



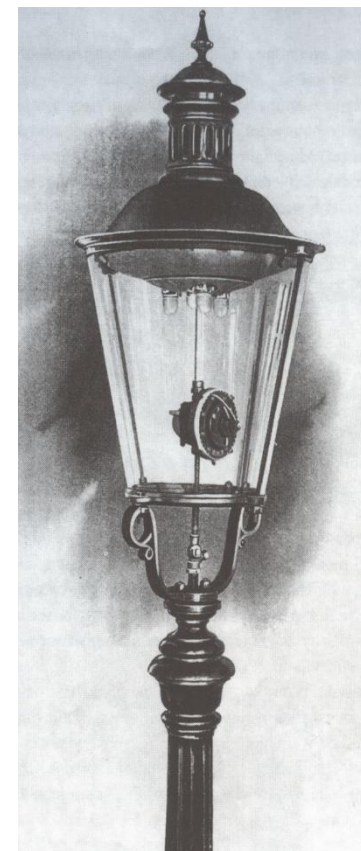
11 – Plynárenské soustavy

Roman Vavříčka

ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav techniky prostředí



Rok 1847 – první městská plynárna v Praze Karlíně - svítiplyn



Základní prvek přírodních plynů je uhlík a vodík

- 1) Svítiplýn – výroba katalytickým štěpením uhlovodíků (benzín, propan – butan, zemní plyn), přibližné složení je 47% H₂, 8 - 9 % CO (**!!! jedovatý plyn !!!**), 2% CO₂, 4-5 % N₂ a 26-36 % CH₄
- 2) Zkapalněný plyn => propan–butan – získává se jako doprovodný produkt při zpracovávání ropy nebo hydrogenací uhlí, výhodou je vysoká výhřevnost (3x vyšší než u zemního plynu), nevýhodou je problematika skladování a využívání (odpařovací zásobníky nebo výparníkové stanice)
- 3) Bioplyn – vzniká anaerobní (tj. bez přístupu kyslíku) metanovou fermentací organických látek, bioplyn se rozlišuje na tzv. skládkový plyn nebo kalový plyn
- 4) Zemní plyn – přírodní plyn s vysokým obsahem metanu CH₄

Spalné teplo H_s – je množství tepla, uvolněného úplným spálením 1 m³ plynu při barometrickém tlaku v adiabatických podmínkách, za předpokladu ochlazení spalin na teplotu výchozích látek a vodní pára ve spalinách je v kapalném stavu.

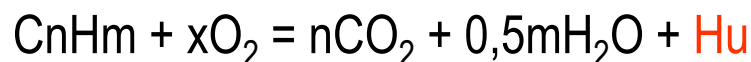
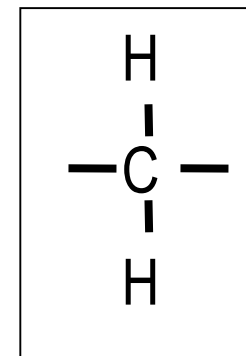
$$H_s = \frac{\sum H_{si} \cdot r_i}{100}$$

r_i – objemový podíl jednotlivých složek plynu [%]

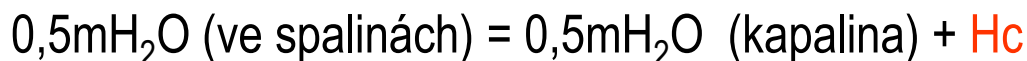
Výhřevnost H_i – je množství tepla, uvolněného úplným spálením 1 m³ plynu při barometrickém tlaku v adiabatických podmínkách, za předpokladu ochlazení spalin na teplotu výchozích látek a vodní pára zůstane v plynném stavu.

$$H_i = \frac{\sum H_{ii} \cdot r_i}{100}$$

Druh paliva	Výhřevnost paliva	Celková výhřevnost	Maximální emise CO ₂ (kg/kWh)	
	Hu		Ho	Hu
Uhlí	8.14 kWh/kg	8.41 kWh/kg	0.350	0.339
Koks	7.50 kWh/kg	7.53 kWh/kg	0.420	0.418
Hnědé uhlí - surové	2.68 kWh/kg	3.20 kWh/kg	0.410	0.343
Hnědé uhlí - brikety	5.35 kWh/kg	5.75 kWh/kg	0.380	0.354
Lehký topný olej EL	10.08 kWh/l	10.57 kWh/l	0.312	0.298
Těžký topný olej S	10.61 kWh/l	11.27 kWh/l	0.290	0.273
Zemní plyn L	8.87 kWh/m ³	9.76 kWh/m ³	0.200	0.182
Zemní plyn H	10.42 kWh/m ³	11.42 kWh/m ³	0.200	0.182
Svítiplyn	4.48 kWh/m ³	5.00 kWh/m ³	0.200	0.179



Při spalovacím procesu (C, H) vzniká vždy CO₂ a voda (ve spalinách)



$$H_c + H_u = H_o$$

H_o = celková výhřevnost paliva

H_u = Teplo vzniklé při spalování

H_c = teplo obsažené ve spalinách

Wobbeho číslo zemního plynu W_s – je základní kritériem pokud je nutné zaměnit plynné palivo jiným.

$$W_s = \frac{H_s}{\sqrt{d}}$$

d – poměrná hustota zemního plynu [-]

$$d = \frac{\rho_n}{1,293}$$

Tranzitní ZP	Norský ZP	Alžírský ZP	Holandský ZP
0,5646	0,6543	0,6450	0,6442

ρ_n – poměrná hustota zemního plynu [kg/m^3]

$$\rho_n = \frac{\sum \rho_{ni} \cdot r_i}{100}$$

ρ_{ni} - hustoty jednotlivých složek zemního plynu (0°C , 101 325 Pa) [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

r_i - procentuální objemové podíly jednotlivých složek zemního plynu [%]

Wobbeho číslo zemního plynu W_s

Hustota zemního plynu [kg/m³]

Teplota [°C]	Tranzitní ZP	Norský ZP	Alžírský ZP	Holandský ZP
- 30	0,820	0,950	0,937	0,936
- 20	0,788	0,913	0,900	0,899
- 10	0,758	0,878	0,866	0,865
0	0,730	0,846	0,834	0,833
10	0,704	0,816	0,804	0,803
15	0,692	0,802	0,790	0,790
20	0,680	0,788	0,777	0,776
30	0,658	0,762	0,751	0,750
40	0,637	0,737	0,727	0,726
50	0,617	0,715	0,705	0,704
60	0,598	0,694	0,684	0,682
70	0,581	0,673	0,664	0,662
80	0,565	0,654	0,645	0,644
90	0,549	0,636	0,627	0,626
100	0,534	0,619	0,610	0,610
200	0,421	0,488	0,481	0,480
300	0,348	0,403	0,397	0,396
400	0,296	0,343	0,338	0,337
500	0,258	0,299	0,294	0,293

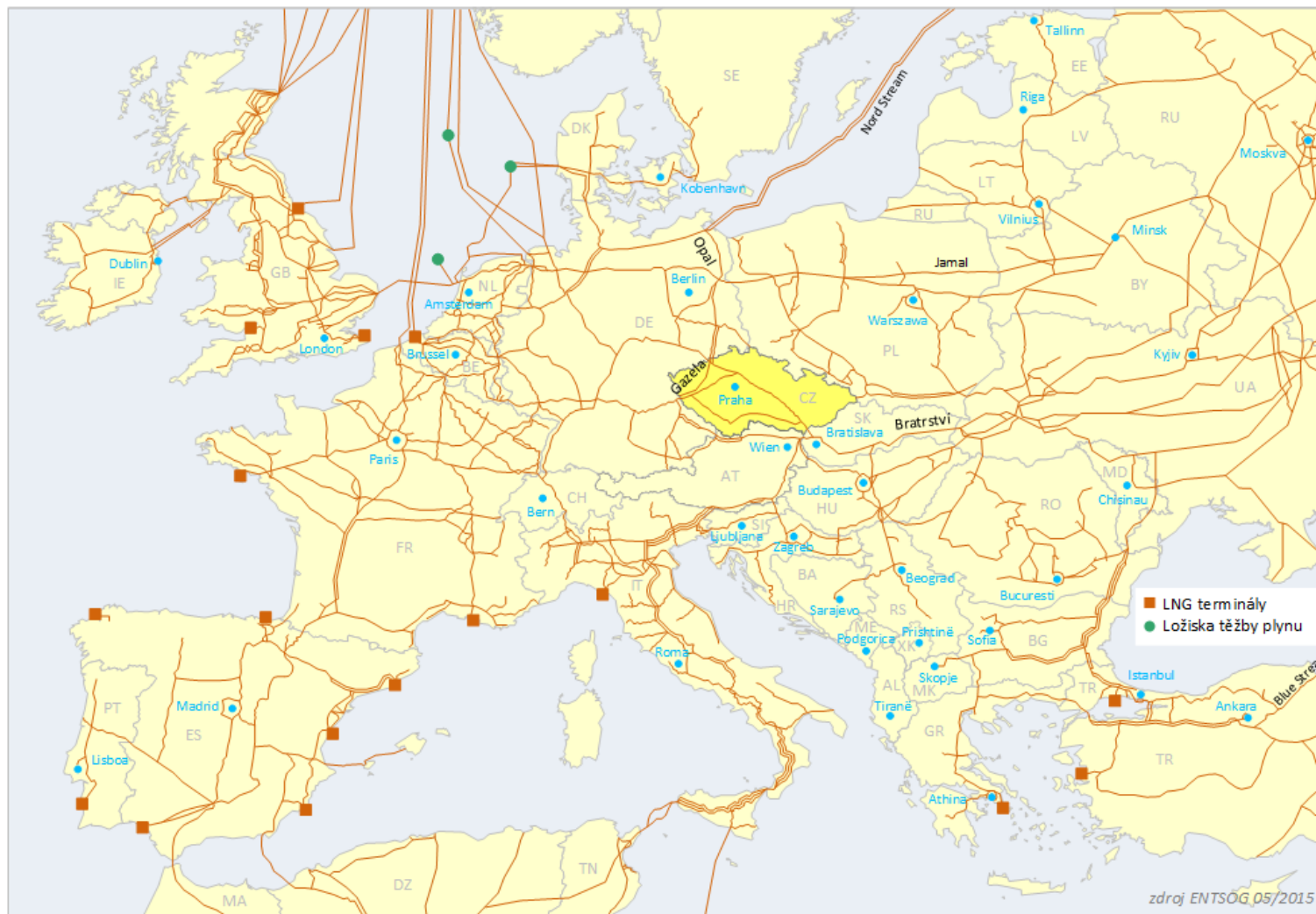
Zemní plyn	Spalné teplo [kJ/m ³]	Výhřevnost [kJ/m ³]	Wobbeho číslo [kJ/m ³]
Svítiplyn	17 600	13 000	28 080
Zemní plyn (Tranzitní)	39 794	35 870	52 958
Propan	101 242	93 215	81 360
n-Butan	134 061	123 810	92 520
Propan-butan (60/40 %)**	114 370	105 453	85 824
Bioplyn*	37 782*	34 016*	53 457*

* hodnoty uvedené v tabulce jsou pro metan CH₄, skutečné hodnoty výhřevnosti a spalného tepla závisí na způsobu výroby bioplynu (spalné teplo cca 20 000 kJ/m³, výhřevnost cca 17 000 kJ/m³)

** tzv. zimní směs LPG pro pohon motorových vozidel

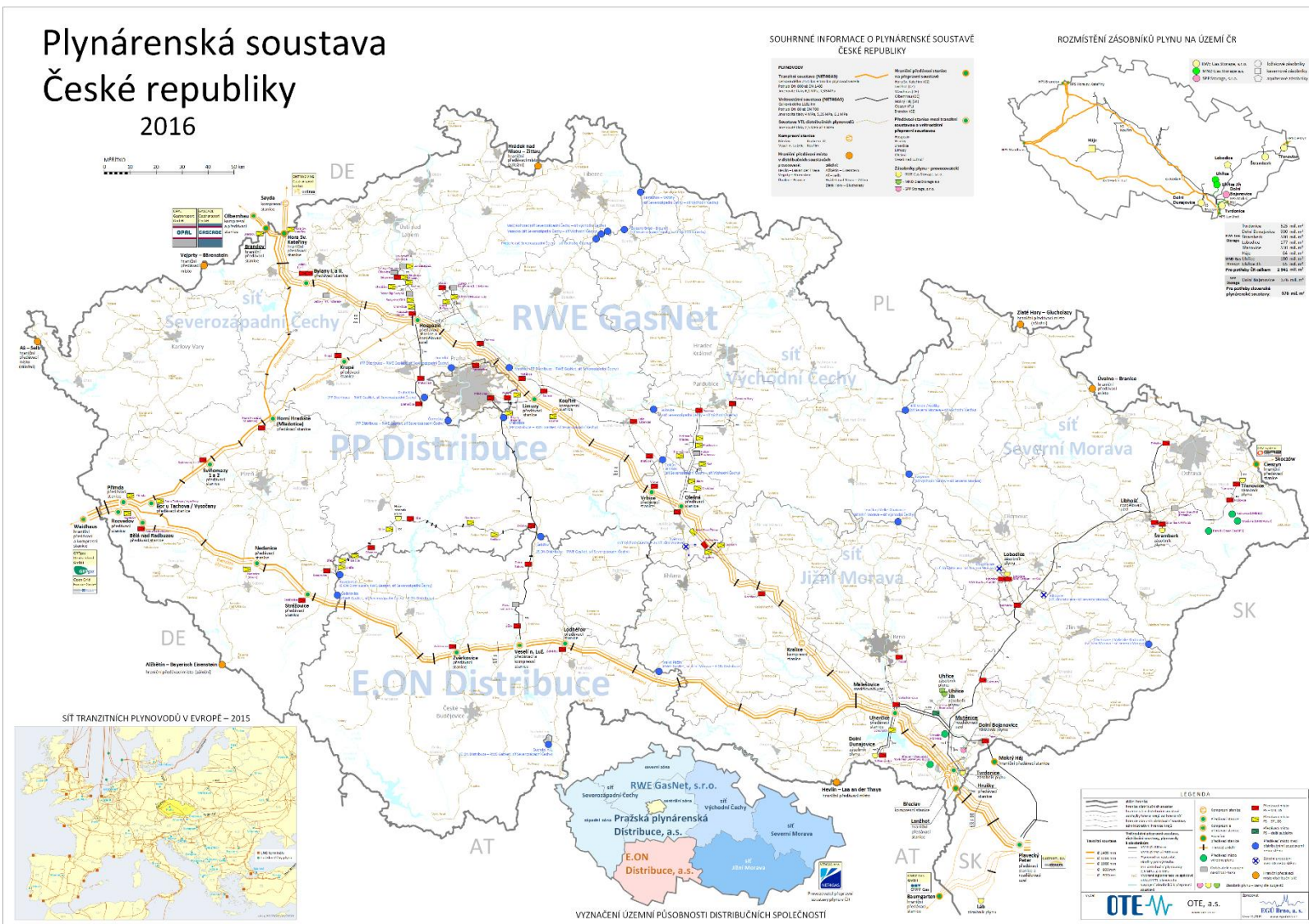
Zemní plyn	Spalné teplo [kJ/m³]	Výhřevnost [kJ/m³]	Teoretická spotřeba vzduchu [1 m³ vzduchu / 1 m³ plynu]
Tranzitní	39 794	35 870	9,555
Norský	43 823	39 653	10,523
Alžírský	45 169	40 840	10,847
Holandský	35 094	31 669	8,426
Jihomoravský	39 276	36 296	9,665

SÍŤ TRANZITNÍCH PLYNOVODŮ V EVROPĚ – 2015



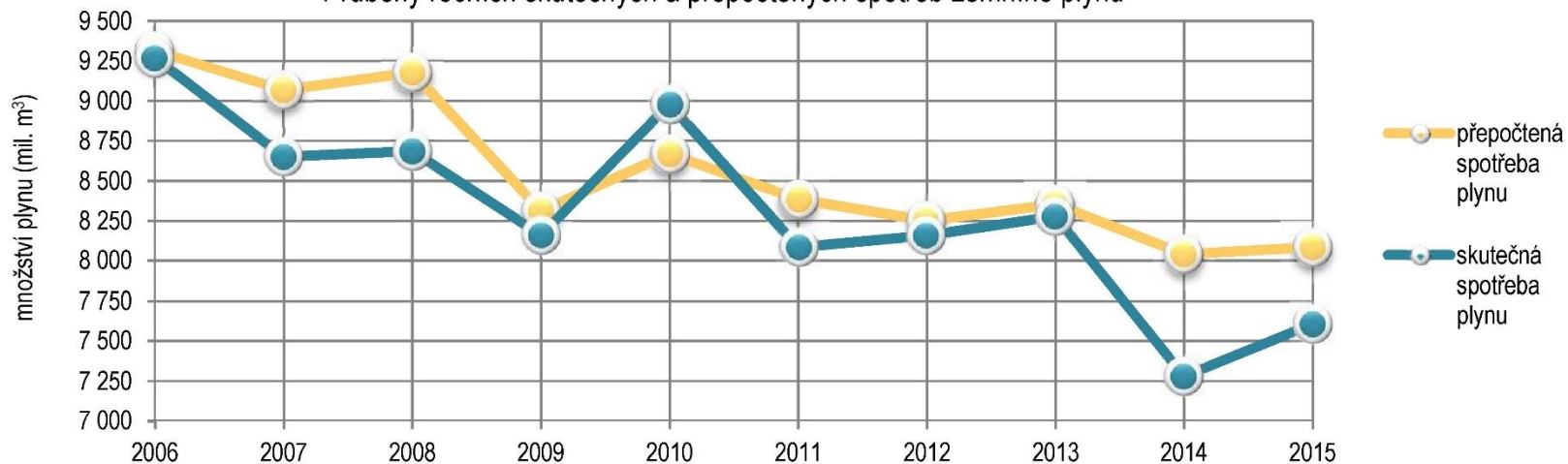
Plynárenské soustavy – situace v ČR

Plynárenská soustava České republiky 2016

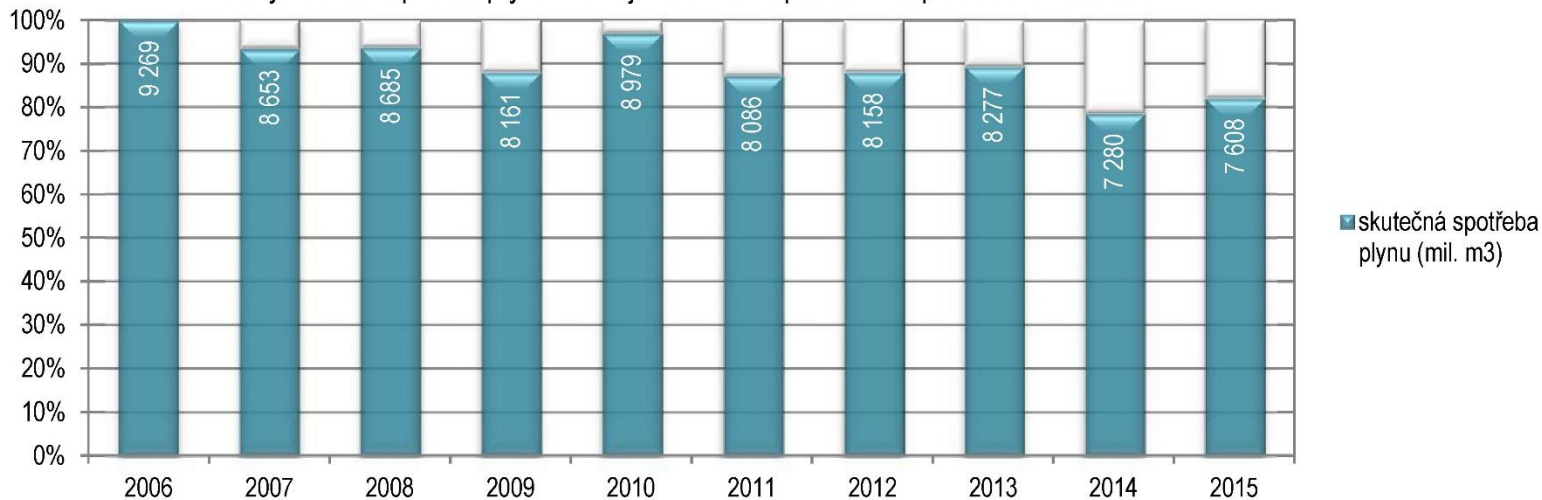


Plynárenské soustavy – situace v ČR

Průběhy ročních skutečných a přepočtených spotřeb zemního plynu



Podíly ročních spotřeb plynu na největší roční spotřebě za posledních deset let



- 1) **VVTL (s velmi vysokým tlakem)** – převážně tranzitní plynovody, slouží k dopravě na velké vzdálenosti s přetlaky od 4 do 10 MPa
- 2) **VTL (vysokotlaké)** – jde o dopravu přímo z místa výroby či těžby do vzdálenějších měst s přetlakem od 0,4 do 4,0 MPa
- 3) **STL (středotlaké)** – používají při dopravě ve městech nebo průmyslových objektech s přetlakem od 0,005 do 0,4 MPa
- 4) **NTL (nízkotlaké)** – slouží k místní dopravě plynu v budovách, bytech apod., zřídka se používají i pro dopravu plynu v ulicích či menších měst s přetlakem do 0,005 MPa

VTL a STL

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \cdot \rho_n \cdot \frac{z_1}{z_n} \cdot \frac{T_1}{T_n} \cdot \frac{16}{\pi^2} \cdot p_n \cdot \frac{V_{psec}^2}{d^5} \cdot L$$

- p_1 - tlak zemního plynu na vstupu do plynovodu ($p_1 = \Delta p_1 + 101\,325$) [Pa]
 p_2 - tlak zemního plynu na výstupu do plynovodu ($p_2 = \Delta p_2 + 101\,325$) [Pa]
 Δp_1 - přetlak zemního plynu na vstupu do plynovodu [Pa]
 Δp_2 - přetlak zemního plynu na výstupu do plynovodu [Pa]
 p_n - barometrický tlak ($p_n = 101\,325$ Pa) [Pa]
 λ - součinitel tlakových ztrát třením v plynovodu [-]
 ρ_n - hustota zemního plynu (při 0 °C a 101 325 Pa, pro tranzitní zemní plyn $\rho_n = 0,73$ kg/m³) [kg/m³]
 V_{psec} - množství plynu (0 °C a 101 325 Pa) [m³/s]
 d - vnitřní průměr plynovodu [m]
 L - délka plynovodu [m]
 z_1 - kompresibilní faktor zemního plynu při tlaku p_1 a teplotě T_1 [-]
 $z_n = 1$ - kompresibilní faktor zemního plynu při tlaku p_n a teplotě T_n [-]
 T_1 - teplota zemního plynu na vstupu do plynovodu [K]
 $T_n = 273,15$ K

Tlaková ztráta ve vertikálních větvích plynovodu

$$\rho_{vzt} = (\rho_v - \rho_{zp}) \cdot H \cdot g$$

ρ_{zp} - hustota zemního plynu vypočítaná ze stavové rovnice plynů [kg/m³]

$$\rho_{zp} = \rho_n \cdot \frac{T_n}{T_1} \cdot \frac{p_1}{p_n}$$

ρ_v - hustota vzduchu v okolí plynovodu [kg/m³]

H - převýšení plynovodu [m]

g - tíhové zrychlení [m/s²]

$$\rho_{vzt} = 5 \cdot H$$

Tlaková ztráta v horizontálních větvích plynovodu

$$\lambda = \frac{0,009407}{\sqrt[3]{d}} \quad d - \text{vnitřní průměr plynovodu [mm] !!!}$$

VTL a STL

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \cdot \rho_n \cdot \frac{z_1}{z_n} \cdot \frac{T_1}{T_n} \cdot \frac{16}{\pi^2} \cdot \rho_n \cdot \frac{V_{psec}^2}{d^5} \cdot L$$

$$d = 0,097486 \cdot \left(z_1 \cdot T_1 \cdot \frac{V_{psec}^2}{p_1^2 - p_2^2} \cdot L \right)^{0,1875}$$

VTL a STL - tlaky na vstupu a výstupu z plynovodu se dosazují do vzorce v [kPa]!!!

Příklad návrhu STL přípojky plynu

Navrhněte světlost středotlaké přípojky plynovodu pro dopravu tranzitního zemního plynu. Množství dopravovaného plynu je 150 m³/hod. Délka přípojky je 100 m. Přetlak zemního plynu na vstupu do plynovodu je 100 kPa při uvažované teplotě 10 °C. Dovolená tlaková ztráta plynovodu je 200 Pa.

1) Stanovení konstant zemního plynu:

p_1 - tlak zemního plynu na vstupu do plynovodu

$$p_1 = \Delta p_1 + p_n = 100 + 101,325 = 201,325 \text{ kPa}$$

p_2 - tlak zemního plynu na výstupu do plynovodu

$$p_2 = p_1 - (p_1 - p_2) = 201,325 - (0,20) = 201,125 \text{ kPa}$$

z_1 - kompresibilní faktor zemního plynu při tlaku p_1 a teplotě T_1 [-]

$$\underline{p_1 = 201,325 \text{ kPa}, T_1 = 283,15 \text{ K} \Rightarrow z_1 = 0,9977 \text{ (použijte v projektu !!!)}}$$

Příklad návrhu STL přípojky plynu

Navrhněte světlost středtlaké přípojky plynovodu pro dopravu tranzitního zemního plynu. Množství dopravovaného plynu je 150 m³/hod. Délka přípojky je 100 m. Přetlak zemního plynu na vstupu do plynovodu je 100 kPa při uvažované teplotě 10 °C. Dovolená tlaková ztráta plynovodu je 200 Pa.

2) Výpočet vnitřního průměru plynovodu

$$d = 0,097486 \cdot \left(z_1 \cdot T_1 \cdot \frac{V_{psec}^2}{\rho_1^2 - \rho_2^2} \cdot L \right)^{0,1875} =$$
$$= 0,097486 \cdot \left(0,9977 \cdot 283,15 \cdot \frac{\left(\frac{150}{3600} \right)^2}{(201,325^2 - 201,125^2)} \cdot 100 \right)^{0,1875} = 0,097 \text{ m}$$

Vnitřní průměr 0,097 m odpovídá světlosti ocelového potrubí DN 100.

Základní rozdělení regulátorů tlaku plynu:

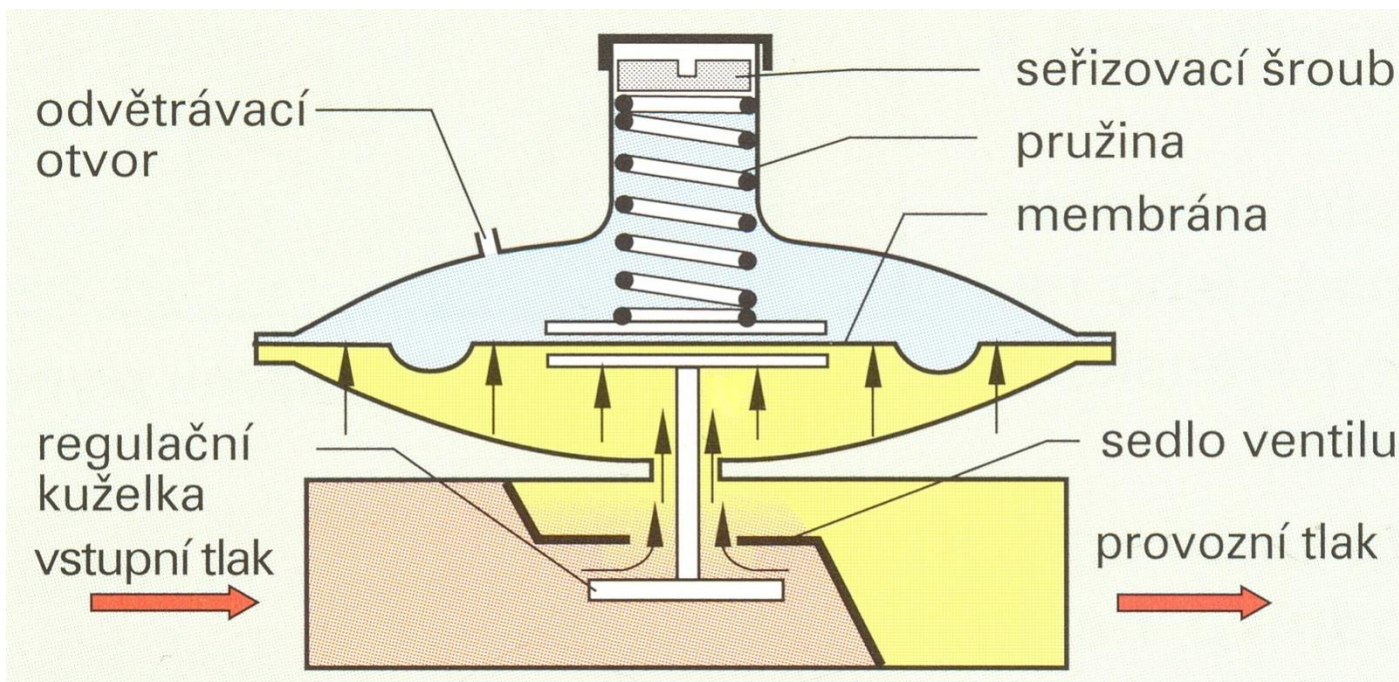
- a) **Domovní** – regulace STL pro domovní rozvody
- b) **Bytové** – NTL regulátory umístěné těsně za plynoměrem

Dle vstupního přetlaku

- I. Skupina do 10 kPa** – jsou to tzv. vyrovnávací nebo snižovací regulátory, umisťují se těsně před spotřebiče cílem zajistit konstantní výstupní tlak nezávisle na vstupní hodnotě
- II. Skupina od 0,01 MPa do 0,4 MPa** – dělí se dále podle průtoku tj. do 10 m³/hod => R1, a nad 10 m³/hod => R2, jsou to regulátory pro posílení nízkotlaké sítě

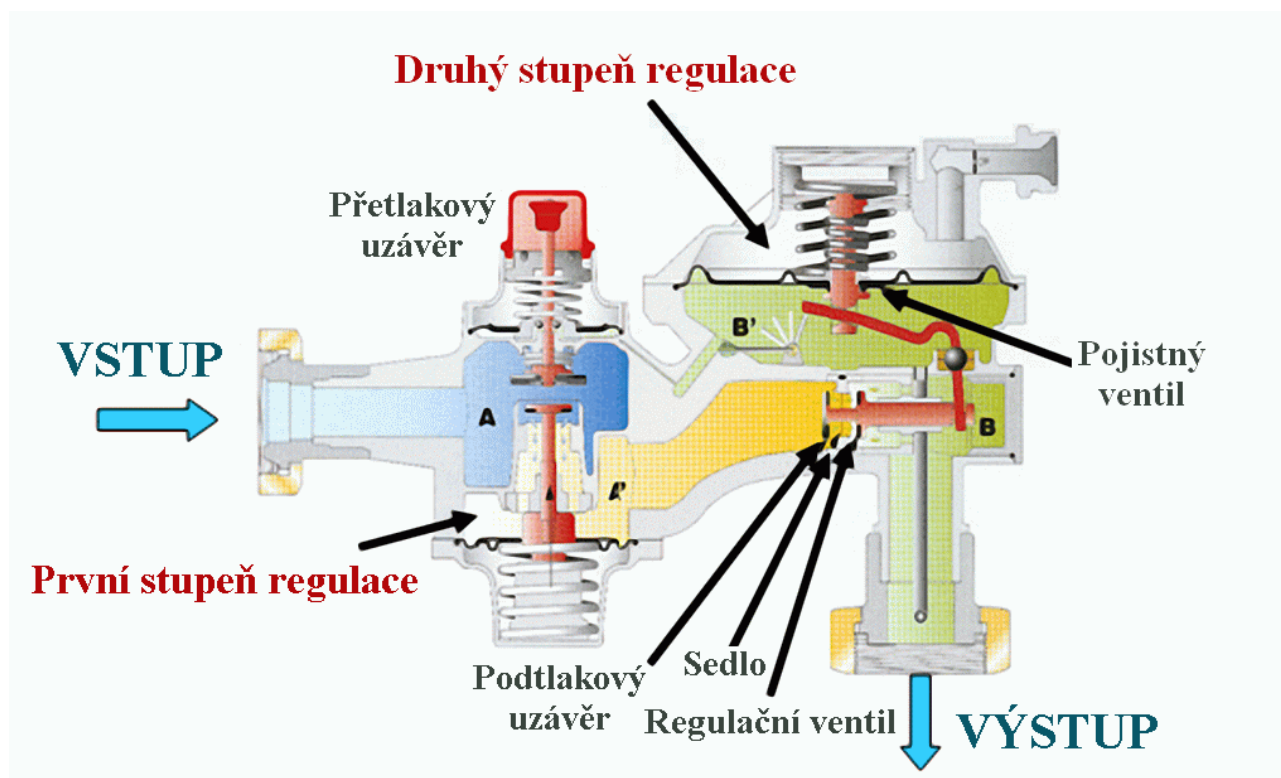
Přímočarý regulátor tlaku plynu

Membrána snímá tlak před a za kuželkou a současně působí jako pohonný element ovládající průtok plynu.



Nepřímočarý regulátor tlaku plynu

Impulz pro změnu polohy regulačního elementu hlavního regulátoru je vydáván od regulátoru řídicího.

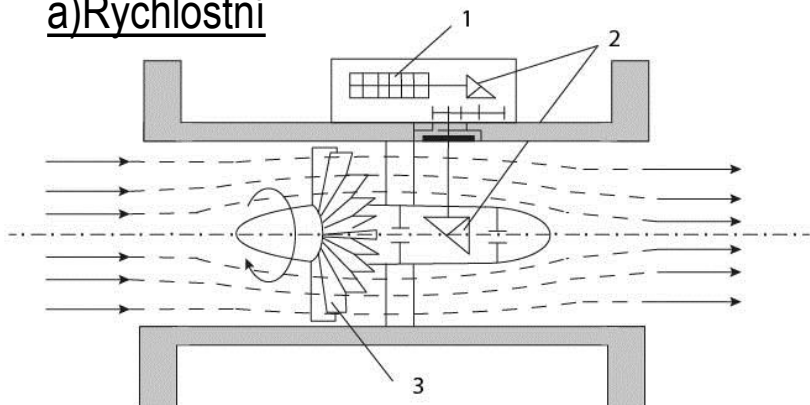


Plynoměry

- a) Rychlostní – turbínové s lopatkovými koly, kde prouděním plynu je otáčeno lopatkové turbínové kolo a jeho otáčky se přenášejí soukolím na číselník
- b) Dynamické – jedná se o měření založené na principu rozdílů tlaků před a za clonou, čím větší je průtok plynu, tím větší je rozdíl tlaku, používají se pro měření velkých průtoků plynu
- c) Ultrazvukové – měří rozdíly rychlosti šíření zvuku po a proti směru proudění plynu, mají nízkou tlakovou ztrátu
- d) Membránové – princip měření spočívá v periodickém naplňování dvou měrných komůrek (měchů) plynem, pohyb membrány tj. naplňování komor a pohyb šoupátka se uskutečňuje na základě rozdílu tlaků před a za plynoměrem, posuvný pohyb šoupátka je pak převáděn na pohyb rotační a odečet číselníku

Plynoměry

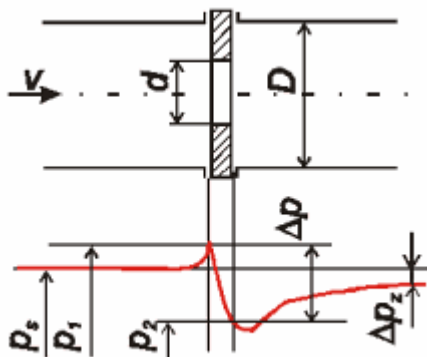
a) Rychlostní



c) Ultrazvukové



b) Dynamické



d) Membránové

