



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**SKLADOVÁNÍ PLYNU A ZÁSOBOVÁNÍ PLYNEM NA
SLOVENSKU**

GAS SUPPLY AND UNDERGROUND GAS STORAGES IN SLOVAKIA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mário Galbavý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Mário Galbavý**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Skladování plynu a zásobování plynem na Slovensku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zemní plyn je strategická energetická surovina. Slovenská republika je závislá na dodávkách zemního plynu ze zahraničí, zejména z Ruské federace, což je pro ni nepříznivá situace. Cílem práce je provést rešerši o stavu zásobování a spotřeby zemního plynu na Slovensku. Popsat důvody a možnosti skladování zemního plynu a popsat současný stav skladování zemního plynu na Slovensku.

Cíle bakalářské práce:

Popsat situaci se zásobováním plynu na Slovensku
Popsat důvodu a způsoby skladování zemního plynu.
Zpracovat rešerši uložit plyn v SR.

Seznam doporučené literatury:

FÍK, Josef. Zemní plyn: tabulky, diagramy, rovnice, výpočty, výpočtové pravítko. Praha: Agentura ČSTZ, 2006. ISBN 80-86028-22-4.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3. Dostupné také z:

<http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:cfbe8df0-1677-11e6-ae73-005056827e51>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je popísať situáciu ohľadom skladovania a zásobovania zemného plynu na Slovensku. Práca je rozdelená na 4 časti. Prvá časť sa zaoberá zemným plynom zo všeobecného hľadiska, od jeho vlastností až po možnosti využitia. V druhej časti je popísaná situácia zásobovania Slovenska zemným plynom. Tretia časť sa zapodieva spôsobmi skladovania zemného plynu a jednotlivými podzemnými zásobníkmi, ktoré sa nachádzajú na Slovensku. V záverečnej časti sú popísané dôvody skladovania zemného plynu a možnosti opatrení, ktoré môžu zabezpečiť bezpečnosť jeho dodávok.

Kľúčové slová

Zemný plyn, zásobovanie zemného plynu, skladovanie zemného plynu, podzemné zásobníky plynu

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to describe the situation regarding the storage and supply of natural gas in Slovakia. Thesis is divided into 4 chapters. The first chapter deals with natural gas from a general point of view, from its properties to its possible use. The second part describes the situation of supplying Slovakia with natural gas. The third part deals with the ways of storing natural gas and individual underground reservoirs located in Slovakia. The final part describes the reasons for the storage of natural gas and the possibility of measures that can ensure the security of its supply.

Key words

Natural gas, natural gas supply, natural gas storage, underground natural gas storage

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

GALBAVÝ, M. *Skladování plynu a zásobování plynem na Slovensku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 42 s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Martin Lisý, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu, ktorá nesie názov **Skladování plynu a zásobování plynem na Slovensku** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktoré tvoria prílohu tejto práce.

.....
Dátum

Meno a priezvisko

POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval vedúcemu Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za čas a odborné rady, ktoré mi pomohli pri tvorbe práce. Ďalej patrí moje poďakovanie priateľke, spolužiakom a kamarátom z vysokej školy a v neposlednom rade by som rád poďakoval svojim najbližším za podporu a ohľaduplnosť pri mojom štúdiu.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Zemný plyn.....	12
1.1 Vlastnosti	12
1.2 Vznik.....	14
1.3 Ťažba a úprava	15
1.4 Preprava	16
1.5 Vývoj využitia.....	17
2 Zásobovanie Slovenska zemným plynom	19
2.1 Spotreba plynu na Slovensku.....	19
2.1.1 Fungovanie trhu a štruktúra ceny plynu na Slovensku	20
2.2 Preprava plynu na Slovensku.....	21
2.3 Distribúcia zemného plynu na Slovensku.....	22
3 Skladovanie zemného plynu	24
3.1 Podzemné zásobníky.....	24
3.1.1 Typy podzemných zásobníkov	24
3.2 Zjednodušený proces vtláčania a ťažby zemného plynu zo zásobníku	26
3.3 Podzemné zásobníky na Slovensku	27
3.3.1 Nafta, a.s.....	27
3.3.2 Pozagas, a.s.	28
3.3.3 Podzemný zásobník Dolné Bojanovice (Česká republika)	28
3.3.4 Plánované podzemné zásobníky.....	29
4 Dôvody skladovania zemného plynu.....	30
4.1 Plynová kríza v roku 2009	31
4.2 Bezpečnostné opatrenia	32
4.2.1 Plynovod Eastring	33
4.2.2 Prepojovací plynovod Poľsko - Slovensko	34
4.2.3 Prepojovací plynovod Slovensko – Maďarsko	34
4.2.4 LNG.....	34
ZÁVER.....	35
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	36
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	40
ZOZNAM OBRÁZKOV	41
ZOZNAM TABULIEK	42

ÚVOD

Získavanie tepelnej energie z rôznych dostupných zdrojov bolo a je pre ľudstvo veľmi dôležité. V priebehu času ľudia využívali rôzne zdroje ako palivo, od dreva až po nerastné suroviny, kde patrí aj zemný plyn. Využitie zemného plynu siaha do druhého storočia pred našim letopočtom, kedy bol využívaný pri extrahovaní morskej soli z morskej vody. Jeho použitie tak ako ho poznáme dnes začalo na začiatku šesťdesiatych rokov minulého storočia. Dôvody, vďaka ktorým sa zemný plyn začal využívať neskôr ako ropa alebo uhlie boli ťažšia dostupnosť (hlbka vrtoŧ) a nákladná doprava [18,19].

V súčasnosti je kladená veľká dôležitosť obnoviteľným zdrojom energie ako je napríklad energia získaná z veterných turbín, z vodných elektrární alebo zo slnka. Na vývoj technológií súvisiacich z obnoviteľnými zdrojmi je vyvíjaný veľký tlak, pretože sú považované za čistejšie zdroje energie. Avšak stále to nie je dostačujúce na to, aby boli využívané viac ako nerastné suroviny [21,22].

V dnešnej dobe je na Slovensku zemný plyn druhým najväčším zdrojom energie, hneď po jadrovej energii. Slovensko má vysokú mieru plynofikácie a zároveň je ako krajina dôležitá z hľadiska tranzitu, pretože predstavuje najväčší vstupný bod a tranzitnú trasu pre plyn z Ruska do Európy [48].

Cieľom tejto práce je ukázať dôležitosť zemného plynu pre Slovensko. Hlavná časť je venovaná popisu zásobovania, dôvodov a spôsobov skladovania a jednotlivých skladovacích staníc nachádzajúcich sa na Slovensku.

1 Zemný plyn

Zemný plyn je horľavý plyn prírodného pôvodu a popredným fosílnym palivom. Je to zmes plyných uhlíkov, kde má hlavné zastúpenie metán (93 až 99% objemu). Obsah tvorí aj etán, propán, bután a ďalšie látky. Zemný plyn nachádza uplatnenie ako palivo, pretože sa pri jeho spaľovaní uvoľňuje veľké množstvo tepelnej energie a slúži taktiež ako primárna surovina pri výrobe syntetických polymérov a rôznych chemických výrobkov, ako sú napríklad dusíkaté hnojivá. Vo forme stlačeného zemného plynu (CNG) sa využíva ako alternatívne palivo pre spaľovacie motory. Podľa toho kde zemný plyn vzniká ho delíme na [1,2,3]:

- uhoľný plyn – vzniká pri vytváraní uhlia,
- ropný plyn – vzniká z ropy pod vplyvom teploty a tlaku.

Tab. 1. 1 Zloženie zemného plynu na Slovensku v roku 2018 [4]

Rok 2018	Zloženie zemného plynu [mol. %]										
Mesiac	Metán	Etán	Propán	izo-Bután	n-Bután	izo-Pentán	n-Pentán	neo-Pentán	Hexán + vyššie	Oxid uhličitý	Dusík
I.	94,7246	2,8352	0,7316	0,1070	0,1172	0,0255	0,0189	0,0017	0,0275	0,5473	0,8637
II.	94,9280	2,7272	0,7074	0,1042	0,1133	0,0247	0,0182	0,0017	0,0253	0,5040	0,8461
III.	95,3658	2,4716	0,6724	0,1007	0,1070	0,0229	0,0166	0,0015	0,0216	0,4069	0,8131
IV.	94,9057	2,6202	0,7306	0,1047	0,1167	0,0256	0,0188	0,0013	0,0241	0,5574	0,8948
V.	95,6482	2,3678	0,6808	0,1067	0,1046	0,0212	0,0149	0,0010	0,0164	0,3050	0,7338
VI.	95,5696	2,4958	0,7547	0,1217	0,1163	0,0227	0,0157	0,0008	0,0152	0,2300	0,6575
VII.	95,5632	2,4202	0,7528	0,1179	0,1167	0,0232	0,0161	0,0007	0,0162	0,2330	0,7400
VIII.	96,0594	2,2525	0,5807	0,0967	0,0895	0,0183	0,0125	0,0009	0,0143	0,2387	0,6365
IX.	95,8175	2,3819	0,6470	0,1037	0,0973	0,0194	0,0133	0,0009	0,0140	0,2416	0,6634
X.	95,7560	2,3139	0,6886	0,1050	0,1037	0,0205	0,0144	0,0007	0,0141	0,2628	0,7203
XI.	95,7947	2,3018	0,6642	0,1024	0,1014	0,0203	0,0143	0,0009	0,0154	0,2707	0,7140
XII.	95,2425	2,5784	0,6772	0,1007	0,1058	0,0223	0,0161	0,0016	0,0209	0,4434	0,7908

1.1 Vlastnosti

Zemný plyn je bezfarebný, beztvárny, bez chuti a s hmotnosťou nižšou ako vzduch. Keďže ho vďaka jeho prirodzenému zápachu nie je možné identifikovať z dôvodu bezpečnosti a lepšej identifikácie sa doň pri úprave pridáva odorant – látka, ktorá vytvára charakteristický zápach a ktorá slúži na odhalenie možného úniku. Na odhalenie úniku plynu sa používajú aj meracie prístroje. Zemný plyn tvorí spolu so vzduchom horľavú zmes, pokiaľ je rozsah plynu vo vzduchu 5-15%, pričom najúčinnější alebo ideálna zmes je taká, ktorá obsahuje 10 % plynu. Horľavá zmes zemného plynu vo vzduchu sa nezapáli, kým sa teplota nezvýši na minimálnu teplotu vznietenia, ktorá je 650 °C [1,2,3,5,6,7].

Vďaka rozvoju plynifikácie postupne prichádzalo k nahradzovaniu tuhých a kvapalných palív zemným plynom. Táto zmena mala za následok zníženie emisií skleníkových plynov, vďaka efektívnejšiemu a ekologickejšiemu zdroju. Spaľovanie zemného plynu je čistejšie s najmenším podielom oxidu uhličitého v porovnaní s ostatnými fosílnymi palivami. Neobsahuje takmer žiadne zložky, ktoré podmieňujú vznik škodlivých látok ako napríklad síru, fluór, chlór, a ich zlúčeniny. Splodiny, ktoré vznikajú pri spaľovaní zemného plynu sú nejedovaté, bez zápachu,

bez sadzí a dymu. Preto je zrejmé, že na základe týchto faktov ide o najčistejší zdroj fosilného paliva [1,2,3].

Pri spaľovaní zemného plynu je podstatné koľko energie je možné získať z daného objemu plynu. Zloženie a výhrevnosť plynu závisí od jeho náleziska (pôvodu), pričom sa vlastnosti, ktoré definujú zemný plyn nazývajú výhrevnosť zemného plynu (značka Q_i) a spaľovacie teplo (značka Q_s). Obe vlastnosti určujú množstvo tepla, ktoré je možné získať úplným spálením jednotkového množstva plynu (m^3), pri atmosférickom tlaku a konštantnej teplote $15\text{ }^\circ\text{C}$. Pre vykurovacie plyny sa teplo a výhrevnosť vyjadrujú v $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ resp. v $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty spaľovacieho tepla nachádzajú uplatnenie najmä v plynárenstve, pretože predstavujú krajné množstvo energie, ktoré je možné získať z jednotkového množstva plynu za predpokladu ochladenia spalín pod rosný bod. Pomer Q_s/Q_i má pri bežných plynach hodnotu 1,11, z čoho vyplýva, že spaľovacie teplo je o 11 % vyššie ako výhrevnosť [1,2,5].

Tab. 1. 2 Vlastnosti zemného plynu [3]

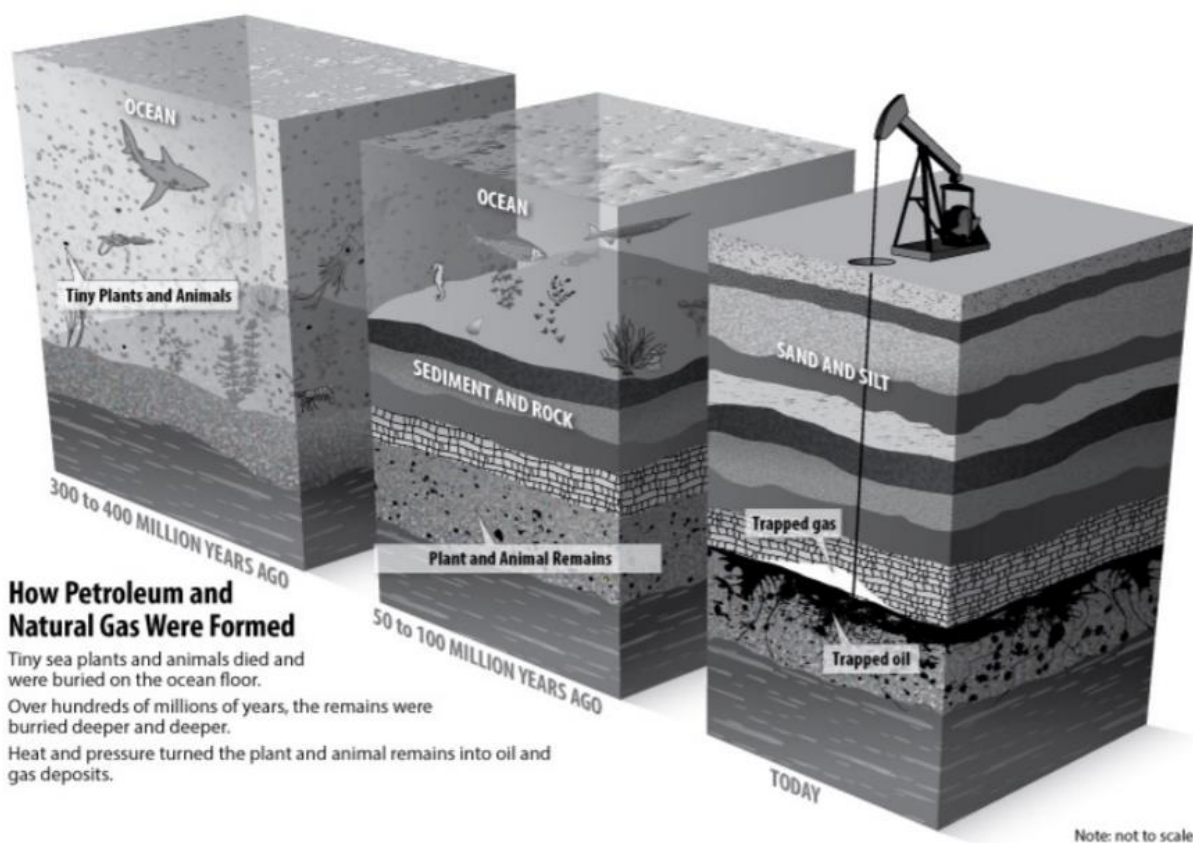
vlastnosť zemného plynu	priemerná hodnota
výhrevnosť	34,08 MJ/m ³
spálené teplo	37,82 MJ/m ³
hustota	0,69 kg/m ³
medza výbušnosti	5 – 15 %
zápalná teplota	650 °C
množstvo spaľovacieho vzduchu	9,56 m ³ vzduchu/ m ³ zemného plynu
teplota plameňa	1 957 °C

V priebehu histórie plynárenstva sa používali na energetické účely rôzne plyny. Z hľadiska použitia dosiahli dôležitejšie postavenie iba plyny, ktoré sú vyrobené odplynovaním alebo splynovaním uhlia, kvapalné plyny na báze propánu a butánu a zemný plyn [8].

- Vykurovacie plyny, ktoré sú vyrobené odplynovaním alebo splynovaním uhlia sa zaraďujú medzi stredné výhrevné plyny a ich názov je koksárenský plyn alebo svietiplyn. Pretože sa v ich obsahu nachádza veľké množstvo oxidu uhoľnatého sú tieto plyny jedovaté. Ich obsah tvorí metán, oxid uhoľnatý a vodík, ďalej obsahujú vyššie uhl'ovodíky, dusík a oxid uhličitý. Spalné teplo sa pohybuje v rozsahu 17 – 20 MJ/m³.
- Vykurovacie plyny na báze propánu a butánu sa zaraďujú medzi vysoko výhrevné plyny. Sú to buďto čisté plyny alebo zmes pod označením propán-bután. Dodávajú sa v kvapalnom skupenstve. Ich spalné teplo je závislé na pomere propán/bután v zmesi. Nachádza sa v intervale od 101,7 MJ/m³ (čistý propán) do 133,9 MJ/m³ (čistý bután).
- Vykurovacie plyny, ktoré obsahujú veľké množstvo metánu sa zaraďujú medzi vysoko výhrevné vykurovacie plyny. Sú to zemné plyny – uhoľný plyn, ropný plyn a bioplyn. Ich hlavnou zložkou je metán a taktiež obsahujú inertné plyny a vyššie uhl'ovodíky. Spalné teplo závisí od obsahu metánu. Nachádza sa v intervale od 20 MJ/m³ (uhol'né s vysokým obsahom inertných plynov, bioplyny) do 40 MJ/m³ (pričom sa spalné teplo môže zvýšiť pri prítomnosti vyššieho obsahu vyšších uhl'ovodíkov) [8].

1.2 Vznik

Do dnešného dňa nie je úplne známe ako zemný plyn vznikol, avšak teórií o jeho vzniku je viacero. Zemný plyn sa považuje za fosílné palivo, pretože bol podľa najrozšírenejšej organickej teórie vytvorený z pozostatkov malých morských živočíchov a rastlín, ktoré uhynuli pred 300 až 400 miliónmi rokov. Tento proces je znázornený na obrázku 1.1. Keď tieto drobné morské živočíchy a rastliny uhynuli, klesli na dno oceánov, kde boli usadené pod vrstvami sedimentu, z ktorých vznikli skaly. V priebehu miliónov rokov bolo usadených nespočetné množstvo vrstiev, ktoré vytvorili veľmi hrubú sedimentárnu vrstvu. Pôsobením obrovského tlaku bola táto vrstva utlačovaná a pri premiestňovaní hlbšie a hlbšie do zemskej kôry, vystavovaná vyšším a vyšším teplotám. Kombinácia vysokého tlaku a vysokej teploty spôsobila, uvoľnenie uhlíkových väzieb, pri rozpade organického materiálu. Tento molekulárny rozpad mal za následok tvorbu zemného plynu, ktorý zostal uväznený v sedimentárnych vrstvách [9,10].



Obr. 1. 1 Proces tvorby zemného plynu podľa organickej teórie [10]

Podľa ďalšej organickej teórie sa zemný plyn nemusí tvoriť len hlboko pod zemou. Môže byť vytvorený malými mikroorganizmami nazývanými metanogény, ktoré žijú v črevách zvierat (vrátane ľudí) a v oblastiach s nízkym obsahom kyslíka. Napríklad skládky odpadov, ktoré sú plné rozkladajúcich sa látok a spôsobujú, že sa metanogény rozkladajú na typ metánu, ktorý sa nazýva biogénny metán. Proces metanogénov tvoriacich metán sa nazýva metanogéza [8,9].

Ďalšiu teóriu, ktorú berieme do úvahy je anorganická teória. Podľa ktorej vznikol zemný plyn vplyvom chemických reakcií z anorganických látok. Jedna z najnovších teórií o vzniku zemného plynu tvrdí, že zemný plyn vznikol pri štiepení uhl'ovodíkov, ktoré sa dostali na našu planétu z vesmírnej hmoty pri jej vzniku a je známa ako tzv. abiogenetická hypotéza [8,9].

1.3 Ťažba a úprava

Zemný plyn sa z hľadiska výskytu rozdeľuje na plyn, ktorý sa nachádza spolu s ložiskami ropy a na plyn, ktorý sa nachádza s ložiskami uhlia.

Ropný zemný plyn sa ukladá v póroch hornín, kde môže v priepustných vrstvách migrovať po celom ložisku. Pórovité horniny sú ohraňované vodou a nepriepustnými vrstvami, kde sa zemný plyn nahromaďuje už tisíce rokov nad vrstvami vody alebo ropy. Ťažba tohto plynu prebieha vrtmi, ktoré sú vedené priamo do pórovitých ložísk. Hĺbka vrtov sa pohybuje od 3 do 8 kilometrov. Ložiská ropného zemného plynu sa nachádzajú na pevnine (Rusko, Holandsko, Alžírsko) alebo pod morským dnom (napríklad v Severnom mori).

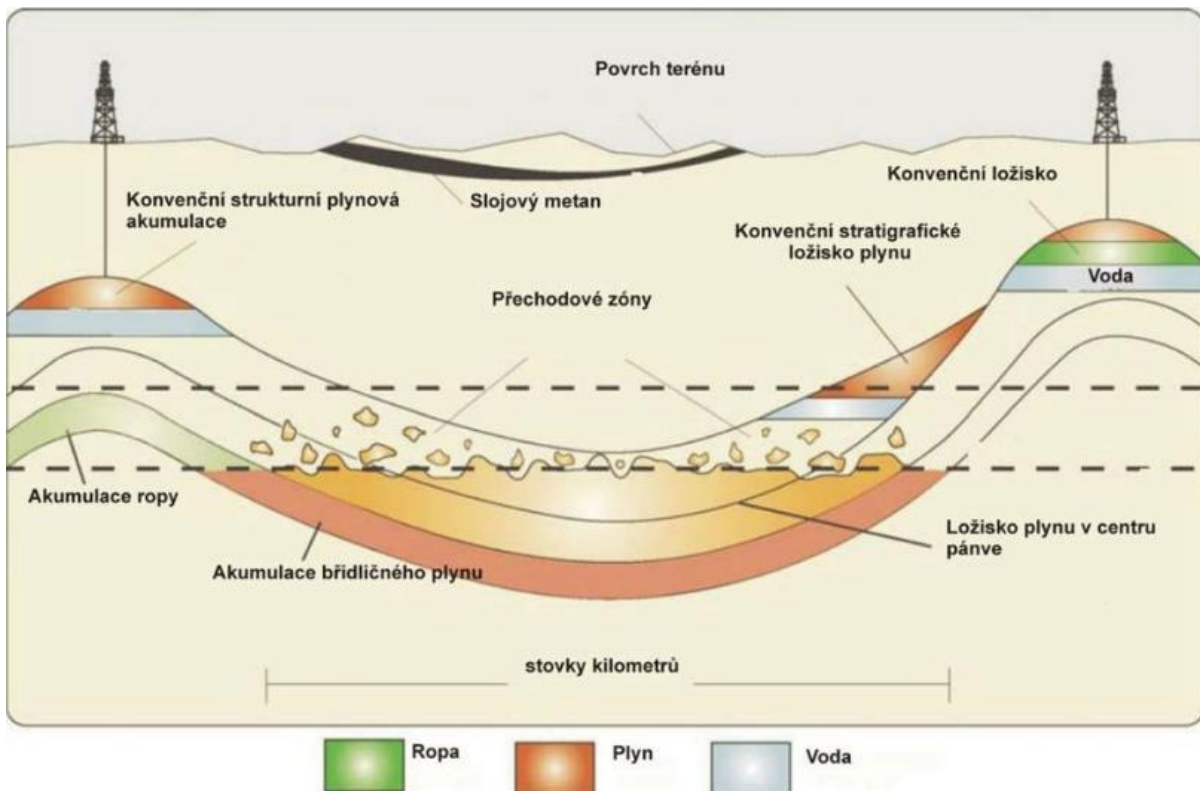
Uhoľný zemný plyn vznikol milióny rokov počas premeny rastlín z prvohôr na čierne uhlie a nachádza sa v ložiskách s čiernym uhlím. Pri ťažení čierneho uhlia je uvoľňovaný a z hľadiska bezpečnosti odsávaný ako tzv. degazačný plyn. Avšak existujú aj lokality, kde sa ropný zemný plyn ťaží dlhodobo. Na týchto miestach musí ťažbe predchádzať detailný prieskum vlastností uhlia, ložiska a pre dosiahnutie vyššej výťažnosti je potrebné umelé zvýšenie priepustnosti plynu uhoľných slojov [11,12,13,14].

Zemný plyn je možné ťažiť taktiež z nekonvenčných ložísk plynu. K takýmto typom ložísk patria napríklad bridlicové ložiská, kde sa plyn viaže v okolí bridlíc. Bridlicový plyn je usadený v hlboko v horninách, ktoré vznikli z nánosu bahna na dne prehistorických morí a obsahujú aj organický materiál. Objem plynu je obsiahnutý v lokálnom makroporéznom systéme v bridliciach alebo v mikropóroch. Technológie, ktoré sa používajú k ťažbe bridlicového plynu – frakovanie alebo hydraulické štiepenie sa v poslednom období stávajú predmetom mnohých debát a sporov [13,15].

Bridlicový plyn je považovaný za čistý a lacný zdroj energie, ktorý má schopnosť pomôcť zlepšiť energetickú bezpečnosť Európy, ale zároveň je tu aj prítomnosť obavy o negatívny dopad na životné prostredie, ktorý sa týka ťažby. Riziká spojené s negatívnym dopadom na životné prostredie sú: vplyv na zmenu klimatických podmienok, riziko zemetrasenia, kontaminácia podzemných vôd, veľká spotreba vody a vplyv frakovania na kvalitu vzduchu. Všeobecne je ťažba z bridlicových ložísk náročnejšia, pretože nie je možné ťažiť zvislým vrtom ale je potrebné vytvoriť sieť prepojených kanálikov aby sa dosiahol prístup. Hĺbka, objem a rýchlosť ťažby týchto vrtov je podobná ako pri konvenčných ložiskách. Z ekonomického hľadiska je dôležité aby hornina obsahovala dostatočný objem plynu [13,15].

Zemný plyn, ktorý sa vyťaží musí byť upravený predtým ako bude transportovaný diaľkovou dopravou a využitý na komerčné použitie. Technológia čistenia plynu je závislá predovšetkým na zložení plynu a jeho ložiska. Zemný plyn má obsah látok, ktoré môžu pôsobiť negatívne na systémy, ktoré sú zodpovedné za jeho distribúciu. Ide predovšetkým o sírne látky a vodu, ktoré spôsobujú koróziu distribučných zariadení. Vlhkosť a jej vysoký obsah môžu byť dôvodom,

pre ktorý dochádza k upchávaniu plynovodov, pretože voda môže pri určitej teplote a tlaku vytvoriť v kombinácii s metánom pevné hydráty. Plyn, ktorý je vytiažený obsahuje taktiež prach, ktorý môže byť zodpovedný za poruchy regulačných a kompresorových staníc. Vytiažený zemný plyn je po ťažbe vysušovaný, pretože je potrebné zbaviť sa pevných častíc (častíc prachu), prípadne dochádza k odstráneniu sírnych látok alebo vyšších uhlíkov ak je dokázaná ich prítomnosť [11,12,13,14].



Obr. 1. 2 Schéma znázorňujúca konvenčné a nekonvenčné ložiská plynu a ropy [15]

1.4 Preprava

Keďže sa ložiská zemného plynu častokrát nachádzajú vo vzdialených lokalitách, je potrebné ho efektívne dopraviť ku spotrebiteľom. V súčasnosti existujú dva spôsoby transportu upraveného zemného plynu. Prvá možnosť je preprava pomocou tankerov. Pre tento druh prepravy sa využíva skvapalnený zemný plyn – LNG (anglicky Liquefied Natural Gas). Skvapalnenie je energeticky náročný proces a dochádza pri ňom ku spotrebe okolo 10 – 15 % energie skvapalneného plynu alebo ekvivalentu inej energie. Uskutočňuje sa pomocou podchladenia na teplotu okolo 162 °C. Skvapalnený zemný plyn má zmenšený objem (približne o 600krát) a je prečerpávaný do tankerov, ktoré majú objem v radoch 100 000 m³. V cieľovej destinácii je prevedení do plynného stavu a prečerpávaný do zásobníkov, kde je pripravený na distribúciu v plynovodných systémoch. Výhodou tohto systému je, že je schopný reagovať na dopyt zákazníkov takmer kdekoľvek na svete a zároveň disponuje lepšou schopnosťou vyrovnáť sa s regionálnymi výkyvmi v dopyte plynu [9,11,16,17].

Druhý spôsob prepravy plynu je pomocou plynovodov. Plynovody sú z medeného alebo oceľového materiálu s vnútorným priemerom od 0,8 až do 1,4 m. Plynovody môžu byť buď podzemné (nachádzajú sa aj na morskom dne) alebo nadzemné, ktoré je uprednostňované na miestach, kde podzemné plynovody nemajú prístup alebo nie sú dostatočne ekonomické. Potrubia sú spojené vďaka zvarom, na ktorých je závislá bezpečnosť a straty. V potrubiach je plyn prepravovaný pri určitom tlaku. Úroveň tlaku je udržiavaná a ovládaná kompresnými stanicami, ktoré sú umiestňované spravidla každých 100 km. Plynovody je možné rozdeliť do niekoľkých kategórií na základe úrovne tlaku [9,11,16,17]:

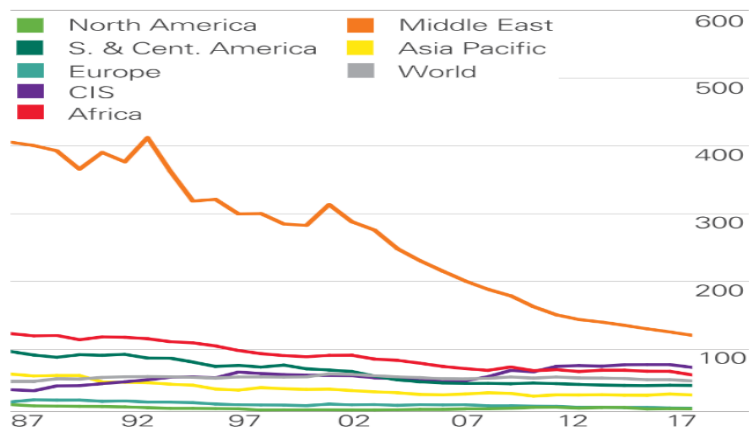
- nízkotlakové (NTL) – do 5 kPa;
- stredotlakové (STL) – od 5 kPa do 0,4 MPa;
- vysokotlaková (VTL) – od 0,4 MPa do 4 MPa;
- veľmi vysokotlakové (VVTL) – od 4 MPa do 10 MPa.

1.5 Vývoj využitia

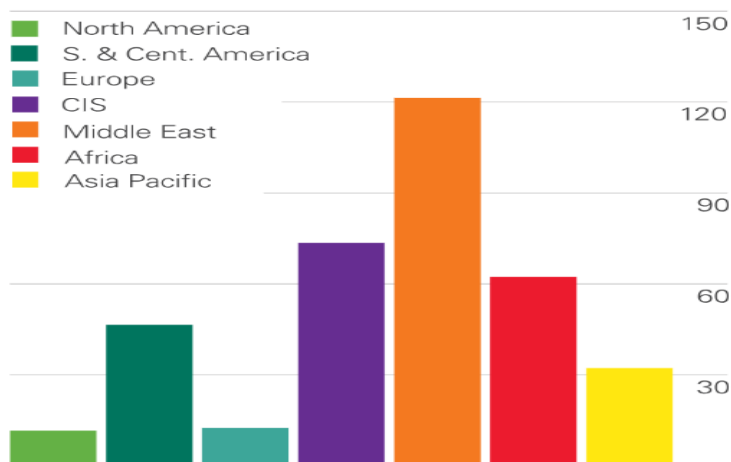
Zemný plyn bol používaný už v druhom storočí pred našim letopočtom pri extrahovaní morskej soli z morskej vody. Neskôr bol objavený francúzskymi výpravami v Amerike v sedemnástom storočí. Jedno z jeho prvých širších použití siaha do devätnásteho storočia, kedy bol využitý pri pouličnom osvetlení v Baltimore, USA. Avšak až na začiatku šesťdesiatych rokov minulého storočia začalo ťaženie a obchodovanie vo väčšej miere. Dôvody, vďaka ktorým sa zemný plyn začal využívať neskôr ako ropa a uhlie boli hĺbky vrtov a nákladná doprava. Doprava ropy bola jednoduchšia, pretože ju bolo schopné prepravovať aj v drevených sudoch, zatiaľ čo zemný plyn vyžadoval tlakové zásobníky a sieť plynovodov [18,19].

V roku 1973 sa svetové zásoby zemného plynu, ktoré boli preukázateľné zdvojnásobili. Aj keď spotreba stále rastie, rok čo rok sa predpokladaný počet rokov použitia zvyšuje. V roku 1973 bola odhadovaná doba 47 rokov, v roku 1989 až 60 rokov, kde sa táto hodnota pohybuje aj v súčasnosti [18].

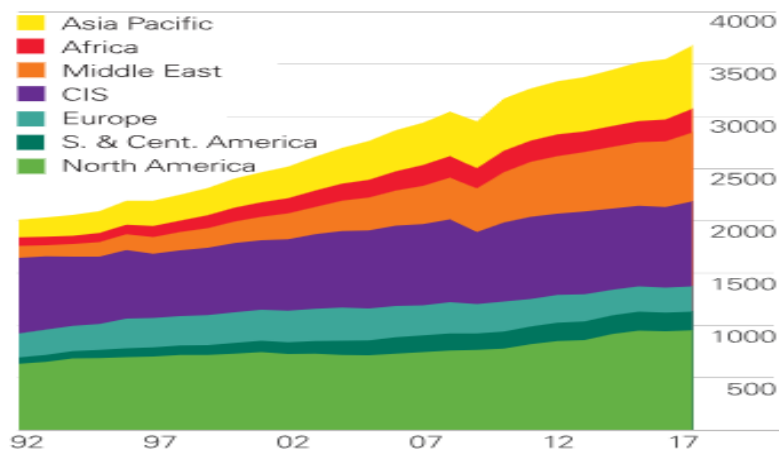
Svetová spotreba zemného plynu v roku 2018 vzrástla o 96 miliónov metrov kubických, čo je najviac od roku 2010. Tento nárast bol zaznamenaný hlavne v Číne, Strednom Východe a Európe, naopak pokles sa prejavil v Spojených štátoch amerických. Pomery rezerv ku produkcii od roku 1987 do roku 2017, pomery rezerv ku produkcii z hľadiska lokality resp. svetová produkcia zemného plynu, sú možné vidieť na Obr. 1.3 – Obr. 1.5 [20].



Obr. 1. 3 Pomer rezerv zemního plynu ku produkci od roku 1987 do roku 2017 [20]



Obr. 1. 4 Pomer rezerv zemního plynu ku produkci z hlediska lokality [20]



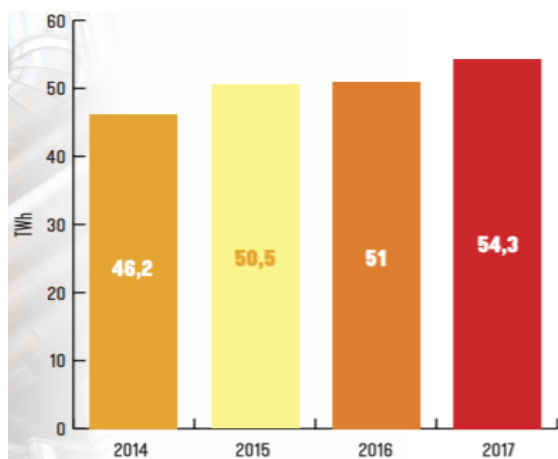
Obr. 1. 5 Produkcia zemného plynu vo svete v biliónoch metroch kubických [20]

2 Zásobovanie Slovenska zemným plynom

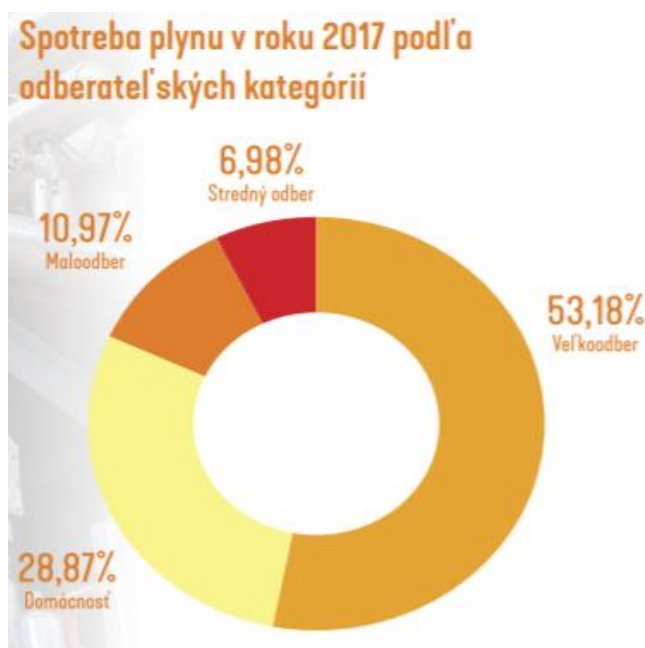
2.1 Spotreba plynu na Slovensku

Zemný plyn je v súčasnosti jedným z najdôležitejších a najvýznamnejších fosílnych palív zo skupiny neobnoviteľných zdrojov, ktorý je vďaka svojim vlastnostiam využívaný širokospektrálne. Je to druhý najväčší zdroj celkovej primárnej energie, hneď po jadrovej energii a primárny zdroj energie v oblasti vykurovania [21,22].

Spotreba zemného plynu na Slovensku bola v roku 2017 54,3 TWh, čo bolo približne o 6,5 % viac ako v roku 2016. Vývoj celkovej spotreby zemného plynu na Slovensku v rokoch 2014 až 2017 je znázornený na Obr. 2.1, pričom je možné sledovať tendenciu rastu, ktorá závisí od rôznych faktorov. Vyššia spotreba bola v roku 2017 ovplyvnená hlavne veľmi studeným januárom. Najväčšiu spotrebu mali priemyselní odberatelia, ktorých ročná spotreba dosahovala viac ako 4 000 000 kWh. Podiel domácností na celkovej spotrebe tvoril 28,87 %. Percentuálne znázornenie celkovej spotreby plynu na Slovensku odoberaný jednotlivými skupinami odberateľov je znázornený na Obr. 2.2 [23].



Obr. 2. 1 Vývoj spotreby zemného plynu na Slovensku v TWh [23]

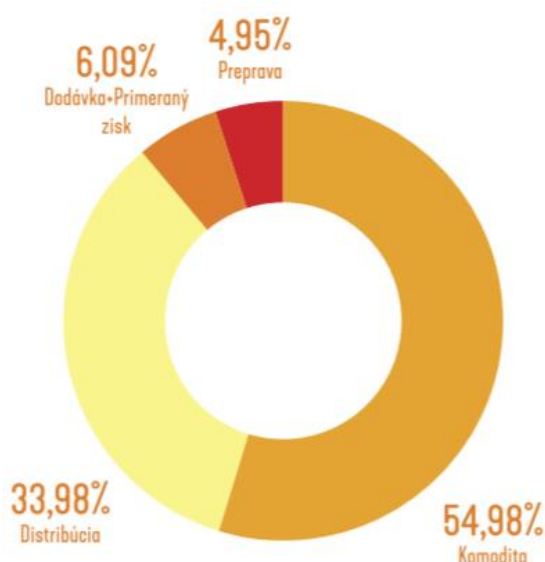


Obr. 2. 2 Spotreba plynu podľa odberateľských kategórií v roku 2017 [23]

2.1.1 Fungovanie trhu a štruktúra ceny plynu na Slovensku

Kľúčové oblasti vo fungovaní trhu so zemným plynom sú produkcia zemného plynu a infraštruktúra, ktorá pozostáva z prepravných a distribučných ciest, vďaka ktorým sa plyn dostáva cez dodávateľsko – odberateľský vzťah až ku koncovému zákazníkovi. Ďalšie úrovne, ktoré patria do fungovania trhu so zemným plynom môžu byť skladovacie stanice, ktoré slúžia na vykrývanie neúmernosti medzi dopytom a spotrebou v určitých časových obdobiach alebo obchodovanie, ktoré považuje plyn ako komoditu prostredníctvom plynárenských obchodných centier [21].

Každá z vyššie spomenutých oblastí má určitý vplyv na výslednú cenu pre zákazníka. Pričom najväčší podiel tvorí komodita – 54,98 %, ktorú nasleduje jej distribúcia – 33,98 %. A menší-nový podiel vytvára dodávka a primeraný zisk – 6,09 % a preprava zemného plynu – 4,95 %. Znázornenie zloženia ceny v roku 2017 je zobrazené na Obr. 2.3 a konkrétne ceny za jednotlivé tarify za rok 2017 zobrazuje Obr. 2.4 [21].



Obr. 2. 3 Zloženie priemernej ceny za dodávku plynu pre domácnosti v roku 2017 [23]

tarifa / ročný odber plynu	fixná mesačná sadzba (€/mesiac)	sadzba za odobratý plyn (€/kWh)	priemerná cena v tarife (€/kWh)
1 (do 2 138 kWh)	1,96	0,0434	0,0820
2 (nad 2 138 do 18 173 kWh)	5,76	0,0325	0,0374
3 (nad 18 173 do 42 760 kWh)	8,64	0,0310	0,0346
4 (nad 42 760 do 69 485 kWh)	13,36	0,0304	0,0333
5 (nad 69 485 do 85 000 kWh)	42,45	0,0399	0,0467
6 (nad 85 000 do 100 000 kWh)	51,78	0,0398	0,0466

Obr. 2. 4 Priemerná cena za dodávku plynu pre domácnosti v roku 2017 [23]

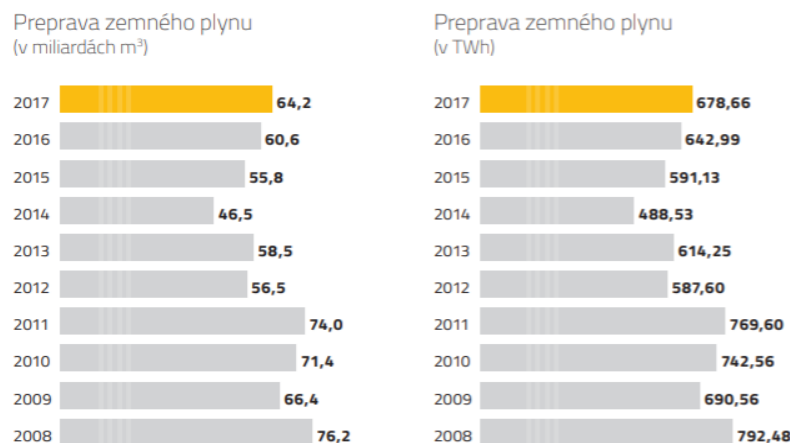
2.2 Preprava plynu na Slovensku

Slovensko je primárnym dovozcom zemného plynu, pričom jeho dovoz predstavuje približne 98 % z celkovej domácej spotreby. Krajina je taktiež dôležitá z hľadiska tranzitu, pretože predstavuje najväčší vstupný bod a tranzitnú trasu pre plyn z Ruska do Európy [22].

Za prepravu plynu a prevádzkovanie prepravnej siete na vymedzenom území na Slovensku je zodpovedná jediná spoločnosť – Eustream, a.s. (v minulosti SPP – preprava, a.s.). Vlastník, ktorý vlastní 100 % akcií je spoločnosť SPP Infrastructure, a.s. [24].

Prepravný systém Eustream sa považuje za významné energetické prepojenie medzi Ruskom a Európou. Je prepojený na hlavné prepravné trasy v Ukrajine, Českej Republike, Rakúsku a Maďarsku. Systém je zložený zo štyroch až piatich potrubí, ktoré sú uložené paralelne s priemerom 1,2/1,4 m a tlakom používaným v prevádzke 7,35 MPa. Štyri kompresorové stanice s výkonom takmer 500 MW sú zodpovedné za nepretržitý a súvislý tok plynu. Najdôležitejšia kompresorová stanica sa vyskytuje pri slovensko-ukrajinských hraniciach vo Veľkých Kapušanoch. Je to najväčšia kompresorová stanica v Európskej únii, ktorej celkový výkon dosahuje takmer 300 MW. Technická kapacita pre jeden deň na bode vstupu z Ukrajiny, Veľké Kapušany je 2028 GWh, čo tvorí 195 000 000 metrov kubických za deň. Všetky prepojenia, ktoré existujú medzi členskými štátmi EÚ dovoľujú obojstranný tok plynu. Eustream počas svojej existencie, ktorá sa datuje do roku 1970 prepravila viac ako 2,5 bilióna metrov kubických zemného plynu. Princíp na základe ktorého je možné sa dostať ku kapacitám zemného plynu je založený na Vstup – Výstup princípe. Jednotlivé lokality vstupných/výstupných bodov sú [24,25]:

- Veľké Kapušany (vstup/výstup prepravnej siete plynárenských zariadení na území Ukrajiny),
- Budince (vstup/výstup prepravnej siete plynárenských zariadení na území Ukrajiny),
- Lanžhot (vstup/výstup prepravnej siete plynárenských zariadení na území Českej republiky),
- Baumgarten (vstup/výstup prepravnej siete plynárenských zariadení na území Rakúska),
- Veľké Zlievce (vstup/výstup prepravnej siete plynárenských zariadení na území Maďarska).



Obr. 2. 5 Vývoj prepravy zemného plynu [25]



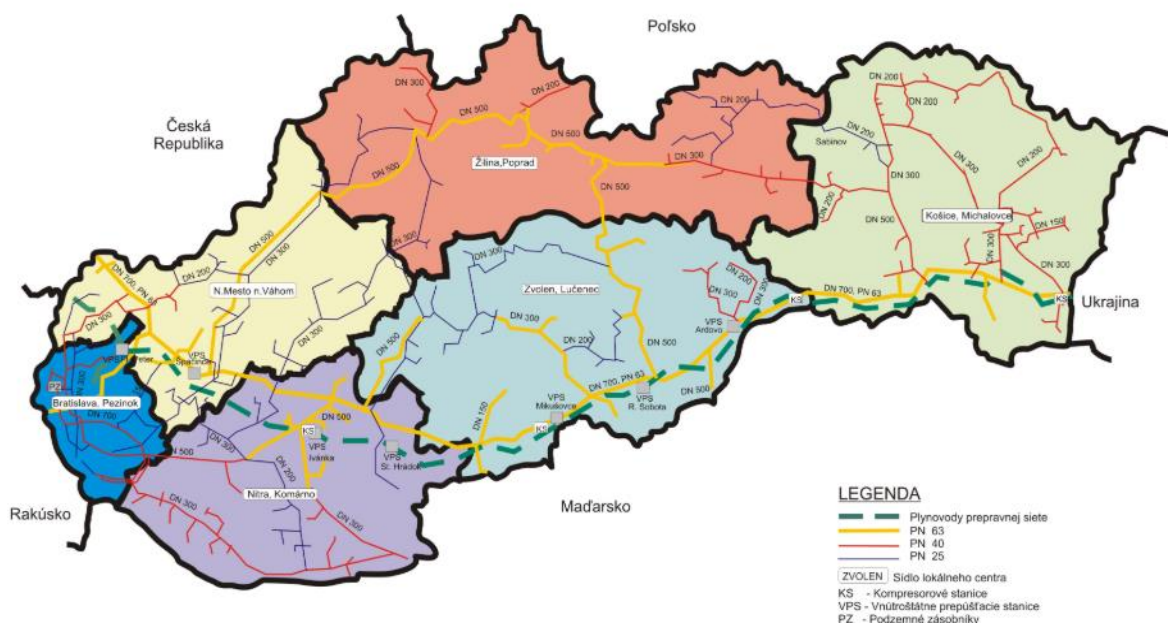
Obr. 2. 6 Prepravná sieť Eustream na Slovensku [25]

Medzinárodná doprava zemného plynu je pre Eustream najvýznamnejšia, avšak je tu taktiež potreba poskytnúť prepravu v rámci Slovenska pomocou distribučných sietí do/zo zásobníkov. Prepojené distribučné siete a zásobníky sú navzájom pripojené cez systém vnútroštátnych prepúšťacích staníc (VPS), slúžiacich pre fyzické vstupné/výstupné body do/z prepravnej siete. Jednotlivé fyzické body [24]:

- VPS Kittsee,
- VPS centrálny areál Nafta, a.s.,
- VPS Gajary,
- VPS Ardovo,
- VPS Mikušovce,
- VPS Špačince,
- VPS Plavecký Peter,
- VPS Ivanka pri Nitre,
- VPS Starý Hrádok,
- VPS Rimavská Sobota,
- VPS Ruská.

2.3 Distribúcia zemného plynu na Slovensku

Distribúciu zemného plynu zaisťuje hlavne SPP – distribúcia, a.s., ktorá je 100%-ná dcérska spoločnosť SPP, a.s., jej siete nájdeme po celom Slovensku a zodpovedá za distribúciu 98 % celkového objemu distribuovaného plynu. Mapu distribučných sietí znázorňuje Obr. 2.7 [21,27].



Obr. 2. 7 Mapa distribučných sietí [28]

Zemný plyn sa transportuje zo systému diaľkovej prepravy cez odovzdávacie stanice do vnútroštátneho systému prepravy. V odovzdávacích staniciach sa nachádzajú regulačné stanice, v ktorých dochádza ku zníženiu tlaku plynu na požadované hodnoty pre prevádzkovanie vnútroštátnych plynovodných systémov [26].

Pomocou systémov vysokotlakových plynovodov sa zemný plyn transportuje do jednotlivých plynofikovaných obcí. Kde sa najskôr zníži tlak plynu v regulačnej stanici. Rozvody, ktoré sa nachádzajú v obciach sú buď nízkotlakové (tlak plynu spĺňa požiadavky plynových spotrebičov a nemusí byť ďalej upravovaný) alebo strednotlakové. Strednotlakové rozvody majú vlastné regulátory, ktorými je tlak upravovaný na hodnotu potrebnú pre bezproblémové prevádzkovanie spotrebičov [26].

3 Skladovanie zemného plynu

Spotreba zemného plynu je počas roka nerovnomerná a môže kolísať. Existujú v podstate dve použitia zemného plynu v skladovacích zariadeniach: spĺňajú požiadavky sezónneho dopytu a slúžia ako poistka proti nepredvídateľným prerušeniam dodávky plynu. Na zvýšenie sezónneho dopytu sa využíva základná skladovacia kapacita. Zariadenia so základným zaťažením dokážu udržať dostatok zemného plynu pre uspokojenie dlhodobých požiadaviek sezónneho dopytu. Miera obratu zemného plynu v týchto zariadeniach je jeden rok. Zemný plyn sa vstrekuje do zásobníkov počas leta (mimo vykurovacej sezóny), zvyčajne od apríla do októbra. Sezónne zásobníky sú objemnejšie, ale ich denný výkon je relatívne nízky a obmedzený [34].

3.1 Podzemné zásobníky

Dôležitú súčasť plynárenského systému tvoria podzemné zásobníky plynu. Zemný plyn, podobne ako väčšina iných komodít, môže byť uskladnený na dobu neurčitú. Prieskum, ťažba a preprava zemného plynu si vyžadujú určitý čas a zemný plyn, ktorý sa dostane na miesto určenia nie je vždy potrebný ihneď, takže je vstrekován do podzemných zásobníkov. Spotreba je výrazne vyššia v priebehu zimy, pretože je zemný plyn využívaný hlavne na kúrenie. Strategicky, podzemné zásobníky zemného plynu slúžia pre sezónne regulovanie, čo znamená dorovnanie zvýšenej spotreby plynu v zimnom období jeho ťažbou zo zásobníkov, do ktorých sa plyn ukladá v letnom období, kedy je nižšia spotreba. Sú efektívne z finančného hľadiska – nákup plynu za nižšie ceny, jeho uskladnenie a následná ťažba v období vyšších cien. Zároveň zabezpečujú bezpečnosť dodávok v prípade narušenia výroby alebo transportu. Mohlo by to byť napríklad z politických dôvodov, komerčných dôvodov ako sú predajné ceny plynu alebo kvôli výpadku [29,30,31].

Naopak zásobníky, ktoré sú využívané pre špičkové zaťaženie sú navrhnuté tak, aby mali vysokú výkonnosť za krátku dobu, čo znamená, že v prípade potreby môže byť zemný plyn rýchlo odobraný zo zásobníka. Zariadenia špičkového zaťaženia sú určené na náhle zvýšenie krátkodobého dopytu. Tieto zariadenia nie sú objemné ako zariadenia pre základné zaťaženie, môžu však dodávať menšie množstvo plynu rýchlejšie a v kratšom čase ako zariadenia základného zaťaženia [34].

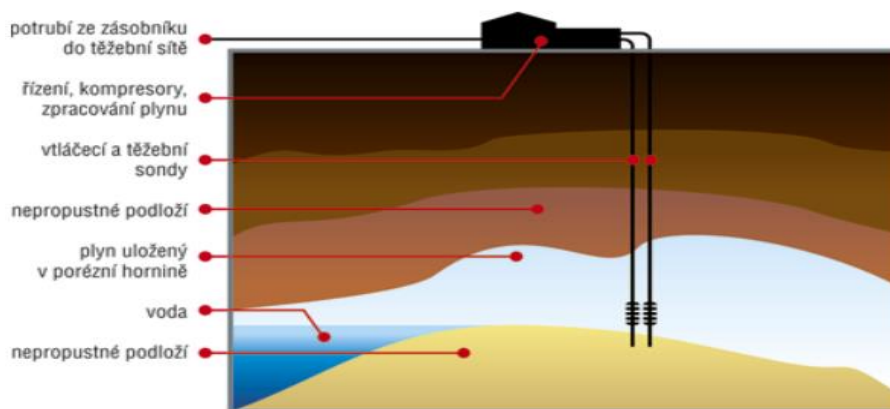
3.1.1 Typy podzemných zásobníkov

Porézne zásobníky

Sú najbežnejšou formou podzemných zásobníkov. Jedná sa väčšinou o vytŕažené ložiská ropy alebo zemného plynu, ktoré sa využívajú k opätovnému skladovaniu plynu. To zanecháva podzemnú formáciu geologicky schopnú udržať zemný plyn. Okrem toho, použitie už existujúceho rezervoára na účely skladovania umožňuje využitie extrakčného a distribučného zariadenia, ktoré bolo na danom mieste produktívne už v minulosti. Existencia extrakčnej siete znižuje náklady na premenu vyčerpaného rezervoára na podzemný zásobník. Vyčerpané ložiská sú atraktívne taktiež z dôvodu, že ich geologické charakteristiky sú už dobre známe. Z troch typov podzemných zásobníkov sú porézne zásobníky najlacnejšie a z hľadiska vývoja, prevádzky a údržby najľahšie dostupné [30,32,33,34].

Plyn je uskladnený v poréznych horninách, ktoré sú najčastejšie tvorené pieskovcom a rôznymi spevnenými pieskami obsahujúcimi ílovec. Tesniacu vrstvu ložiskových štruktúr tvoria nepriepustné horniny [33].

Z geologického hľadiska musia mať porézne zásobníky vysokú pórovitosť a priepustnosť. Pórovitosť danej formácie definuje množstvo zemného plynu, ktoré je možné zadržať. Priepustnosť definuje rýchlosť, ktorou prúdi zemný plyn cez formáciu, čo ovplyvňuje rýchlosť jeho vstrekovania a odoberania [34].



Obr. 3. 1 Porézny zásobník plynu.[33]

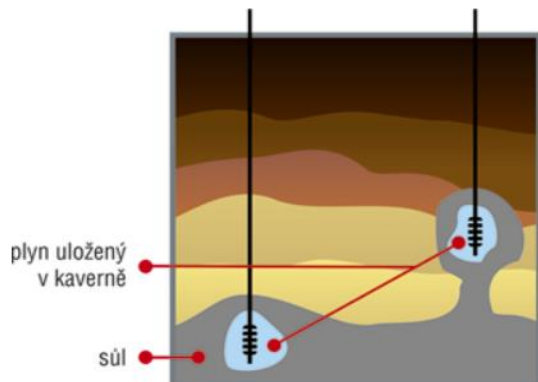
Aquifery

Jedná sa o horniny, ktoré plnia úlohu prirodzených vodných rezervoárov, ktoré sú vhodné pre uskladnenie plynu. Priestor pre uskladnenie vznikne umelým vytlačením vody do nižších úrovní. Aquifery sú z mnohých dôvodov najmenej žiadaným a najdrahším typom zásobníkov plynu. Ich geologická charakteristika nie je tak dôkladne známa, ako u poréznych zásobníkov. Podstatné množstvo času a financií je potrebné investovať do objavovania geologických charakteristík aquiferov a určovania vhodnosti zásobníku pre skladovanie zemného plynu. Vznik aquiferu si vyžaduje vybudovanie infraštruktúry. To zahŕňa inštaláciu studní, extrakčných zariadení, potrubí, zariadení na odvodňovanie a prípadne kompresné zariadenia. Pretože aquifery sú prirodzene naplnené vodou, v niektorých prípadoch sa musí použiť výkonné vstrekovacie zariadenie, kvôli dosiahnutiu dostatočného vstrekovacieho tlaku, aby došlo k vytlačeniu vody a jej nahradeniu zemným plynom. Zemný plyn po extrakcii z vodnej vrstvy zvyčajne vyžaduje ďalšiu dehydratáciu pred prepravou, ktorá je uskutočňovaná v špecializovanom zariadení v blízkosti vrtu. Aquifery nie sú schopné udržať rovnaké množstvo zemného plynu ako porézne zásobníky. To znamená, že časť zemného plynu, ktorý je vstrekováný, uniká zo zariadenia a musí byť zhromažďovaný a extrahovaný „zberačovými“ studňami, ktoré sú špeciálne navrhnuté pre zachytávanie plynu, ktorý môže unikáť z aquiferov. Existuje len obmedzené množstvo úložísk tohto typu, ktoré sa nachádzajú v oblastiach, kde neexistujú iné alternatívy [30,32,34].

Porézne zásobníky a aquifery majú veľkú uskladňovaciu kapacitu ale menší denný výkon. Sú označované ako sezónne zásobníky [29].

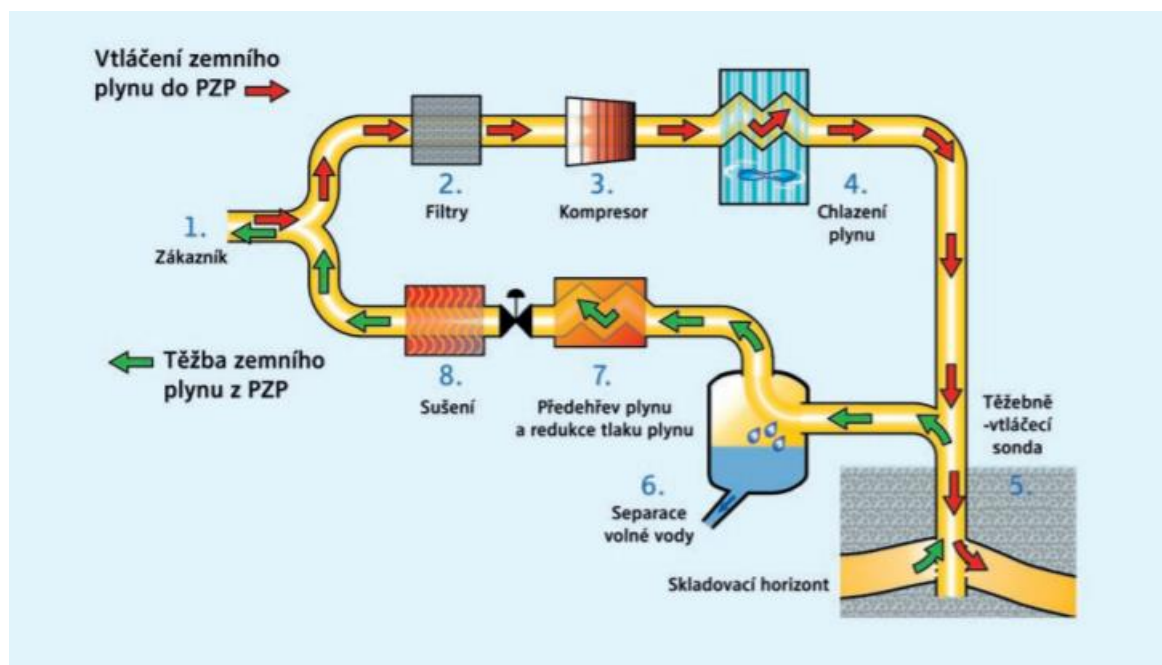
Kavernové zásobníky

Sú špeciálnym typom zásobníka plynu. Jedná sa o umelé dutiny, ktoré vznikli po ťažbe hornín – soľné kaverny, opustené uhoľné alebo iné doly alebo priestory vytŕažené priamo za účelom skladovania plynu. Výhoda týchto zásobníkov je ich veľká flexibilita. Slúžia ku pokrytiu spotreby zemného plynu pri krátkych obdobiach, kedy je potrebné veľké množstvo plynu v krátkom časovom období. Je možné ich v priebehu roka dopĺňať na maximálnu kapacitu. Nazývajú sa aj ako špičkové zásobníky [33].



Obr. 3. 2 Kavernový zásobník [33]

3.2 Zjednodušený proces vtláčania a ťažby zemného plynu zo zásobníku

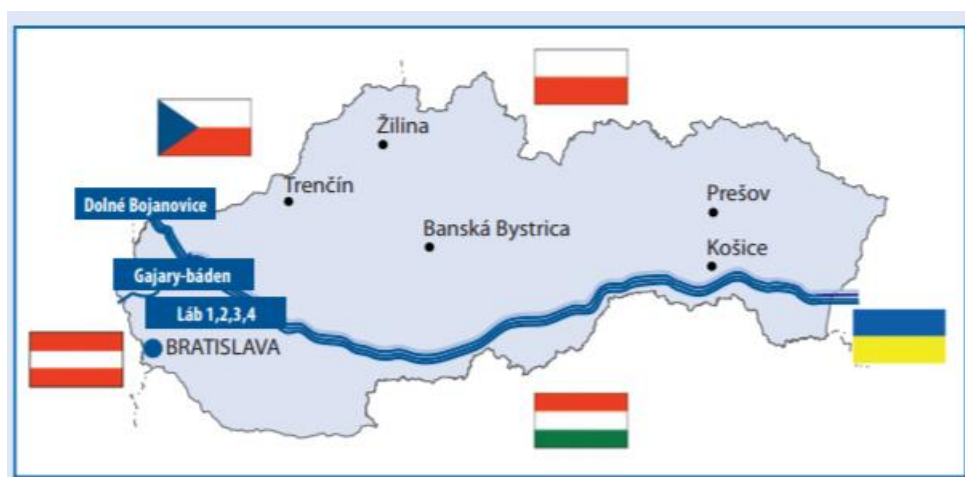


Obr. 3. 3 Zjednodušený proces vtláčania a ťažby zemného plynu zo zásobníku [35]

3.3 Podzemné zásobníky na Slovensku

V lokalite, ktorá sa z geologického hľadiska nazýva Viedenská panva a ktorá sa nachádza v západnej časti Slovenska na Záhorí sa nachádza komplex piatich podzemných zásobníkov. Sú prevádzkované dvomi spoločnosťami – Nafta, a.s. a Pozagas, a.s. Spoločnosť Nafta, a.s. má pod sebou podzemné zásobníky Láb 1,2,3 a Gajary-Báden, zatiaľ čo v pôsobnosti Pozagas, a.s. je podzemný zásobník Láb 4 [36].

História podzemného skladovania siaha do roku 1973, kedy sa začali budovať technologické zariadenia prvej etapy podzemných zásobníkov zemného plynu (PZZP) v katastri obce Plavecký Štvrtok, kde neskôr vyrástol Centrálny areál PZZP Láb. Jedna z výhod výstavby komplexu zásobníkov bola aj jeho lokalita strategicky umiestnená v blízkosti rozdeľovacieho uzla tranzitnej sústavy, kde jedna vetva smeruje do Českej republiky a druhá do Rakúska. Všetky podzemné zásobníky nachádzajúce sa na území Slovenska sú porézne zásobníky, ktoré sa nachádzajú v hĺbke 342 m až 1780 m v závislosti od skladovacieho objektu [36,37].



Obr. 3. 4 Podzemné zásobníky plynu na Slovensku [36]

3.3.1 Nafta, a.s.

Spoločnosť Nafta, a.s. prevádzkuje štyri podzemné zásobníky zemného plynu – PZZP Láb 1,2,3 a Gajary-Báden. V roku 1977 bola uvedená do skúšobnej prevádzky prvá etapa výstavby podzemných zásobníkov s ročnou skladovacou kapacitou 200 miliónov m³ a v ďalších dvoch rokoch došlo k navýšeniu na 350 miliónov m³. V roku 1984, v rámci tretej etapy výstavby podzemných zásobníkov Láb bola skladovacia kapacita na úrovni 1 miliardy m³ plynu. Neustále rozširovanie kapacity zásobníkov od roku 2003 do roku 2012, znamenalo, že objem dosiahol úroveň 2,4 miliardy m³. Dôležitým míľnikom bolo nedávne uzavretie druhej etapy Gajary-Báden a uvedenie do prevádzky Centrálného areálu Gajary. Podzemný zásobník Gajary-Báden patrí medzi najmodernejšie zásobníky v Európe. Po dobudovaní projektu v roku 2014 dosiahla uskladňovacia kapacita Nafty, a.s. až 2,5 miliardy m³. V súčasnosti podzemné zásobníky Nafta, a.s. dokážu pokryť viac ako polovicu objemu spotreby Slovenska [38,47].

Tab. 3. 1 Technická uskladňovacia kapacita Nafta, a.s. ku dňu 1.4.2019 [39].

Technická uskladňovacia kapacita	[mil. m ³]	[GWh]
Pracovný objem	2 978	31 598
Vtlačný výkon	31,8	338
Ťažobný výkon	36,9	392

Objemové množstvá sú vyjadrené v m³ pri teplote 15 °C, tlaku 101,325 kPa a vlhkosti 0 %. „Technickou kapacitou zásobníka“ sa rozumie maximálny pevný pracovný objem, maximálny pevný vtlačný výkon a maximálny pevný ťažobný výkon, ktoré môže prevádzkovateľ zásobníka poskytnúť účastníkom trhu s plynom pri zohľadnení integrity a prevádzkových požiadaviek zásobníka, ktoré sú určené fyzickou charakteristikou zásobníka a plynárenským zariadením nadväzujúcim na zásobník;) [40].

3.3.2 Pozagas, a.s.

Spoločnosť Pozagas, a.s. je zodpovedná za prevádzku podzemného zásobníka zemného plynu Láb 4. Hlavnou výhodou je jeho dôležitá strategická poloha. Nachádza sa vo východnej časti Viedenskej panvy v blízkosti mesta Malacky. Podzemný zásobník je priamo prepojený na plynárenský uzol Virtuálny obchodný bod Rakúsko, a zároveň sa v jeho blízkosti nachádzajú prepravné trasy zemného plynu cez Českú republiku a Rakúsko. Hĺbka ložísk je 620 – 1050 metrov. Prevádzkové tlaky sa pohybujú v rozpätí od 4 do 13,5 MPa [41].

Tab. 3. 2 Technická uskladňovacia kapacita Pozagas, a.s. ku dňu 1.4.2019 [41].

Technická uskladňovacia kapacita	[mil. m ³]	[GWh]
Pracovný objem	655	6 947
Vtlačný výkon	6,85	72,66
Ťažobný výkon	6,85	72,66

3.3.3 Podzemný zásobník Dolné Bojanovice (Česká republika)

Slovensko môže využívať okrem vyššie spomenutých zásobníkov aj časť kapacity podzemného zásobníka nachádzajúceho sa na území Českej republiky. Zásobník bol vybudovaný v roku 1999 spoločnosťou SPP Bohemia, a.s. a nachádza sa v jednej z najvýznamnejších ropno-plynových lokalít v Českej republike. V súčasnosti je prevádzkovaný spoločnosťou SPP Storage, s.r.o. Je to flexibilný zásobník, čo znamená, že zemný plyn je možné do zásobníka po 6 hodinách vtlačiť a následne vytŕažovať [36,42].

Tab. 3. 3 Technická uskladňovacia kapacita PZZP Dolné Bojanovice, ku dňu 1.4.2019 [43].

Technická uskladňovacia kapacita	[mil. m ³]	[GWh]
Pracovný objem	576	6 117
Vtlačný výkon	7	74,34
Ťažobný výkon	9	95,58

3.3.4 Plánované podzemné zásobníky

PZZP Veľké Kapušany

Spoločnosť Nafta, a.s. má v pláne vybudovať podzemný zásobník zemného plynu Veľké Kapušany, ktorý by mal podporiť bezpečnosť dodávok zemného plynu v regióne. Dôležitú úlohu tvorí strategická lokalizácia na východnej hranici Európskej únie, v blízkosti jednej zo vstupných brán zemného plynu do Európskej Únie – kompresorovej stanice vo Veľkých Kapušanoch, kde sa stretávajú 3 existujúce a 2 plánované trasy plynovodov. V súčasnosti sa na danom území nevyskytuje žiadna uskladňovacia kapacita. Ložisko nedisponuje najvhodnejšími vlastnosťami pre skladovanie, pretože zásobníková štruktúra sa rozkladá do viacerých tektonických zlomov so zlou komunikáciou. V prípade realizácie by bolo potrebné navrtáť 13 nových sond, čo by sa prejavilo na ekonomike celého projektu. Predpokladané technické parametre projektu sú: 340 mil. m³ uskladňovacia kapacita, 3,75 mil. m³/deň vtlačná a ťažobná kapacita. Začiatok výstavby zatiaľ nebol určený [36,44].

PZZP Sered' – Križovany nad Dudváhom

Lokalita Sered' – Križovany nad Dudváhom sa nachádza na západnom Slovensku. Jej výhodou je lokalita v blízkosti tranzitných plynovodov. Avšak za nevýhodu možno považovať vysoký obsah CO₂, ktorý sa pohybuje okolo 75 %, čo by znamenalo vysoké technologické náklady. Projekt bol navrhnutý spoločnosťou J & F s. r. o. a schválený Ministerstvom životného prostredia SR v roku 2007. Predpokladaná kapacita ložiska sa pohybuje v rozmedzí 6,3 – 8,6 mld. m³ s vtlačno-ťažobným výkonom 10 – 15 mil. m³/deň. Podľa návrhu projektu mala výstavba začať v roku 2008 a byť ukončená v priebehu 4 – 5 rokov. V súčasnosti PZZP Sered' – Križovany nad Dudváhom nie je v prevádzke [36,45].

PZZP Golianovo

Obec Golianovo sa nachádza v blízkosti mesta Nitra na západnom Slovensku. Predpokladaný podzemný zásobník by mal mať kapacitu 1,5 mld. m³. Projekt bol schválený v roku 2008, avšak až v roku 2016 spoločnosť Bellgas s.r.o. predložila návrh na posúdenie vplyvov na životné prostredie svoj investičný zámer na výstavbu plynovodu, ktorý by prepájal kompresorovú stanicu v Ivanke pri Nitre s plánovaným zásobníkom v obci Golianovo. PZZP Golianovo momentálne nie je v prevádzke [46].

4 Dôvody skladovania zemného plynu

Zemný plyn je možné podobne ako väčšinu iných komodít uskladniť na dobu neurčitú. Táto vlastnosť mu dodáva výhodné postavenie a aj vďaka nej je možné vykrývať náročné požiadavky kladené odberateľmi. Prieskum, ťažba a preprava zemného plynu si vyžadujú určitý čas a zemný plyn, ktorý sa dostane na miesto určenia niekedy nenachádza využitie ihneď, takže je potrebné jeho uskladnenie. Spotreba zemného plynu je počas roka nerovnomerná a môže kolísať, pretože zemný plyn je sezónnym palivom. Jeho spotreba závisí predovšetkým na druhu odberu a ročnom období. To znamená, že dopyt po zemnom plyne je najvyšší počas zimného obdobia kedy sa využíva na vykurovanie a najnižší počas letného obdobia [34,36].

Skladovanie zemného plynu zohráva dôležitú úlohu pri udržiavaní spoľahlivosti a rovnomernosti dodávok potrebných na uspokojenie požiadaviek spotrebiteľov. Ďalšie dôvody pre uskladňovanie zemného plynu sú: zvýšenie cenovej efektívnosti prepravy plynu, zníženie ťažby zemného plynu v štátoch Európskej únie, dlhé transportné trasy a narastajúci dopyt po zemnom plyne v štátoch Európskej únie. Pre skladovanie zemného plynu slúžia podzemné zásobníky, ktoré sa využívajú pre sezónne regulovanie, to znamená dorovnanie zvýšenej spotreby zemného plynu počas zimného obdobia ťažbou zo zásobníkov do ktorých sa plyn uložil počas letného obdobia, kedy je dopyt nižší. Skladovanie zemného plynu je tiež spôsob ako udržať potrebnú flexibilitu počas krátkych období (niekoľko dní) alebo počas dňa. Spotreba zemného plynu sa môže výrazne líšiť od obdobia k obdobiu, kedy môže byť ovplyvňovaná hlavne počasím ale aj inými udalosťami ako sú napríklad školské prázdniny, pracovné dni/víkendy [31,36,53].

Požiadavky na dodávku plynu sa líšia v rozmedzí [36]:

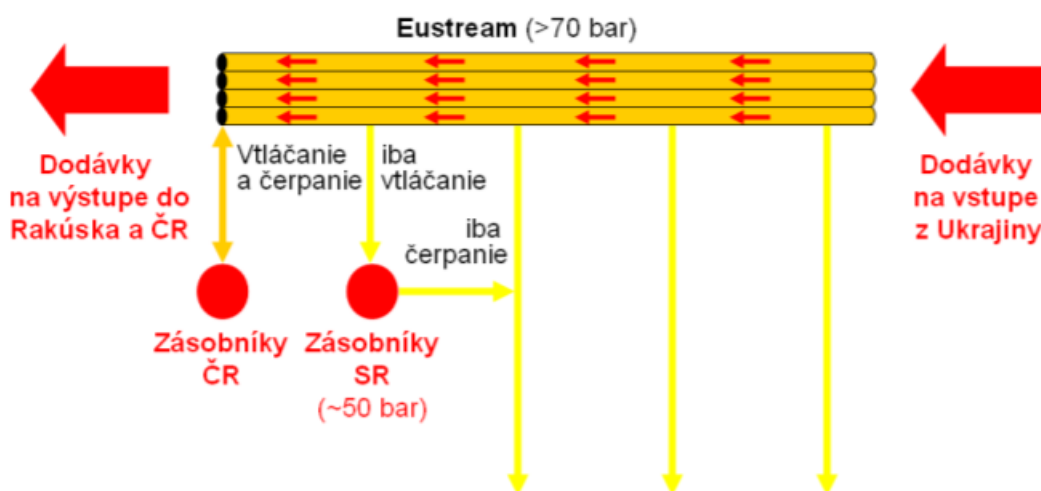
- hodín: jedná sa o najkratší časový úsek. Špička odberu na vykurovanie a kogeneračné zdroje je ráno a neskoro popoludní. Spotreba plynu v noci je relatívne nízka;
- dní: je najviac pozorovateľná pri výrobe elektriny v paroplynových cykloch;
- týždňov: spotreba plynu kolíše a je závislá na vonkajších faktoroch;
- ročných období (sezón): vysoká spotreba v zime a nízka spotreba v lete;
- rokov: niektoré roky sú z teplotného hľadiska teplé alebo priemerné, iné chladné alebo dokonca extrémne chladné. Taktiež obdobie rastu ekonomiky môže mať výrazný vplyv na spotrebu a dodávku zemného plynu.

V poslednom období je význam skladovania zemného plynu v podzemných zásobníkoch daný do popredia, pretože je považované za nástroj bezpečnosti dodávok plynu v prípade nepredvídateľných situácií. Plynová kríza v roku 2009 zvýraznila toto tvrdenie. Počas tohto obdobia bolo Slovensko odstavené od dodávky zemného plynu z Ruska na dlhých 11 dní a aj vďaka skladovaniu zemného plynu v podzemných zásobníkoch bolo možné krízu prekonať. Táto udalosť mala za následok zvýraznenie dôležitosti skladovania a zároveň postupného zvyšovania kapacít podzemných zásobníkov, aby bolo možné flexibilnejšej reakcie na podobné udalosti [48].

Podzemné zásobníky sú efektívne a zaujímavé aj z finančného hľadiska – nákup plynu za nižšie ceny, jeho uskladnenie a následná ťažba v období vyšších cien [30].

4.1 Plynová kríza v roku 2009

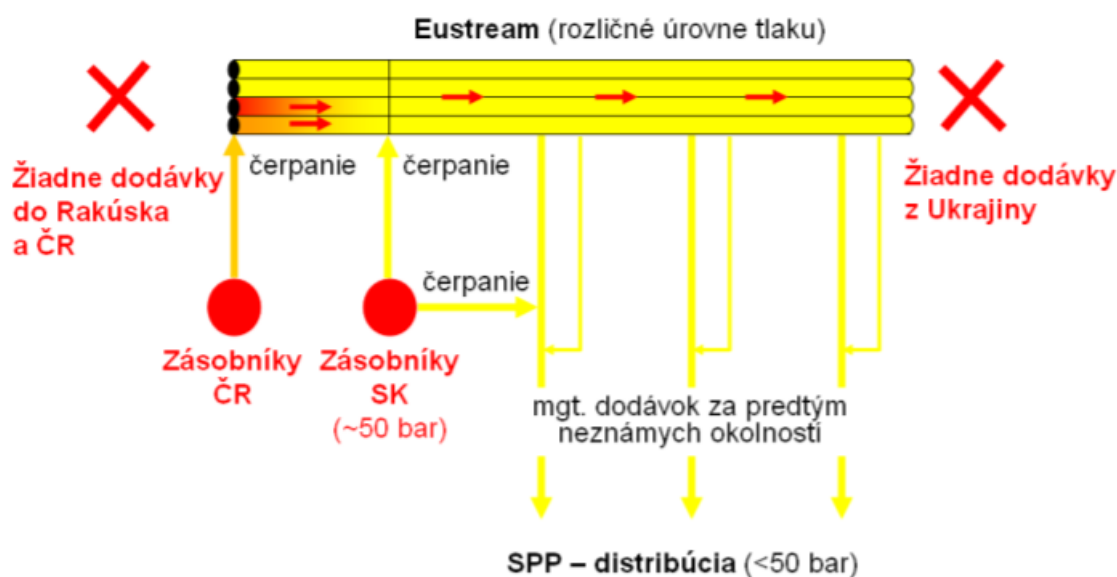
V roku 2009 zasiahla Slovensko plynová kríza, ktorá nemá v histórii plynárenstva na Slovensku obdobu. Dňa 7.1.2009 po prvýkrát v takmer 50 ročnej existencii tranzitného plynovodu nastalo úplné zastavenie dodávky zemného plynu z Ruska cez územie Ukrajiny. Odstávka zasiahla viacero štátov Európy ale vzhľadom na vysokú mieru plynifikácie mala najväčší dopad na Srbsko, Bulharsko a Slovensko. Slovensko nebolo pripravené na podobný scenár a bolo nútené prijať obmedzujúce opatrenia. Podzemné zásobníky našli svoje uplatnenie ale neboli schopné pokryť celkový dopyt pretože nedisponovali dostačujúcou kapacitou na vykrytie dennej spotreby, z dôvodu technického limitu dennej ťažby. Hlavnou prioritou bolo zabezpečenie dodávok pre domácnosti, vykurovanie, nemocnice a nevyhnutné služby pre obyvateľstvo Slovenska [48].



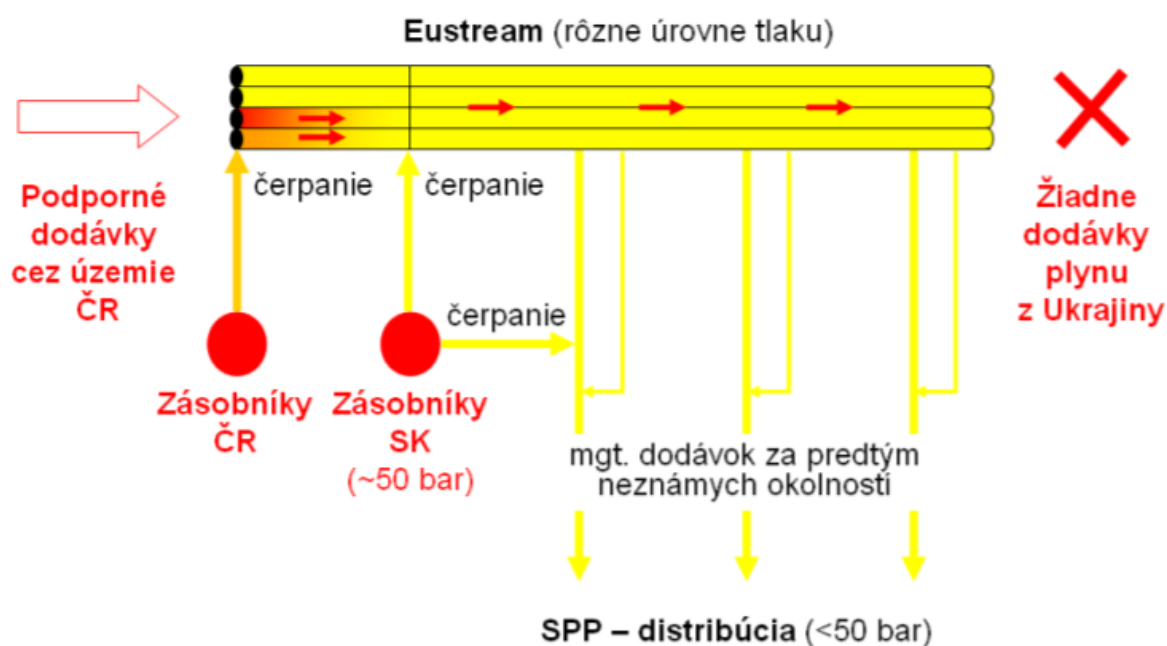
Obr. 4. 1 Zásobovanie Slovenska v normálnom režime pred krízou [48]

Vďaka pomoci od spoločností E.ON Ruhrgas (Rakúsko), GDF Suez (Rakúsko) a RWE Transgas (Česko) sa podarilo Slovensku získať 15,5 miliónov m³ zemného plynu, konkrétne od E.ON Ruhrgas 6,5 miliónov m³, GDF Suez 5,25 miliónov m³ a RWE Transgas 3,75 miliónov m³. Čo znamenalo, že aj napriek neobnoveniu dodávok zemného plynu z Ruska, bolo realizovateľné 19. januára uvoľniť obmedzenia odberu pre priemyselných odberateľov a upraviť stupeň odberu na základný pre všetkých odberateľov spoločnosti SPP (v súčasnosti Eustream). SPP navyše zabezpečil zemný plyn od spoločností GDF Suez, VNG a Ecomgas/OMV, ktorý putoval do zásobníkov v takom objeme, aby sprostredkovali dostatočnú rezervu, ktorá by pokrývala dennú spotrebu zemného plynu v prípade, že by nedošlo k vyriešeniu problému v krátkom čase [48].

Kríza trvala 11 dní a dňa 20.1.2009 bol obnovený tranzit pre spotrebiteľov v ČR, Rakúsku a ďalších európskych krajinách [48].



Obr. 4. 2 Zásobovanie Slovenska v izolovanom režime v období 7.1 - 18.1.2019 [48]



Obr. 4. 3 Dodávky plynu na Slovensko v reverznom chode od 19.1.2019 [48]

4.2 Bezpečnostné opatrenia

Na Slovensku je zemný plyn veľmi dôležitá komodita a je potrebné zabezpečiť jeho dodávku pre domácnosti, služby a priemysel. Najpodstatnejší je dovoz zemného plynu z Ruska a jeho ukladanie do podzemných zásobníkov v dostatočnom objeme pre prípad podobného scenára aký sa odohral v roku 2009. Je potrebné zabezpečiť dostatočnú flexibilitu a diverzifikáciu prepravy zemného plynu aby sa Slovensko a Európa stali menej závislými na Rusku [50].

Slovensko disponuje aj vlastnými zdrojmi zemného plynu, ktoré predstavujú približne 2 % celkového objemu distribuovaného plynu na Slovensku, ktoré nedokážu pokryť jeho celkový dopyt. Ťažba zemného plynu, je realizovaná spoločnosťou Nafta, a.s. a prebieha v

Záhorskej nížine, v okolí miest Malacky a Gbely. Ťažba v súčasnosti dosahuje úroveň približne 90 mil. m³ [49].

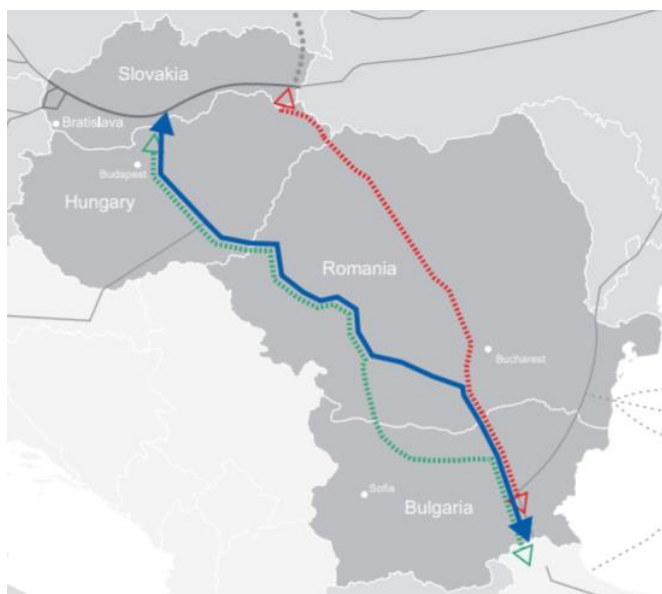
4.2.1 Plynovod Eastring

Okrem podzemných zásobníkov a vlastných zdrojov sa otvárajú aj ďalšie možnosti pre lepšie zabezpečenia dodávok plynu a flexibility prepravy zemného plynu. Jednou z nich je plynovod Eastring [51].

Eastring je projekt vybudovania nového obojsmerného plynovodu, ktorý bude spájať strednú a juhovýchodnú Európu. Cieľ projektu je prepojiť priamo infraštruktúry Slovenska, Rumunska, Maďarska a Bulharska. Prepojením juhovýchodnej hranice Európy (Čierne more, respektíve Turecko) a Slovenska bude realizovateľná diverzifikácia prepravných trás a zdrojov zemného plynu pre spotrebiteľov v Európe, ale hlavne v juhovýchodnej Európe. Na projekte spolupracujú štyri plynárenské spoločnosti, a to zo Slovenska (Eustream), Rumunska (Transgaz S.A.), Maďarska (FGSZ Ltd.) a Bulharska (Bulgartransgaz AED) [51].

V septembri 2018 bolo odovzdaná a ukončená štúdia uskutočniteľnosti. Štúdia odporučila výstavbu nového plynovodu pre prepojenie slovenskej prepravnej siete na kompresorovej stanici KS03 vo Veľkých Zlievcach s vonkajšou hranicou Európy v bode Malkoclar na turecko-bulharskej hranici, ktorý by prechádzal územím Maďarska a Rumunska. Odporúčaná tlaková úroveň je PN100 a priemer DN1400. Plynovod je obojsmerný s dĺžkou 1208 km [51].

Harmonogram výstavby plynovodu, bol rozdelený do dvoch fáz: 1. fáza pre 20 mld. m³/rok a 2. fáza pre 40 mld. m³/rok. Prvá fáza pozostáva z výstavby samotného plynovodu, troch kompresorových staníc, piatich hraničných meracích staníc a šiestich vnútroštátnych meracích staníc a trasových uzáverov, ktoré budú rozmiestnené každých 25 až 35 km pozdĺžne plynovodu. Výstavba by mala byť spustená do prevádzky v roku 2025. V rámci druhej fázy by mala byť rozšírená kapacita existujúcich kompresorových a hraničných meracích staníc a výstavby piatich nových kompresorových staníc. Druhá fáza by mala byť zrealizovaná v roku 2030 [51].



Obr. 4. 4 Odporúčané trasovanie (plynovod označený modrou farbou) [51]

4.2.2 Prepojovací plynovod Poľsko - Slovensko

Prepojovací plynovod Poľsko – Slovensko je projekt prevádzkovateľa prepravnej siete na Slovensku Eustream a prevádzkovateľa v Poľsku Gaz – System. Hlavným cieľom je diverzifikácia zdrojov a trás zemného plynu a zvýšenie bezpečnosti dodávok a posilnenie integrovaného trhu zemného plynu. Plynovod umožní prístup k zemnému plynu na poľskom trhu a nadväzuje na ďalšie projekty, ako je Eastring a slovensko-maďarský plynovod. Predstavuje spojenie kompresorovej stanice vo Veľkých Kapušanoch a kompresorovej stanice v Strachocine v Poľsku. Tento projekt umožní Slovensku zachovať si jeho relevantnosť a svoju historicky silnú pozíciu v oblasti tranzitu plynu v Európe vo všetkých smeroch. Realizáciou prepojenia Slovenska s Poľskom bude Slovensko prepojené s každým z okolitých štátov. Umožňuje to väčšiu flexibilitu a zvýšenú koordináciu prevádzkovateľov prepravných sietí v susedných štátoch pri riadení tokov plynu. Zároveň prispeje k ďalšej konvergencii cien v tomto regióne. Plynovod bude mať dĺžku 162 km. Výstavba začala v roku 2018 [50,54].

4.2.3 Prepojovací plynovod Slovensko – Maďarsko

V roku 2015 spoločnosť Eustream spustila prevádzku slovensko-maďarského plynovodu. Jednalo sa o podstatné rozšírenie slovenskej aj maďarskej infraštruktúry z hľadiska posilnenia bezpečnosti dodávok a zvýšenia likvidity trhu so zemným plynom v regióne. Existencia plynovodu prispela ku zníženiu veľkoobchodných cien v Maďarsku. Plynovod sa nachádza medzi Veľkými Zlievcami (Slovensko) a Vecsésom (Maďarsko). Dĺžka plynovodu je približne 110,6 km a prepravná kapacita 4,45 mld. m³/rok v smere zo Slovenska do Maďarska a 1,78 mld. m³/rok v smere z Maďarska na Slovensko [52].

4.2.4 LNG

Skvapalnený zemný plyn predstavuje jednu z ďalších možností k pomoci diverzifikácii dodávok zemného plynu. Je možné ho dovážať z viacerých vzdialených zdrojov ako sú napríklad: Rotterdam (Holandsko), Zeebruges (Belgicko), Porto Levante (Taliansko), Świnoujście (Poľsko) alebo Kaliningrad (Rusko). Dovoz je možný pomocou železničnej dopravy alebo kamiónových cisterien. Avšak jedným z hlavných dôvodov prečo nie je LNG preferovanejšou komoditou než zemný plyn je jeho cena [55,56].

Pokiaľ by sa Slovensko alebo Európa chceli stať viac atraktívnymi pre dovoz LNG, je potrebné aby došlo ku splneniu jednej či viacerých z týchto podmienok [56]:

- stagnácia alebo pokles dopytu zemného plynu, vrátane LNG (predovšetkým v Ázii), čo by malo za následok zblíženie cenových hladín na európskom a ázijskom trhu, čím by sa znížil dnes preferovaný ázijsky trh pre dodávky LNG,
- kapacita vybudovaných exportných LNG terminálov bude prevyšovať dopyt,
- zníženie dodávok ruského plynu do Európy: Rusko je v posledných rokoch vďaka svojím stále nevyužitým ťažobným kapacitám schopné navyšovať export do Európy a tým zabraňuje prudšiemu rastu ceny zemného plynu, vďaka čomu je dnes zemný plyn dostupnejší ako LNG [56].

ZÁVER

Zemný plyn je považovaný za jednu z najvýznamnejších energetických surovín. V porovnaní s inými nerastnými surovinami ako sú ropa a uhlie je spaľovanie zemného plynu čistejšie a s najmenším podielom oxidu uhličitého. Jedna z veľkých výhod je tá že, neobsahuje takmer žiadne zložky podmieňujúce vznik škodlivých látok ako napríklad síru, fluór, chlór, a ich zlúčeniny.

Slovensko má vysokú mieru plynifikácie a zároveň hrá veľkú rolu pri importovaní zemného plynu do Európy od najväčšieho exportéra Ruska. Zemný plyn je na Slovensku druhým najväčším zdrojom celkovej primárnej energie a primárny zdroj energie v oblasti vykurovania. Prepravný systém je prepojený na hlavné prepravné systémy v Ukrajine, Českej Republike, Rakúsku a Maďarsku. Za prepravu a prevádzkovanie prepravnej siete je zodpovedná spoločnosť Eustream, a.s.

Dôležitú úlohu majú taktiež podzemné zásobníky. V podzemných zásobníkoch dochádza k akumulovaniu zemného plynu, vďaka čomu je možné ho uskladniť na dobu neurčitú. Daná vlastnosť zohráva dôležitú úlohu pri udržiavaní spoľahlivosti a rovnomernosti dodávok potrebných na uspokojenie požiadaviek spotrebiteľov. Zároveň je to podstatné, pretože dopyt po zemnom plyne nie je v priebehu roka rovnomerný a závisí na viacerých faktoroch, ako sú napríklad ročné obdobia. Slovensko disponuje piatimi podzemnými zásobníkmi nachádzajúcimi sa na území Slovenska. Všetky zásobníky sú porézne. Taktiež môže využívať časť kapacity podzemného zásobníka, ktorý je flexibilný a nachádza sa v Česku, v Dolných Bojanoviciach. Podzemné zásobníky majú dôležité postavenie aj z hľadiska bezpečnosti. V prípade výpadku dodávok zemného plynu k akému došlo napríklad v roku 2009, alebo pri akejkoľvek inej nečakannej udalosti by dokázali vykryť viac než polovicu spotreby Slovenska.

Zemný plyn je na Slovensku jednou z najviac preferovaných komodít, pokiaľ hovoríme o zdrojoch energie. Vďaka tomu, že Slovensko predstavuje najväčší vstupný bod pre plyn z Ruska do Európy má krajina veľmi významné postavenie z hľadiska tranzitu zemného plynu do ďalších krajín. Disponuje rozvinutou sieťou plynovodov a niekoľkými skladovacími kapacitami, pričom jeden z nich sa radí medzi najmodernejšie v Európe, konkrétne podzemný zásobník Gajary-Báden.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Zloženie a druhy zemného plynu. *SPP* [online]. c2019 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.spp.sk/sk/domacnosti/plyn/pre-domacnosti/o-zemnom-plyne/zakladne-informacie/zlozenie-a-druhy-zemneho-plynu/>
- [2] O ZEMNOM PLYNE. *Oplyne.info* [online]. c2016 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.oplyne.info/o-zemnom-plyne/>
- [3] MORAVČÍK, Ľubomír. Zemný plyn – významná energetická substancia nielen v priemysle, ale aj v cestnej doprave. *Doprava a spoje – elektronický časopis Fakulty prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline* [online]. 2011 [cit. 2019-03-01]. ISSN 1336-7676. Dostupné z: <https://www.fpedas.utc.sk/~dopravaaspoje/subory/2011/1/moravcik.pdf>
- [4] Emisie: Zloženie zemného plynu, spaľovacie teplo a výhrevnosť, emisný faktor. *SPP* [online]. 2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.spp.sk/sk/velki-zakaznici/zemny-plyn/o-zemnom-plyne/emisie/>
- [5] TRÁVNÍČEK, Z. Zemní plyn. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 57 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [6] Properties of Natural Gas. *Kentucky Frontier Gas* [online]. c2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.frontiergas.com/index.php/natural-gas/properties-of-natural-gas>
- [7] Čo je CNG?. *SPP CNG* [online]. c2016 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <http://sppcng.sk/palivo/co-je-cng/>
- [8] Čo je zemný plyn: Vlastnosti zemného plynu. *VyhodnaEnergia.SK* [online]. 9.9.2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.vyhodnaenergia.sk/blog/86/plyn/co-je-zemny-plyn>
- [9] Natural gas. *National Geographic* [online]. 2012 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/natural-gas/>
- [10] Secondary Energy Infobook. : *Natural Gas* [online]. c2017, s. 27 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.need.org/files/curriculum/guides/Secondary%20Energy%20Infobook.pdf>
- [11] Ťažba, preprava, skladovanie zemného plynu. *VyhodnaEnergia.SK* [online]. 9.9.2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.vyhodnaenergia.sk/blog/87/plyn/tazba-preprava-skladovanie-zemneho-plynu>
- [12] BUDÍN, Jan. Zemní plyn - těžba, vlastnosti a rozdělení. *OEnergetice.cz* [online]. 12. duben 2015 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni/>
- [13] MURTINGER, Karel. Jak se těží břidlicový plyn. *Nazeleno.cz* [online]. 2012 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/jak-se-tezi-bridlicovy-plyn.aspx>
- [14] DVOŘÁKOVÁ, Vlastimila, Juraj FRANČO, Bohdan KŘÍBEK, Jan PAŠAVA a Ivo SITENSKÝ. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Nekonvenční zemní plyn z břidlic (NZPB): Potenciální zásoby a technologie jeho těžby* [online]. 2011 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: http://www.geology.cz/img/aktu/NZPB_final_plus_prilohy.pdf
- [15] BUCHTA, Tomáš. Břidlicový plyn – Geologie. *TZBinfo: Technická zařízení budov* [online]. 2.3.2015 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12371-bridlicovy-plyn-geologie>
- [16] O zemnom plyne a skladovaní. *Pozagas* [online]. c2010 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <http://www.pozagas.sk/o-zemnom-plyne/>

- [17] BUDÍN, Jan. Plynárenství v ČR - dodávka plynu a základní statistiky. *OEnergetice.cz* [online]. 5. březen 2015 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/plynarenstvi-v-cr-dodavka-plynu-zakladni-statistiky>
- [18] MUSIL, Petr. *Globální energetický problém a hospodářská politika: se zaměřením na obnovitelné zdroje - se zaměřením na obnovitelné zdroje* [online]. Praha: C.H. Beck, 2009. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-112-3.
- [19] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [20] Natural gas. *BP p.l.c.* [online]. c1996-2019 [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/natural-gas.html#natural-gas-reserves>
- [21] Aktualizácia sektorovej správy o fungovaní trhu so zemným plynom v SR. *PROTIMONOPOLNÝ ÚRAD Slovenskej republiky* [online]. Apríl 2015 [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.antimon.gov.sk/data/att/1672.pdf>
- [22] Energy Policies of IEA Countries: Slovak Republic 2018 Review. *CONNAISSANCE DES ÉNERGIES* [online]. 2018 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/energy_policies_of_iea_countries_slovak_republic_2018_review.pdf
- [23] Výročná správa 2017. *ÚRAD PRE REGULÁCIU SIEŤOVÝCH ODVETVÍ* [online]. 2017 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: http://www.urso.gov.sk/sites/default/files/dokumenty/URSO_VS_2017.pdf
- [24] Eustream: Plán rozvoja prepravnej siete spoločnosti eustream, a.s., na obdobie 2019 – 2028. *ÚRAD PRE REGULÁCIU SIEŤOVÝCH ODVETVÍ* [online]. 21. december 2018 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: http://www.urso.gov.sk/sites/default/files/dokumenty/TYNDP_2019-2028_eustream.pdf
- [25] Výročná správa 2017. *Eustream, a.s* [online]. c2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: https://www.eustream.sk/sk_media/sk_vyroczne-spravy
- [26] Preprava a distribúcia plynu. *SPP* [online]. c2019 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.spp.sk/sk/male-podnikanie-a-organizacie/plyn/pre-male-podnikanie-a-organizacie/o-zemnom-plyne/zakladne-informacie/preprava-a-distribucia-plynu/>
- [27] SEKTOROVÁ SPRÁVA O FUNGOVANÍ TRHU SO ZEMNÝM PLYNOM V SR. *PROTIMONOPOLNÝ ÚRAD Slovenskej republiky* [online]. November 2010 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.antimon.gov.sk/data/att/368.pdf>
- [28] Mapa distribučnej siete. *SPP distribúcia* [online]. c2018 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.spp-distribucia.sk/o-spolocnosti/co-robime/mapa-distribucnej-siete/>
- [29] Skladování. *Česká plynárenská a.s.* [online]. c2015 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.ceskaplynarenska.cz/cs/skladovani>
- [30] Underground Gas Storage. *ScienceDirect* [online]. c2019 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/underground-gas-storage>
- [31] Skladování plynu: Výhody. *Innogy Gas Storage* [online]. c2019 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.innogy-gasstorage.cz/cs/vyhody/>
- [32] Skladování plynu: Zemní plyn a jeho skladování. *Innogy Gas Storage* [online]. c2019 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.innogy-gasstorage.cz/cs/druhy-zasobniku-plynu/>
- [33] DRUHY PODZEMNÍCH ZÁSOBNÍKŮ PLYNU. *SPP Storage: Provozovatel podzemního zásobníku plynu* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.sppstorage.cz/pzp-dolni-bojanovice/druhy-podzemnich-zasobniku>

- [34] Storage of Natural Gas. *NaturalGas.org* [online]. September 20, 2013 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://naturalgas.org/naturalgas/storage/>
- [35] RWE GAS STORAGE – SPOLEHLIVÝ PROVOZOVATEL PODZEMNÍCH ZÁSOBNÍKŮ PLYNU. *Innogy Gas Storage* [online]. c2019 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.innogy-gasstorage.cz/cs/prezentace/rwe_gs_provozovatel_pzp/files/le-tak_rwe_gs_cz.pdf
- [36] KLEPÁČ, Ján. Podzemné zásobníky zemného plynu - nástroj zvyšovania bezpečnosti dodávok. *Slovgas : odborný plynárenský časopis* [online]. 2009, (3), 7-10 [cit. 2019-03-18]. ISSN 1335-3853. Dostupné z: http://spnz.sk/stara_stranka/Casopis/09_03/09_03_04.pdf
- [37] TEDLA, Ľubomír. História podzemného skladovania zemného plynu. *Slovgas : odborný plynárenský časopis* [online]. 2004, (4), 17-18 [cit. 2019-03-18]. ISSN 1335-3853. Dostupné z: http://spnz.sk/stara_stranka/Casopis/04_04/04_04_06.htm
- [38] Podzemné skladovanie zemného plynu: Skladovanie plynu. *NAFTA a.s.* [online]. c2004-2015 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.nafta.sk/sk/skladovanie-plynu>
- [39] Podzemné skladovanie zemného plynu: Výkony a kapacity zásobníka. *NAFTA a.s.* [online]. c2004-2015 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://isodzz.nafta.sk/yCapacity/#/?nav=ss.od.sc>
- [40] PREVÁDZKOVÝ PORIADOK USTANOVUJÚCI OBCHODNÉ PODMIENKY PRE PRÍSTUP A VYUŽÍVANIE ZÁSOBNÍKA SPOLOČNOSTI NAFTA a.s. *NAFTA a.s.* [online]. c2004-2015 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: https://www.nafta.sk/sites/default/files/u22/2015.03.30_prevadzkovy_poriadok.pdf
- [41] PZZP Láb 4. stavba. *Pozagas* [online]. c2010 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://www.pozagas.sk/pzzp-lab-4-stavba/>
- [42] PROFIL SPOLEČNOSTI. *SPP Storage: Provozovatel podzemního zásobníku plynu* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://www.sppstorage.cz>
- [43] SKLADOVACÍ KAPACITA. *SPP Storage: Provozovatel podzemního zásobníku plynu* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.sppstorage.cz/provozni-data/skladovaci-kapacita>
- [44] Podzemné skladovanie zemného plynu: Podzemný zásobník zemného plynu Veľké Kapušany. *NAFTA a.s.* [online]. c2004-2015 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.nafta.sk/sk/podzemny-zasobnik-zemneho-plynu-velke-kapusany>
- [45] Nálezisko plynu Sereď - Križovany nad Dudváhom, podzemné uskladňovanie zemného plynu v prírodných horninových štruktúrach: Záverečné stanovisko. *Enviroportal* [online]. 10.09.2007 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.enviroportal.sk/sk/eia/detail/nalezisko-plynu-sered-krizovany-nad-dudvahom-podzemne-uskladnovanie-ze>
- [46] Slovensko bude mať zrejme nový podzemný zásobník plynu. *WebNoviny.sk* [online]. 18. 09. 2016 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.webnoviny.sk/slovensko-bude-mat-zrejme-novy-podzemny-zasobnik-plynu/>
- [47] Zásobníky sú pilierom bezpečných a plynulých dodávok. *Slovgas : odborný plynárenský časopis* [online]. 2015, (7) [cit. 2019-04-03]. ISSN 1335-3853. Dostupné z: http://www.slovgas.sk/site/assets/files/1069/07_15_slovgas_04_2015_slovgas_web.pdf
- [48] Zhrnutie priebehu a dopadov krízy v dodávkach zemného plynu v januári 2009. *SPP distribúcia* [online]. 27. januára 2009 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.spp-distribucia.sk/spravy/tlacove-spravy/zhrnutie-priebehu-a-dopadov-krizy-v-dodavkach-zemneho-plynu-v-januari-2009/>

- [49] Prieskum a ťažba. *NAFTA a.s.* [online]. c2004-2015 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.nafta.sk/sk/prieskum-tazba>
- [50] Slovensko spája európske trhy. *Slovgas : odborný plynárenský časopis* [online]. 2017, (12) [cit. 2019-04-08]. ISSN 1335-3853. Dostupné z: http://www.slovgas.sk/site/assets/files/1100/11_17_slovgas_06_2017_slovgas_web.pdf
- [51] Eastring booklet 2018. *Eastring* [online]. c2014 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: https://www.eastring.eu/downloads/eastring_booklet_2018_new.pdf
- [52] Prepojovací plynovod Poľsko – Slovensko. *Eastring* [online]. c2019 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: https://www.eustream.sk/files/docs/sk/PLSK_prepoj/Infobroz_prepojovaci_plynovod_PolskoSlovensko_v03.pdf
- [53] Natural gas storage. *Gas in Focus* [online]. c2013 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.gasinfocus.com/en/focus/le-stockage-du-gaz-naturel-2/>
- [54] PROJEKT SPOLOČNÉHO ZÁUJMU (PCI). *Eustream, a.s* [online]. c2019 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.eustream.sk/sk_prepravna-siet/sk_prepojenie-sk-hu/sk_projekt-spolocneho-zaujmu-pci
- [55] MOZOLÁK, Peter. JESENNÁ KONFERENCIA SPNZ 2016: Možnosti využitia LNG na Slovensku. *SLOVENSKÝ PLYNÁRENSKÝ A NAFTOVÝ ZVÁZ* [online]. 7.10.2016 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://www.spnz.sk/uploads/2016/JK_prednasky/Mozolak-Peter_JK_2016.pdf
- [56] KOCŮREK, Michal. Problematika dovozu LNG do Evropy. *OEnergetice.cz* [online]. 29. srpen 2018 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/problematika-dovozu-lng-evropy/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Význam
CNG	Compressed Natural Gas
LNG	Liquified Natural Gas
NTL	Nízkotlakové
STL	Strednotlakové
VTL	Vysokotlakové
VVTL	Veľmi vysokotlakové
VPS	Vnútroštátne prepúšťacie stanice
PZZP	Podzemný zásobník zemného plynu

Symbol	Veličina	Jednotka
Q_i	Výhrevnosť zemného plynu	$[J.m^{-3}]$ alebo $[Wh.m^{-3}]$
Q_s	Spaľovacie teplo zemného plynu	$[J.m^{-3}]$ alebo $[Wh.m^{-3}]$

ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. 1. 1 Proces tvorby zemného plynu podľa organickej teórie [10]
Obr. 1. 2 Schéma znázorňujúca konvenčné a nekonvenčné ložiská plynu a ropy [15]
Obr. 1. 3 Pomer rezerv zemného plynu ku produkcii od roku 1987 do roku 2017 [20]
Obr. 1. 4 Pomer rezerv zemného plynu ku produkcii z hľadiska lokality [20]
Obr. 1. 5 Produkcia zemného plynu vo svete v biliónoch metroch kubických [20]
Obr. 2. 1 Vývoj spotreby zemného plynu na Slovensku v TWh [23]
Obr. 2. 2 Spotreba plynu podľa odberateľských kategórií v roku 2017 [23]
Obr. 2. 3 Zloženie priemernej ceny za dodávku plynu pre domácnosti v roku 2017 [23]
Obr. 2. 4 Priemerná cena za dodávku plynu pre domácnosti v roku 2017 [23]
Obr. 2. 5 Vývoj prepravy zemného plynu [25]
Obr. 2. 6 Prepravná sieť Eustream na Slovensku [25]
Obr. 2. 7 Mapa distribučných sietí [28]
Obr. 3. 1 Porézny zásobník plynu.[33]
Obr. 3. 2 Kavernový zásobník [33]
Obr. 3. 3 Zjednodušený proces vtláčania a ťažby zemného plynu zo zásobníku [35]
Obr. 3. 4 Podzemné zásobníky plynu na Slovensku [36]
Obr. 4. 1 Zásobovanie Slovenska v normálnom režime pred krízou [48]
Obr. 4. 2 Zásobovanie Slovenska v izolovanom režime v období 7.1 - 18.1.2019 [48]
Obr. 4. 3 Dodávky plynu na Slovensko v reverznom chode od 19.1.2019 [48]
Obr. 4. 4 Odporúčané trasovanie (plynovod modrej farby) [51]

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1. 1 Zloženie zemného plynu na Slovensku v roku 2018 [4]

Tab. 1. 2 Vlastnosti zemného plynu [3]

Tab. 3. 1 Technická uskladňovacia kapacita Nafta, a.s. ku dňu 1.4.2019. [39]

Tab. 3. 2 Technická uskladňovacia kapacita Pozagas, a.s. ku dňu 1.4.2019.[41]

Tab. 3. 3 Technická uskladňovacia kapacita PZZP Dolné Bojanovice, ku dňu 1.4.2019.[43]