megalapozott Kelvin (**K**), amelynek nullpontja az abszolút nullapont, tehát csak pozitív értékű lehet, ezért abszolút hőmérsékletnek is nevezzük. A gyakorlatban még használt Celsius-féle hőmérsékleti skála fokbeosztása ($^{\circ}\text{C}$) egyezik a Kelvin skála fokbeosztásával, vagyis hőmérsékletkülönbség tekintetében $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$, ezért a Celsius-hőmérséklet SI-n kívüli törvényes egység. A Celsius-hőmérséklet nullapontja önkényesen megválasztva a víz fagyáspontja ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), ezért negatív értékeket is felvehet. (Ezért maradt meg a gyakorlatban, a katalógusunkban is használt „alacsony” és „magas” hőmérséklet, mint jelző, a szabályos kis és nagy hőmérséklet helyett.)

Elméletileg az átszámítás a

$$T = t \cdot \left(1 + \frac{273,15}{t}\right)$$

képlettel történnhet, ha a termodinamikai abszolút kelvin-hőmérsékletet T -vel a Celsius-hőmérsékletet pedig t -vel jelöljük, de a gyakorlatban megfelel a

$$T (\text{K}) = t (^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

összefüggés, amellyel az elméleti képlettel egyező eredményt kapunk.

Fordítva: $t (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15$, vagyis az abszolút nullaponti hőmérséklet $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nak felel meg.

Angol-amerikai területen még ma is használják a Fahrenheit-hőmérsékletet, amelynek nullapontja és skálájának fokbeosztása sem egyezik a Celsius-skálával:

$$t (^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot t (^{\circ}\text{C}) + 32$$

vagy fordítva:

$$t_{\text{C}} = \frac{t_{\text{F}} - 32}{1,8}$$

Néhány tájékoztató kerekített átszámított érték:

$t (^{\circ}\text{F})$	-50	-30	-10	0	10	20	30	40	50	60	100	200	300	500
$t (^{\circ}\text{C})$	-45,6	-34,4	-23,3	-17,8	-12,2	-6,7	-1,1	4,4	10,0	15,6	37,8	93,3	148,9	260,0

A **térfogat** (edény, tartály űrtartalma) SI egysége a köbméter (m^3), ennek ajánlott többszöröse (nagyságrendi törtrészei) a köbdeciméter (dm^3) és a köbcéntiméter (cm^3).

A gyakorlatban törvényesen használható például gázpalackok vagy tartályok űrtartalmának megadására a liter (**l**), amely a köbdeciméterrel (dm^3) egyezik, és kis térfogatok esetén a milliliter (**ml**), amely a köbcéntiméterrel (cm^3) egyenlő.

Az UK-ban és az USA-ban még mindig használják az ottani hosszúságegységekből származó térfogat-mértékegységeket, például a köblábat (cubic foot: ft^3 , cu ft), amely kerekítve $28,3168\text{ dm}^3$ -nek felel meg.

Az említett térfogat-mértékegységek átszámítása egymásba:

	m^3	dm^3 (liter)	cm^3 (ml)	ft^3
m^3	1	10^3	10^6	35,3147
dm^3 (liter)	10^{-3}	1	10^3	$3,53147 \cdot 10^{-2}$
cm^3 (ml)	10^{-6}	10^{-3}	1	$3,53147 \cdot 10^{-5}$
ft^3	$2,83168 \cdot 10^{-2}$	28,3168	$2,83168 \cdot 10^{-4}$	1

Az állapotváltozók között ideális gáz esetében a következő összefüggés érvényes:

$$PV = nRT,$$

ahol

P az abszolút nyomás,

V a gáz által elfoglalt térfogat,

n a gáz V térfogatban lévő móljainak száma,

R a moláris ideális gázállandó,

T az abszolút hőmérséklet Kelvin-ben (K) kifejezve.

Az „ideális gáz” feltételeit – azaz, hogy a pontszerű (kiterjedés nélküli) gázmolekulák között nincs erőhatás – csak a permanens gázok közelítik meg a normálállapot közelében, azaz gyakorlatilag kis nyomásokon és környezeti hőmérséklet közelében. Permanens gáznak – a 19. század végéig érvényben lévő felfogás nyomán – azokat a gázokat nevezzük, amelyek kritikus hőmérséklete kisebb a szobahőmérsékletnél, tehát hűtés nélkül, csak a nyomás növelésével nem cseppfolyósíthatók. Ilyenek például a nitrogén, oxigén, argon és hélium, amelyek esetében közelítő számításokhoz, környezeti hőmérséklet közelében nagyobb nyomásokon is használhatjuk a fenti ideális gáztörvényt.

A gáztörvényekkel végzett számításokban mindig a kelvinben (K) kifejezett abszolút hőmérsékletet kell használnunk!

A gyakorlati számításokhoz az egyenletet célszerűen átalakíthatjuk a következőképpen: Változatlan móluszámú (vagyis

azonos mennyiségű) gáz esetében nR állandó, tehát $\frac{PV}{T}$ is

állandó, ami azt jelenti, hogy az 1 és 2 gázállapot közötti átszámításra a

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

egyenlet érvényes.

Állandó hőmérsékleten

$$P_1 V_1 = P_2 V_2,$$

azaz a nyomás és térfogat szorzata állandó.

Ezt használhatjuk fel például annak közelítő számítására, hogy a töltési nyomás ismeretében egy palackban mennyi sűrített permanens gáz van.

A gázgyártók és -felhasználók az ipari gyakorlatban a gáz köbméterben megadott mennyiségét nem a *normálállapoton*, azaz $0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$ hőmérsékleten és $1\text{ atm} = 1,01325\text{ bar}$ nyomáson adják meg és számolják el, hanem az Európában elfogadott vonatkozási állapoton, $15\text{ °C} = 288,15\text{ K}$ hőmérsékleten és 1 bar abszolút nyomáson, amelyet „technikai normálállapotnak” is nevezhetünk.

Palackozott gázok esetében így a palack űrtartalmának és a 15 °C hőmérsékleten mért töltési nyomásnak az ismeretében kiszámíthatjuk erre a technikai normálállapotra vonatkoztatott „gázköbmétert”.

(A régebben használt normálköbméter (Nm³), illetve technikai normálköbméter, mint mértékegység már nem szabványos, így ha m³-ben adjuk meg a gáz mennyiségét, akkor meg kell jegyezni, hogy például: normálállapotban, vagy 15 °C hőmérsékleten és 1 bar nyomáson.)

Legyen például a palack űrtartalma 50 liter ($0,05\text{ m}^3$) és a töltési nyomás 15 °C hőmérsékleten 200 bar .

Mivel ezek szerint $P_1 = 1$, a V_1 gázköbméter (15 °C -on és 1 bar nyomáson) egyszerűen a töltési nyomás és a palack űrtartalmának szorzatával kapható:

$$V_1 = 200 \cdot 0,05 = 10\text{ m}^3.$$

Hasonlóképpen: egy 40 literes palackból, amelyet 150 bar nyomásra töltenek, az előbbi közelítő számítás szerint:

$$150 \cdot 0,04 = 6\text{ m}^3$$

gáz használható fel 15 °C hőmérsékleten és 1 bar nyomáson.

(Mivel közelítő számításról van szó, itt eltekintünk attól, hogy a töltési nyomást nem abszolút, hanem túlnyomásban mérjük, vagyis ahhoz kb. 1 bar -t hozzá kellene adnunk.)

Állandó térfogaton (tehát például zárt gázpalackban, mikor $V_1 = V_2$) a következő egyenletet kaphatjuk:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ és ebből } P_1 = \frac{T_1}{T_2} P_2$$

vagyis az abszolút nyomás a Kelvin-ben mért abszolút hőmérséklettel egyenesen arányos.

Lássunk erre is egy példát:

A gázpalackot szabályosan töltöttük meg permanens gázzal úgy, hogy 15 °C ($288,15\text{ K}$) hőmérsékleten a nyomás 200 bar legyen.

Ezután a palack szabálytalan tárolás következtében (például tűző napsütésben) 80 °C , azaz $353,15\text{ K}$ hőmérsékletre melegszik fel.

Ha most az 1 gázállapotot vesszük a felmelegedett állapotnak, akkor 80 °C -on a nyomás:

$$P_1 = \frac{353,15}{288,15} 200 = 245,1\text{ bar}$$

lesz, ami már a 300 bar próbanyomás esetében biztonságtechnikailag nem megengedhető. (Itt is eltekintettünk attól, hogy a 200 bar töltési nyomás nem abszolút nyomás.)

Állandó nyomáson (például vízzáras gazométerben, vagy rugalmas falú ballonban, ha feltételezzük, hogy a belső nyomás nem nő a méretnövekedéssel) a kiinduló egyenletből a következő összefüggést kapjuk:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ amelyből } V_1 = \frac{T_1}{T_2} V_2$$

azaz a térfogat az abszolút hőmérséklettel egyenesen arányos.

Ha például a 100 m^3 -es gazométert félig töltjük meg permanens gázzal (50 m^3) a hajnali, 10 °C hőmérsékleten, majd a be- és kimeneti szelepeket elzárjuk, és a déli órákban a hőmérséklet 35 °C -ra emelkedik, a gáz térfogata:

$$V_1 = \frac{353,15}{288,15} 50 = 54,4\text{ m}^3\text{-re nő,}$$

és ezzel arányosan a gazométer harangja emelkedik.

A valódi, azaz *reális gázok*, különösen nagy nyomásokon és a kritikushoz közeleső hőmérsékleteken közelítőleg sem elégítik ki az „ideális gáz” feltételeit ezért az egzakt, pontos számításokhoz az eddigi példákban használt ideális gáztörvény vagy más néven állapotegyenlet – a permanens gázok esetében sem – használható.

A reális gázok állapothatározóinak összefüggésére különböző, többfaktoros egyenleteket szerkesztettek, de a gyakorlatban a legjobban bevált a **Z kompresszibilitási tényező** használata, amely a gáz fajtáján kívül a hőmérséklettől és nyomástól is függ, és kísérletileg meghatározott értékei ismertek.

A reális gáztörvény ezzel a következőképpen alakul:

$$PV = Z(T,P)nRT$$

Ez azt jelenti, hogy a változatlan mólszámú ideális gázra érvényes

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

egyenlet a reális gázok esetében a következő lesz:

$$\frac{P_1 V_1}{Z(P_1, T_1) T_1} = \frac{P_2 V_2}{Z(P_2, T_2) T_2}$$

ahol $Z(P_1, T_1)$ és $Z(P_2, T_2)$ értékeit a megfelelő táblázatokból vagy diagramokból helyettesíthetjük be.

A Z kompresszibilitási tényező nyomástól, hőmérséklettől és gázfajától való függésének érzékeltetésére példaként megadunk néhány adatot két permanens gázra (az argonra és hidrogénre) és egy nem permanens gázra, a szén-dioxidra.

A táblázati adatokból az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- A normálállapot közelében, valamint kis nyomásokon és magasabb hőmérsékleteken minden gáz viselkedése megközelíti az ideális gáztörvénynek megfelelőt.
- A permanens gázok – és a nem permanens gázok kompresszibilitási tényezője is – alacsony és környezeti hőmérsék-

leteken általában egynél kisebb, ezért nagyobb nyomásokon, adott térfogatba belőlük az ideálishoz képest több sűrítendő. Kivételt képeznek a legalacsonyabb forráspontú gázok, mint a hidrogén és hélium, amelyek Z adatai nagy nyomásokon egynél nagyobbak, így mint a következő, második példából is láthatjuk, a nagy töltési nyomású palackban kevesebb van, mint az ideális gáztörvényből számítható lenne.

- A kritikus hőmérséklet és ennek megfelelő kritikus nyomás közelében csökkennek legkisebbre a Z értékek, a hőmérséklet emelkedésével viszont minden gáz esetében nőnek, többnyire az egység fölé is.
- A forráspont alatt – amely a nyomás növelésével emelkedik – ugrásszerű csökkenést látunk, amely annak következménye, hogy a gáz cseppfolyósodik. A zöld mezőben lévő Z értékek ennek megfelelően folyadékfázisú adatok, itt már gáztörvényről nem beszélhetünk. A hidrogén esetében nem találunk folyadékfázisú adatot, mivel forráspontja és kritikus hőmérséklete is jóval kisebb, mint a legalacsonyabb táblázati hőmérséklet.
- A kritikusnál lényegesen magasabb hőmérsékleteken a nem permanens szén-dioxid is az egységhez közeli Z értékeket mutat, vagyis a permanens gázoknak megfelelően az ideális gázt megközelítően viselkedik.

Argon kompresszibilitási adatok: $Z_{Ar}(P, T)$

P bar	T (K és °C)								
	90 K -183,15 °C	100 K -173,15 °C	120 K -153,15 °C	150 K -123,15 °C	200 K -73,15 °C	270 K -3,15 °C	290 K 16,85 °C	400 K 126,85 °C	600 K 326,15 °C
1	0,9693	0,9775	0,9867	0,9932	0,9972	0,9990	0,9993	1,0000	1,0003
5	0,0194	0,0183	0,9302	0,9647	0,9857	0,9949	0,9965	0,9997	1,0014
10	0,0387	0,0366	0,8493	0,9273	0,9713	0,9905	0,9931	1,0000	1,0025
20	0,0772	0,0729	0,0687	0,8447	0,9419	0,9810	0,9862	1,0001	1,0046
50	0,1918	0,1807	0,1684	0,2107	0,8512	0,9550	0,9677	1,0006	1,0118
100	0,3797	0,3565	0,3282	0,3324	0,7117	0,9213	0,9455	1,0055	1,0249
200	0,7460	0,6972	0,6317	0,5934	0,6871	0,9046	0,9392	1,0279	1,0552

Hidrogén kompresszibilitási adatok: $Z_{H_2}(P, T)$

P bar	T (K és °C)						
	98,15 K -175 °C	123,15 K -150 °C	198,15 K -75 °C	273,15 K 0 °C	298,15 K 25 °C	398,15 K 125 °C	423,15 K 150 °C
1,0133	1,000	1,001	1,001	1,001	1,001	1,000	1,001
10,1325	0,9975	1,0034	1,0071	1,006	1,006	1,005	1,005
30,3975	0,9966	1,0128	1,0211	1,0190	1,0182	1,0150	1,0143
50,6625	1,0031	1,0256	1,0360	1,0319	1,0303	1,0247	1,0235
101,325	1,0498	1,0723	1,0763	1,0649	1,0613	1,0492	1,0467
202,650	1,2312	1,2099	1,1663	1,1338	1,1252	1,0987	1,0935

Szén-dioxid kompresszibilitási adatok: $Z_{CO_2}(P, T)$

P bar	T (K és °C)								
	223,15 K -50 °C	253,15 K -20 °C	273,15 K 0 °C	293,15 K 20 °C	303,15 K 30 °C	323,15 K 50 °C	373,15 K 100 °C	573,15 K 300 °C	873,15 K 600 °C
1	0,9869	0,9914	0,9933	0,9947	0,9952	0,9961	0,9976	0,9996	1,0001
5	0,9310	0,9555	0,9657	0,9720	0,9758	0,9805	0,9882	0,9982	1,0007
10	0,0205	0,9073	0,9294	0,9449	0,9509	0,9607	0,9763	0,9964	1,0014
20	0,0400	0,0405	0,8490	0,8850	0,8985	0,9197	0,9525	0,9929	1,0029
50	0,1018	0,1000	0,1029	0,6424	0,7041	0,7815	0,8796	0,9838	1,0078
100	0,2017	0,1965	0,1988	0,2107	0,2264	0,4201	0,7540	0,9723	1,0169
300	0,5870	0,5601	0,5511	0,5498	0,5522	0,5643	0,6427	0,9741	1,0649

Lássunk most ennek a reális állapotegyenletnek a használatára két példát a sűrített palackos gázokra vonatkozó első „ideális” példánk alapján, de most már konkrét gázokkal, a kompresszibilitási tényezők figyelembevételével:

Nézzük először a számítást az „ideális” példa adataival **argon** esetében!

$$A \frac{P_1 V_1}{Z(P_1, T_1) T_1} = \frac{P_2 V_2}{Z(P_2, T_2) T_2} \text{ képletben } T_1 \text{ és } T_2 \text{ elhagyható,}$$

mivel $T_1 = T_2$, $Z(P_1, T_1)$ és $Z(P_2, T_2)$ helyett pedig Z_1 és Z_2 jelölést használhatunk.

Az argonra közölt kompresszibilitási adatok alapján $Z_1 = 0,9993$ és $Z_2 = 0,9362$. (A táblázati adatok 15°C helyett $290\text{ K} = 16,85^\circ\text{C}$ hőmérsékletre vonatkoznak, a 15°C -os értéket interpolációval kaptuk.) A képlet tehát számadatokkal a következőképpen alakul:

$$\frac{V_1}{0,9993} = \frac{200 \cdot 0,05}{0,9362}$$

$$\text{Ebből tehát } V_1 = \frac{200 \cdot 0,05 \cdot 0,9993}{0,9362} = 10,674 \text{ m}^3,$$

vagyis az amúgy 10 m^3 -esnek nevezett 200 bar töltési nyomású, 50 literes palackban a valóságban ennél több argon van.

(Nagyobb tisztasági fokozatok esetén ezt a gáz-termelők és -forgalmazók is figyelembe veszik, és a gyakorlatban $1,07$ -es szorzóval számolnak.)

Hidrogén esetében a helyzet fordított, mivel a kompresszibilitási tényező nagy nyomásokon lényegesen nagyobb egynél. A hidrogén Z -táblázatából interpolált értékek alapján Z_1 (1 bar , 15°C) = $1,001$ és Z_2 (200 bar , 15°C) = $1,1281$. Az előbbivel azonos palackúrtartalom és töltési nyomás esetén tehát:

$$V_1 = \frac{200 \cdot 0,05 \cdot 1,001}{1,1281} = 8,873 \text{ m}^3.$$

Az ipari gyakorlatban ennek megfelelően $0,89$ -es szorzóval számolva a nagyobb tisztasági fokozatú hidrogén esetén figyelembe veszik, hogy például a szokásosan 10 m^3 -esnek nevezett palackban ennél kevesebb hidrogén van.

A vonatkozó képletből következik, hogy mivel 1 bar nyomáson a kompresszibilitási tényezők értéke mindig az egységhez közelebb, a nagy nyomásokon egynél nagyobb értékű kompresszibilitási tényező esetében a palack a nyomással arányosnál kevesebb, egynél kisebb tényezők esetében pedig több gázt tartalmaz.

Az ideálistól való eltérés a katalógusunkban szereplő gázok közül a legkisebb a nitrogén, míg a legnagyobb a szén-dioxid esetében.

A gáztörvény segítségével a 15°C hőmérsékleten és 1 bar nyomáson megadott m^3 értéket a fizikai **normálállapotra** (a régebben normálköbméternek nevezett mértékegységre) is átszámíthatjuk.

A **nitrogént** választva például:

Z_1 ($1,01325\text{ bar}$, 0°C) = $0,9995$ és Z_2 (1 bar , 15°C) = $0,9997$, így az átszámítási tényező normálállapotra:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 \cdot 0,9995 \cdot 273,15}{1,01325 \cdot 288,15 \cdot 0,9997} = 0,9354$$

Az „ideális” $0,93555$ -től való eltérés magasabb kritikus hőmérsékletű (nem permanens) gázok esetében valamivel nagyobb így például **szén-dioxidra**: $0,9345$.

A **szén-dioxid** kritikus hőmérséklete $+31,06^\circ\text{C}$, tehát ennél alacsonyabb hőmérsékleten nyomással cseppfolyósítható nem permanens gáz, így a szokásos palackokban fő tömege folyadékállapotban van, a hőmérséklettől függő gőznyomáson. Ezért a palackba töltött mennyiségét a reális gáztörvénnyel sem lehet számítani a nyomás alapján.

A szén-dioxid palackban mindaddig csak a hőmérséklettől függ a nyomás, amíg a folyadékfázis el nem fogy.

A szén-dioxid palackok töltetadagját nem m^3 -ben, hanem kg -ban adjuk meg, és töltéskor, valamint értékesítéskor is nem



Mélyhűtött cseppfolyós oxigén töltése palettankba

nyomásméréssel, hanem tömegméréssel (súly alapján, mérlegeléssel) történik az ellenőrzés.

Az üres palack tömege jelenti a tarát, amelynek értéke be van ütve a palack nyakába. A töltő üzem ezt mindig ellenőrzi töltés előtt, hogy idegen, folyadékfázisú anyag (például víz) ne maradjon a palackban. A megtöltött palack bruttó tömegéből a tarát levonva kapjuk meg a nettó töltöttömeget.

Hasonló, de bonyolultabb a helyzet az **acetilén** esetében, amelyet viszont robbanásveszély miatt nem lehet önmagában komprimálni, ezért a palack nem üres, hanem úgynevezett palackmassza tölti ki, amelynek pórusait acetonnal telítjük, és ebben oldódik 20 bar-nál kisebb nyomáson az acetiléngáz. (A francia dissous = oldott szóból származóan hívjuk a palackozott aceti-

lént **disszugáznak**, és az acetilénpalackot disszupalacknak is.) A töltetmennyiséget tehát itt sem lehet a nyomás alapján mérni, azt itt is kg-ban adjuk meg és mérlegeléssel ellenőrizzük.

A helyzetet az acetilén oldószer bonyolítja, amelynek névleges mennyisége a palackmasszával együtt benne van a beültöltött taratömegben, így ha a szabálynál (névlegesnél) több acetont tartalmaz a palack, ami biztonságtechnikailag előnyösebb, mint ha kevesebbet tartalmazna, akkor ezt is acetilénként mérlegeljük. Használatkor az acetilénnel együtt aceton is távozik, melyet pótolni kell. A töltő üzem a töltés megkezdése előtt a tara tömeget digitális mérlegen történő aceton-pótlással pontosan beállítja. A jól acetonozott, töltött palack bruttó tömegéből a tara levonásával kapjuk meg a nettó töltöttömeget.