

# Pregled rada podzemnih skladišta prirodnog plina u Sjedinjenim Američkim Državama

---

Pejovski, Aleksandra

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:213980>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**PREGLED RADA PODZEMNIH SKLADIŠTA PRIRODNOG PLINA U  
SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA**

Završni rad

Aleksandra Pejovski

N4399

Zagreb, 2022.

PREGLED RADA PODZEMNIH SKLADIŠTA PRIRODNOG PLINA U SJEDINJENIM  
AMERIČKIM DRŽAVAMA

ALEKSANDRA PEJOVSKI

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

SAŽETAK

Podzemna skladišta imaju neosporivu važnost u svjetskoj opskrbi prirodnim plinom. 1916. godine počeli su radovi na prvom američkom podzemnom skladištu plina u saveznoj državi New York. U ovom završnom radu prikazan je pregled rada podzemnih skladišta u SAD-u i geopolitička važnost istih. Iscrpljena ležišta, solne kaverne i akviferi svojim geološkim karakteristikama predstavljaju adekvatno mjesto za pohranu plina i njegovo povlačenje na površinu za komercijalnu upotrebu. Na tržište se plasira radni plin, dok plinski jastuk podržava tlak u samom skladištu. Operatori podzemnih skladišta su unutardržavne i međudržavne tvrtke, lokalne distribucijske tvrtke i nezavisni pružatelji usluga skladištenja. Deregulacijom iz 1992. godine se postigla liberalizacija tržišta prirodnog plina u SAD-u. U trgovini prirodnim plinom najvažniju ulogu ima Henry Hub, distribucijsko čvorište u Louisiani koje diktira cijene plina. Tenzije između Rusije i Ukrajine početkom 2022. godine izazvale su prestanak ispostave ruskog plina preko Sjevernog toka 1 u dio Europe i posljedično tome uzrokovale povijesno povećanje cijena plina koje je i dalje u usponu.

Ključne riječi: podzemno skladište, prirodni plin, radni plin, plinski jastuk, Sjedinjene Američke Države, utiskivanje, povlačenje, Henry Hub, cijene, tržište

Završni rad sadrži: 34 stranice, 2 tablice, 27 slika i 27 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNf-a

Ocjenjivači: : Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNf-a  
Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNf-a  
Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNf-a

Datum obrane: 9.9.2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

## SADRŽAJ

|  |            |
|--|------------|
| <b>POPIS SLIKA.....</b>  | <b>I</b>   |
| <b>POPIS TABLICA.....</b>  | <b>II</b>  |
| <b>POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....</b>   | <b>III</b> |
| <b>1. UVOD.....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2. TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE RADA PODZEMNOG SKLADIŠTA<br/>PRIRODNOG PLINA .....</b> | <b>4</b>   |
| 2.1. Radni plin i plinski jastuk.....  | 5          |
| 2.2. Ciklusi utiskivanja i povlačenja.....   | 6          |
| 2.3. Sezonska i vršna skladišta.....   | 7          |
| <b>3. GEOLOŠKI I GEOGRAFSKI PREGLED PODZEMNIH SKLADIŠTA<br/>PRIRODNOG PLINA.....</b>   | <b>9</b>   |
| 3.1. Iscrpljena ležišta.....   | 9          |
| 3.2. Solne kaverne.....  | 12         |
| 3.3. Akviferi.....   | 14         |
| 3.4. Regije u Sjedinjenim Američkim Državama.....                                      | 16         |
| 3.4.1. <i>Midwest</i> .....  | 18         |
| 3.4.2. <i>South Central</i> .....  | 19         |
| 3.4.3. <i>Mountain</i> .....   | 20         |
| 3.4.4. <i>East</i> .....   | 21         |
| 3.4.5. <i>Pacific</i> .....  | 22         |
| <b>4. TRŽIŠTE PRIRODNOG PLINA.....</b>   | <b>24</b>  |
| 4.1. Deregulacija 1992. godine.....  | 24         |
| 4.2. Operatori na tržištu.....   | 24         |
| 4.3. Ekonomske značajke podzemnog plinskog skladišta.....                              | 26         |
| 4.4. Henry Hub.....  | 27         |
| 4.5. Cijene prirodnog plina.....   | 29         |
| <b>5. ZAKLJUČAK.....</b>   | <b>32</b>  |
| <b>6. LITERATURA.....</b>  | <b>33</b>  |

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| <b>Slika 1-1.</b> Vrste podzemnih skladišta prirodnog plina.....   | 1  |
| <b>Slika 1-2.</b> Glavne regije podzemnih skladišta plina u SAD-u.....   | 2  |
| <b>Slika 1-3.</b> Količina radnog plina u podzemnim skladištima na području država „ <i>Lower 48</i> “ (SAD bez Aljaske i Havaja) u usporedbi s petogodišnjim maksimumom i minimumom količine plina u skladištima..... | 3  |
| <b>Slika 2-1.</b> Količina radnog plina u državama „ <i>Lower 48</i> “ u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine.....   | 4  |
| <b>Slika 2-2.</b> Shematski prikaz nadzemnih i podzemnih komponenata skladišta.....  | 5  |
| <b>Slika 2-3.</b> Shematski prikaz plinskog skladišta pokazuje kako se plinski jastuk nikada neće proizvesti.....  | 6  |
| <b>Slika 3-1.</b> Ilustrativni prikaz skladištenja prirodnog plina u iscrpljeno ležište.....   | 10 |
| <b>Slika 3-2.</b> Količina radnog plina u iscrpljenim ležištima u SAD-u u razdoblju od 2008. do 2020. godine.....  | 11 |
| <b>Slika 3-3.</b> Broj podzemnih skladišta plina u iscrpljenim ležištima u razdoblju od 1999. do 2020. godine.....   | 11 |
| <b>Slika 3-4.</b> Ilustrativni prikaz skladištenja prirodnog plina u solnu kavernu.....  | 13 |
| <b>Slika 3-5.</b> Količina radnog plina u solnim kavernama u SAD-u u razdoblju od 2008. do 2020. godine.....   | 13 |
| <b>Slika 3-6.</b> Broj podzemnih skladišta plina u solnim kavernama u razdoblju od 1999. do 2020. godine.....  | 14 |
| <b>Slika 3-7.</b> Količina radnog plina u akviferima u SAD-u u razdoblju od 2008. do 2020. godine.....   | 15 |
| <b>Slika 3-8.</b> Broj podzemnih skladišta plina u akviferima u razdoblju od 1999. do 2020. godine.....  | 16 |
| <b>Slika 3-9.</b> Regionalna podjela i rasprostranjenost pojedinih podzemnih skladišta u Sjedinjenim Američkim Državama.....   | 17 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Slika 3-10.</b> Pregled volumena podzemnih skladišta plina po regijama u SAD-u zaključno s 12. kolovozom 2022. godine.....                        | 17 |
| <b>Slika 3-11.</b> Količina radnog plina u <i>Midwest</i> regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine.....                       | 19 |
| <b>Slika 3-12.</b> Količina radnog plina u <i>South Central</i> regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine.....                 | 20 |
| <b>Slika 3-13.</b> Količina radnog plina u <i>Mountain</i> regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine.....                      | 21 |
| <b>Slika 3-14.</b> Količina radnog plina u <i>East</i> regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine.....                          | 22 |
| <b>Slika 3-15.</b> Količina radnog plina u <i>Pacific</i> regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine.....                       | 23 |
| <b>Slika 4-1.</b> Isporuca prirodnog plina u SAD-u sektorima po vrstama distribucije.....  | 25 |
| <b>Slika 4-2.</b> Grafički prikaz metode planiranja najmanjeg troška za podzemno skladište plina.....  | 27 |
| <b>Slika 4-3.</b> Cijena <i>futuresa</i> na Henry Hubu u razdoblju od siječnja 2021. do srpnja 2022. godine.....                                     | 28 |
| <b>Slika 4-4.</b> Volatilnost cijene prirodnog plina u razdoblju od siječnja 2012. do srpnja 2022. godine.....                                       | 29 |
| <b>Slika 4-5.</b> <i>Spot</i> cijene prirodnog plina na Henry Hubu od 1997. godine do danas.....   | 30 |
| <b>Slika 4-6.</b> Odnos kretanja tjednih stanja skladišta plina u funkciji kretanja tjednih cijena plina na Henry Hubu od 2014. do 2022. godine..... | 31 |

## **POPIS TABLICA**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablica 2-1.</b> Volumen plinskog jastuka i period utiskivanja/povlačenja prirodnog plina u podzemnim skladištima.....     | 7  |
| <b>Tablica 3-1.</b> Povijesna usporedba količine radnog plina u podzemnim skadištima regija Sjedinjenih Američkih Država..... | 18 |

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA**

EIA – Energetska informacijska uprava (engl. *Energy Information Administration*)

FERC – Federalna energetska regulatorna komisija (engl. *Federal Energy Regulatory Commission*)

ICE – Interkontinentalna burza (engl. *Intercontinental Exchange*)

LDC – lokalna distribucijska tvrtka (engl. *Local Distribution Company*)

NGPL – Američka tvrtka za plinovode prirodnog plina (engl. *Natural Gas Pipeline Company of America*)

NYMEX – Njujorška robna burza (engl. *New York Mercantile Exchange*)

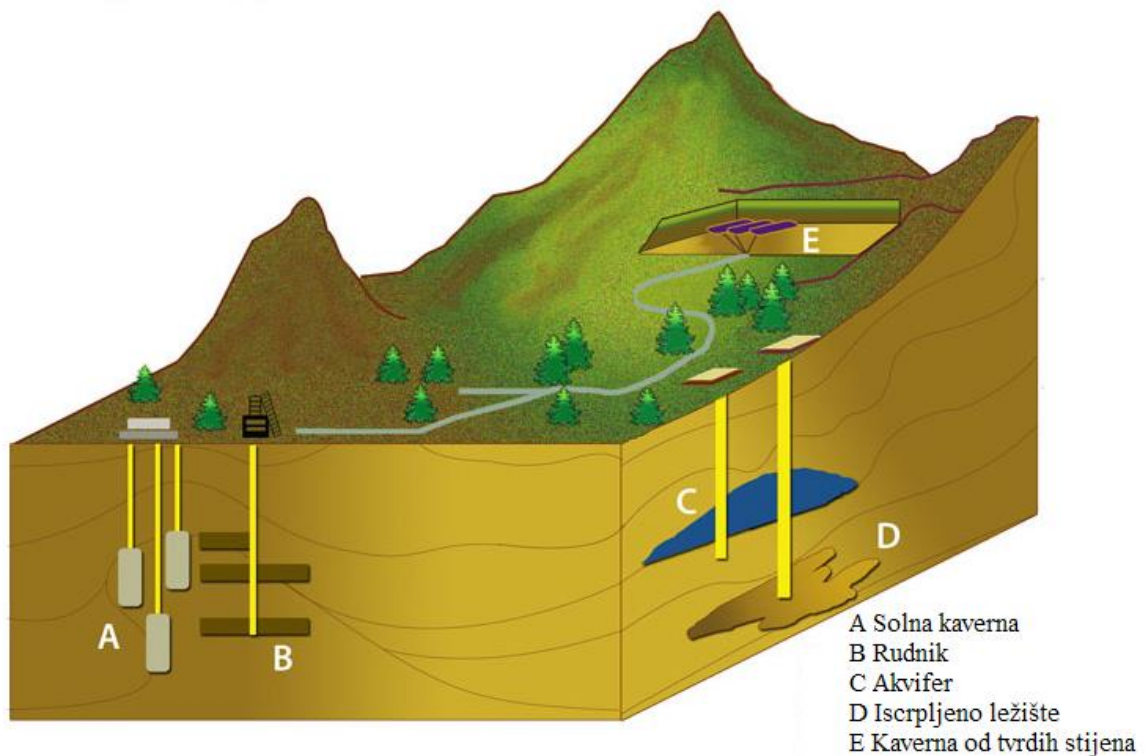
OTC – Izvanburzovno tržište (engl. *Over - the - Counter Market*)

SAD – Sjedinjene Američke Države



## 1. UVOD

Prirodni plin, kao plinoviti ugljikovodik bez boje i mirisa, primarno je smjesa metana s manjim udjelima drugih ugljikovodika i uz naftu i ugljen ga ubrajamo u primarne energente. Može se skladištiti iznad i ispod površine tla. U nadzemnim spremnicima tako nalazimo prirodni plin u plinovitom i tekućem obliku, dok govoreći o podzemnim spremnicima prirodnog plina spominjemo iscrpljena naftna i/ili plinska ležišta, akvifere i solne dome/kaverne.



**Slika 1-1.** Vrste podzemnih skladišta prirodnog plina (EIA, 2015)

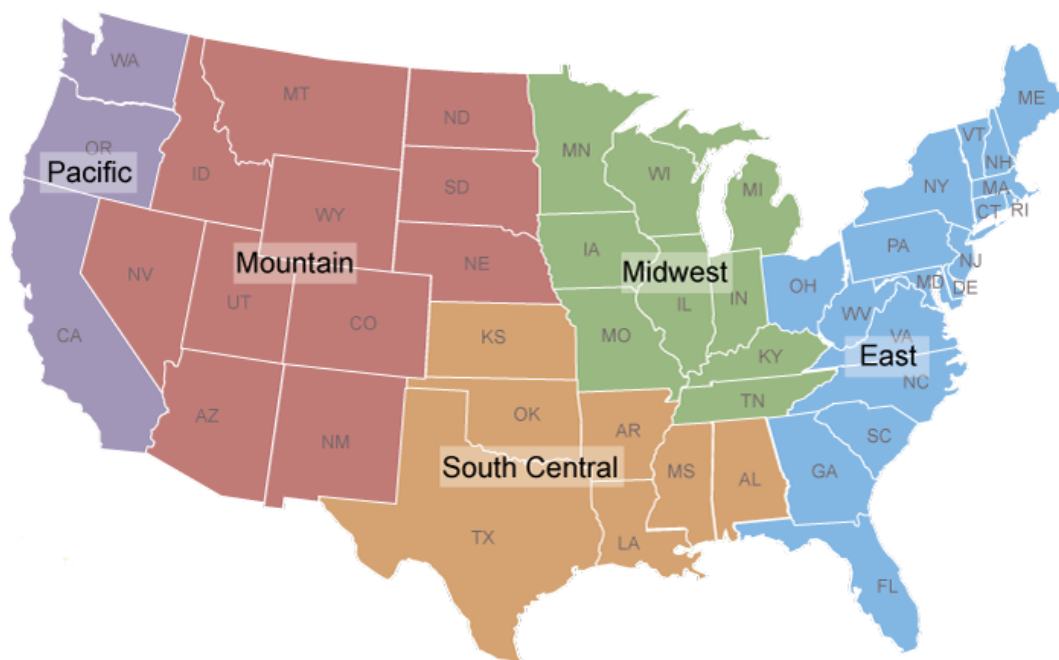
Ovaj završni rad obradit će skladištenje plina na tržištu prirodnog plina Sjedinjenih Američkih Država kao primjer starog liberaliziranog tržišta koji danas ima sve veći značaj zbog geopolitičke situacije u svijetu.

Prvi uspješan projekt podzemnog plinskog skladišta na području Sjeverne Amerike dovršen je 1915. godine u okrugu Welland, Ontario u Kanadi. Sljedeće godine započele su operacije na polju Zoar (1916.) u blizini Buffala u New Yorku.

Većina postojećih skladišta prirodnog plina u Sjedinjenim Američkim Državama nalazi se u iscrpljenim poljima prirodnog plina ili nafte koja su blizu mjesta potrošnje.

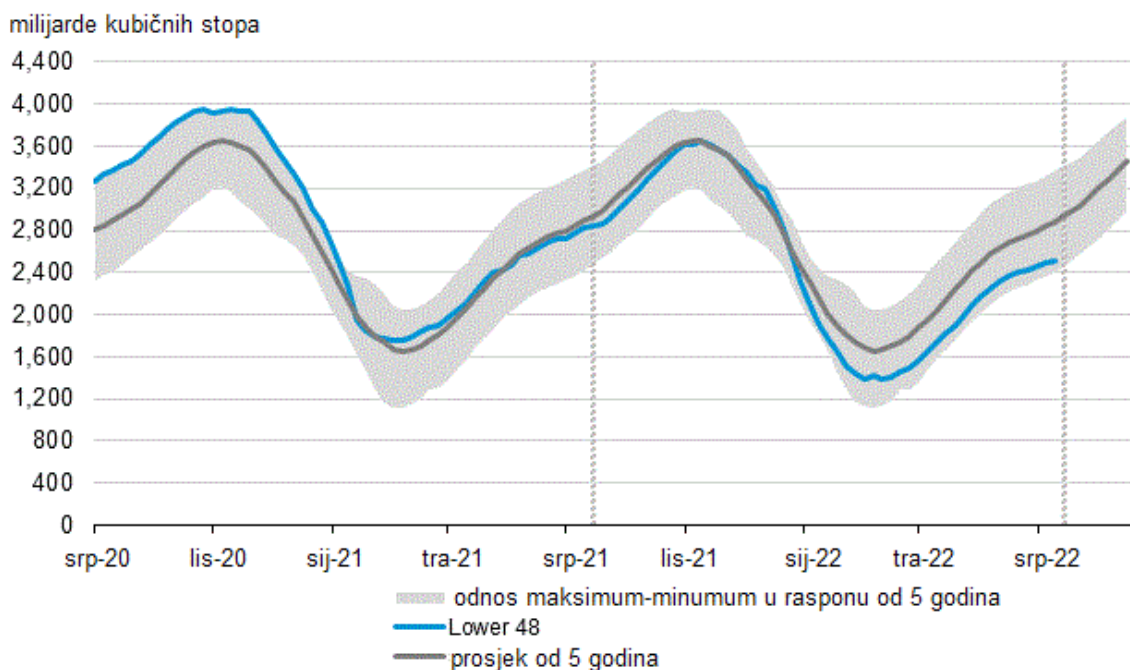
Transformacija polja iz proizvodnog u skladišno iskorištava prednosti postojećih ležišta, sabirnih sustava i cjevovoda. Iscrpljena ležišta nafte i prirodnog plina najčešće su korištena za podzemna skladišta zbog njihove široke dostupnosti.

Sjedinjene Američke Države broje pet velikih regija u kojima nalazimo podzemna skladišta prirodnog plina, a to su *Midwest*, *South Central*, *Mountain*, *East* i *Pacific* (u tekstu su nazivi regija ostavljeni u originalom nazivu s obzirom da se radi o originalnim nazivima regija).



**Slika 1-2.** Glavne regije podzemnih skladišta plina u SAD-u (EIA, 2015)

Nalaze se dva ciklusa koja se odvijaju u tehnološkom procesu za pogon podzemnog skladišta plina, a to su ciklus utiskivanja i ciklus povlačenja plina.



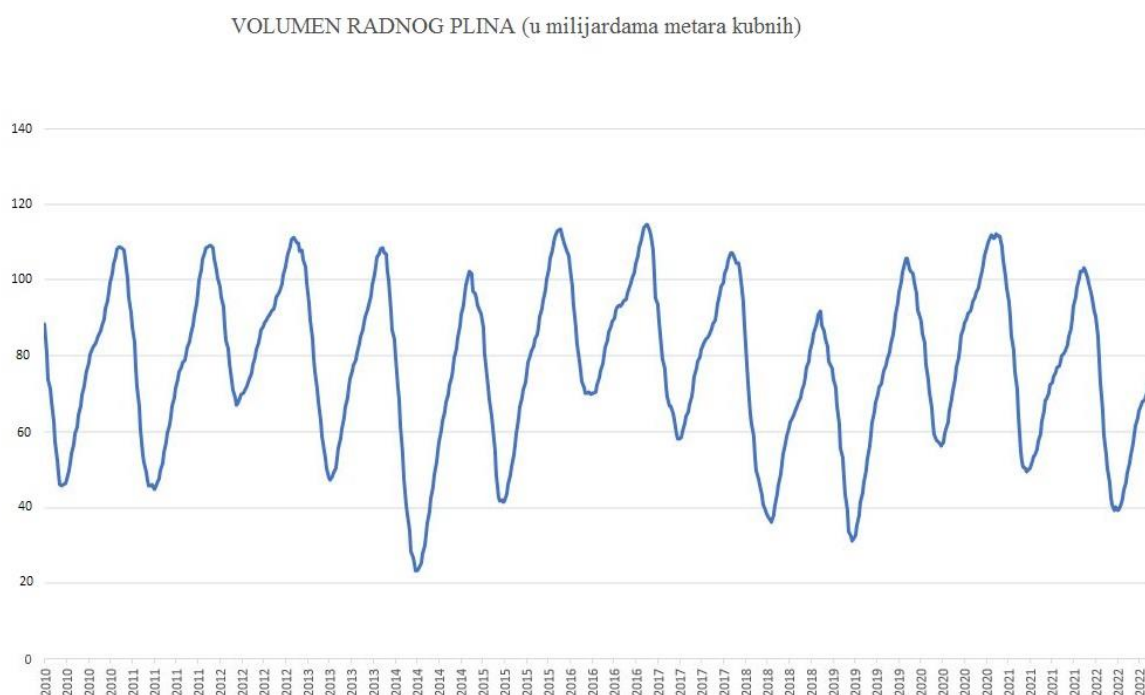
**Slika 1-3.** Količina radnog plina u podzemnim skladištima na području država „Lower 48“ (SAD bez Aljaske i Havaja) u usporedbi s petogodišnjim maksimumom i minimumom količine plina u skladištima (EIA, 2022a)

Područje SAD-a broji 442 podzemna skladišta prirodnog plina, više od bilo koje države, dok je ukupni radni volumen tih skladišta 127,2 milijuna m<sup>3</sup>(www.psp.hr, 2022).

Mnoga podzemna skladišta, kako postojeća tako i ona koja su u razvoju, pokrenuli su neovisni pružatelji usluga skladištenja, često manje, fokusiranije tvrtke koje su pokrenuli poduzetnici koji su prepoznali potencijalnu isplativost ovih objekata. Ta skladišta se koriste gotovo isključivo za pružanje usluga korisnicima trećih strana koji mogu imati najviše koristi od karakteristika istih, kao što su trgovci i proizvođači električne energije.

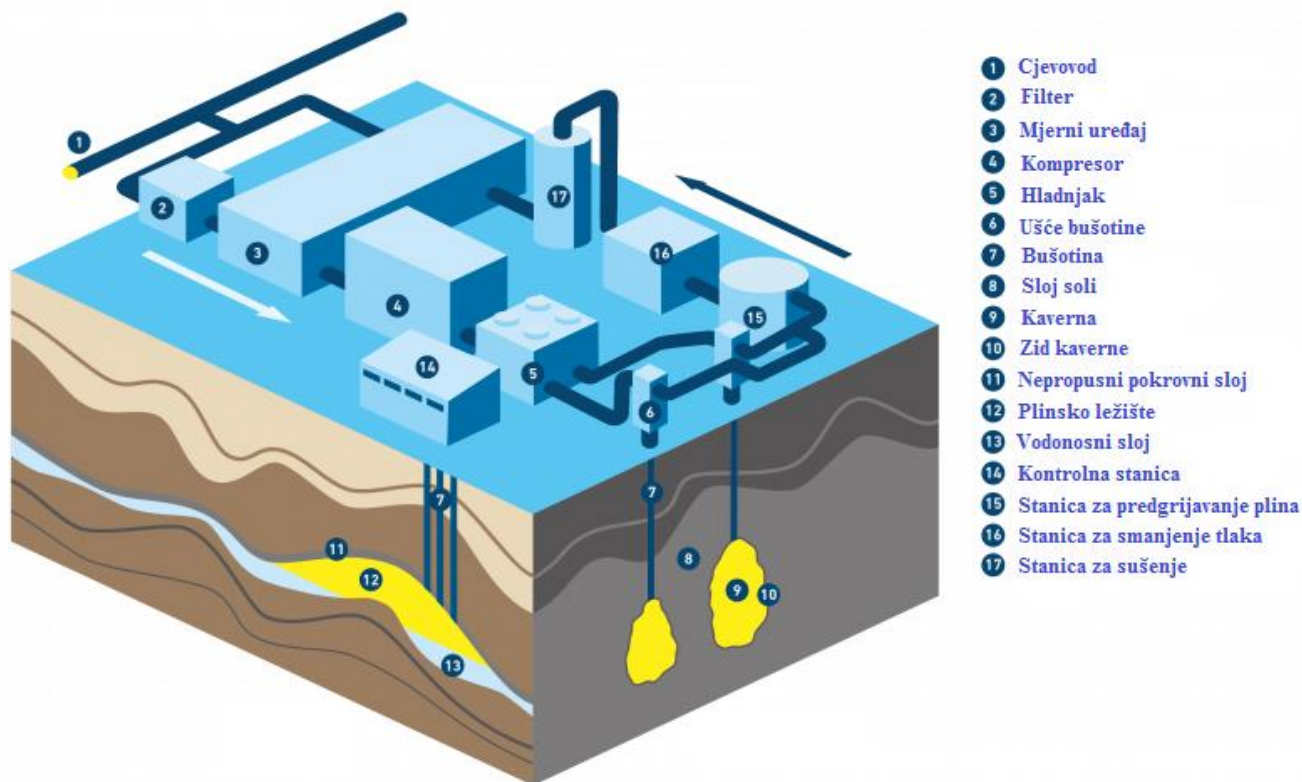
## 2. TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE RADA PODZEMNOG SKLADIŠTA PRIRODNOG PLINA

Danas je potrošnja plina podložna velikim sezonskim oscilacijama između ljeta i zime, kao i kratkoročnim promjenama u potražnji kada se plinom trguje. Skladištenjem plina u velikim količinama u podzemnim skladištima plina uravnotežujemo sama skladišta. Plinska skladišta također igraju važnu ulogu u održavanju stabilnosti plinskih mreža kako bi se u kratkom roku mogla sigurno nadoknaditi vršna potrošnja zimi.



**Slika 2-1.** Količina radnog plina u državama „Lower 48“ u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine (EIA, 2022b)

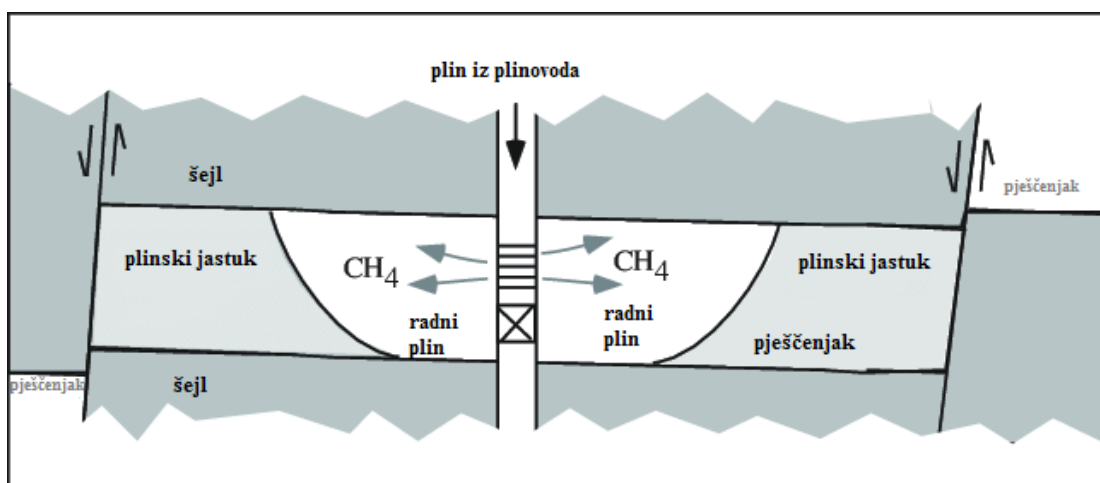
Plin se transportira do skladišta preko cjevovoda. Tijekom utiskivanja, plin se često filtrira na ulazu u stanicu, a zatim se mjeri protok i sastav. Kompresorske stanice zatim komprimiraju plin koji se hladi i - ovisno o lokaciji skladištenja - utiskuje u kavernu ili skladišta u ležištima. Tijekom povlačenja, slobodne kapljevine i krutine se odvajaju od plina. Plin se zatim predgrijava kako bi se spriječilo stvaranje plinskih hidrata tijekom naknadnog smanjenja tlaka na tlak blizak tlaku u prijenosnom plinovodu. Nakon što se tlak plina smanji, suši se ispod dogovorenih granica pomoću jedinice za dehidraciju plina. Protok i kvaliteta plina zatim se ponovno mjere prije nego što se uvede u plinovod za transport plina.



**Slika 2-2.** Shematski prikaz nadzemnih i podzemnih komponenta skladišta (Uniper, 2022)

### 2.1. Radni plin i plinski jastuk

Ukupna količina plina sadržana u skladištu može se podijeliti na radni plin (engl. *working gas*) i plinski jastuk (engl. *cushion gas*). Sam plin je isti, razlika je u funkciji. Radni plin je stvarna namjena skladišta plina i predstavlja volumen plina koji se može uskladištiti i povući. Ovaj udio plina je stoga korisni volumen plina koji se može plasirati na tržište. Plinski jastuk osigurava potreban tlak kako bi se omogućilo povlačenje radnog plina iz skladišta pri velikim brzinama čak i pri niskim razinama skladištenja. Osim toga, održavanje minimalnog tlaka je neophodno kako bi se osigurao dugoročni integritet u kavernskim skladišnim objektima. U skladištima s porama koje su pod utjecajem vodonosnika, plinski jastuk sprječava prekomjerni prodor vode u porasti prostor koji se koristi za skladištenje plina. Granica plinskog jastuka je donja granica za proces povlačenja iz plinskog skladišta, koja je određena službenim zahtjevima ili geološko-tehničkim uvjetima.



**Slika 2-3.** Shematski prikaz plinskog skladišta pokazuje kako se plinski jastuk nikada neće proizvesti (ResearchGate, 2003)

Plinski jastuk, koji osigurava energiju tlaka potrebnu za povlačenje radnog plina, čini najveći dio ulaganja u projekte podzemnih skladišta plina.

## 2.2. Ciklusi utiskivanja i povlačenja

Nalazimo dva ciklusa koja se odvijaju u tehnološkom procesu za pogon podzemnog skladišta plina a to su ciklus utiskivanja i ciklus povlačenja plina.

Komprimiranjem plina, plin se zagrijava do temperatura iznad 100°C. Plin se hladi na temperaturu od cca. 30-40°C prije utiskivanja. U tom stanju, plin se može unijeti u kavernu i pohraniti. Kada se potražnja poveća, plin se povlači iz skladišta i vraća u plinsku mrežu. Dok je plin bio pohranjen pod zemljom, upijao je između ostalog i vlagu. Separator vode uklanja slobodnu vodu, kao i krutine iz plina. U sljedećem koraku, plin se zagrijava pomoću predgrijača kako bi se kompenziralo hlađenje plina kada se tlak smanji. Tada se tlak plina smanjuje na kapilarnu razinu. Jedinica za sušenje glikola obrađuje plin u skladu sa zadanim zahtjevima kako bi se nakon mjerenja protoka i kvalitete mogao vratiti u transportnu mrežu.

Kapacitet utiskivanja (ili stopa) je dodatak stopi isporuke ili stopi povlačenja – to je količina prirodnog plina koja se može utisnuti u kavernu i pohraniti. Kao i isporučivost, kapacitet utiskivanja se obično izražava u MMcf/d (milijuni kubičnih stopa po danu), iako se također koristi i dekaterma/dan. Kapacitet utiskivanja skladišnog pogona također je promjenjiv i ovisi o čimbenicima koji se mogu usporediti s onima koji određuju isporučivost. Nasuprot tome, brzina utiskivanja varira obrnuto s ukupnom količinom plina u skladištu: najniža je kada je skladište najpunije i povećava se kako se radni plin povlači.

**Tablica 2-1.** Volumen plinskog jastuka i period utiskivanja/povlačenja prirodnog plina u podzemnim skladištima (Warren, 2016)

| Tip podzemnog skladišta        | Omjer volumena plinskog jastuka i radnog volumena | Period utiskivanja (dani) | Period povlačenja (dani) |
|--------------------------------|---|---------------------------|--------------------------|
| Akvifer                        | 50-80 %   | 200-250                   | 100-150                  |
| Iscrpljeno ležište nafte/plina | 50 %  | 200-250                   | 100-150                  |
| Solna doma/kaverna             | 20-30 %   | 20-40                     | 10-20                    |

### 2.3. Sezonska i vršna skladišta

Za sezonsko uravnoteženje dobave i potrošnje plina služe tzv. sezonska skladišta. Sezonska skladišta plina karakterizira mogućnost uskladištenja velikih količina plina i relativno pravilna izmjena ciklusa utiskivanja i povlačenja plina unutar jedne kalendarske/klimatološke godine. To bi značilo da se plin obično skladišti od travnja do listopada, a iz skladišta povlači od studenog do ožujka u sezoni grijanja. Drugi tip skladišta su tzv. vršna skladišta plina. Takva skladišta imaju zamjetno manji skladišni volumen od sezonskih skladišta, a osnovna namjena im je pokriti vršnu potrošnju (engl. *peak*). Stoga u odnosu na svoj radni volumen imaju veliki kapacitet povlačenja i utiskivanja plina koji im

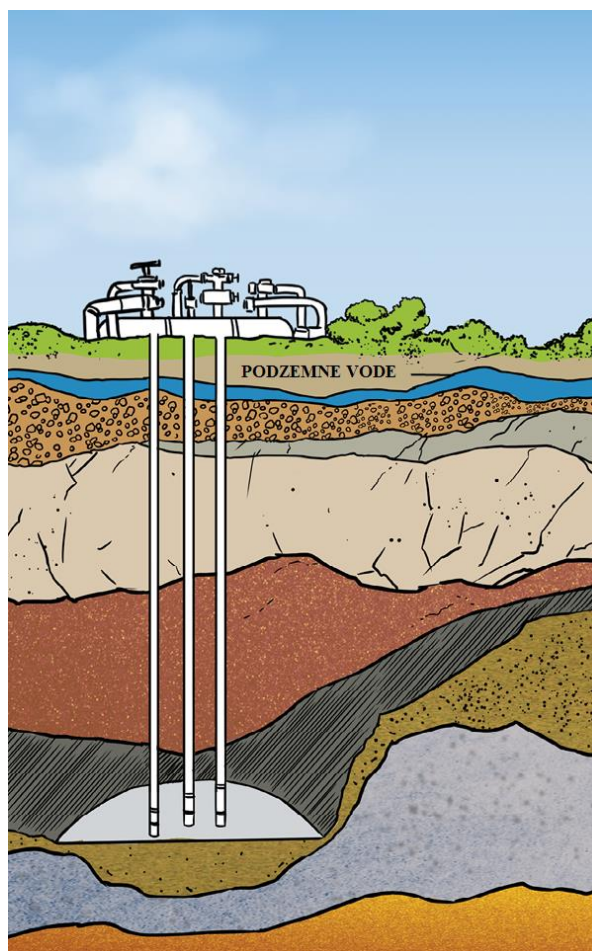
omogućava brzo pražnjenje i punjenje. Vršna skladišta moguće je isprazniti unutar nekoliko dana ili tjedana, a otprilike im isto toliko treba za ponovno punjenje ili dopunjavanje. Tako se za razliku od sezonskih skladišta, vršna skladišta tijekom jedne sezone više puta prazne i pune/dopunjavaju ([www.psp.hr](http://www.psp.hr), 2022).



### **3. GEOLOŠKI I GEOGRAFSKI PREGLED PODZEMNIH SKLADIŠTA PRIRODNOG PLINA**

#### **3.1. Iscrpljena ležišta**

Iscrpljena ležišta su najčešći oblik podzemnog skladišta prirodnog plina. Iscrpljena ležišta plina/nafte trebala bi biti sposobna držati dovoljne količine utisnutog prirodnog plina u svojim porama (putem visoke poroznosti), skladištiti i isporučivati prirodni plin pri prihvatljivim ekonomskim brzinama (putem visoke propusnosti) i biti izolirana tako da prirodni plin ne može migrirati u druge formacije iz skladišta. Osim toga, stijena treba biti sposobna izdržati ponovljeni ciklus povećanja tlaka kada se prirodni plin utiskuje u ležište i obrnuti pad tlaka kada se prirodni plin proizvodi. Korištenje takvog skladišta koje zadovoljava navedene kriterije je ekonomski isplativo jer omogućuje ponovnu upotrebu, uz odgovarajuće modifikacije infrastrukture za povlačenje plina koja je preostala iz proizvodnog vijeka plinskog/naftnog polja što smanjuje troškove pokretanja. Iscrpljena ležišta također su atraktivna jer su njihove geološke i fizičke karakteristike već proučavali geolozi i naftni inženjeri i obično su dobro poznate. Posljedično, iscrpljena ležišta općenito su najjeftinija i najlakša za razradu, rad i održavanje od tri vrste podzemnih skladišta. Kako bi se održao radni tlak u iscrpljenim ležištima, oko 50 % prirodnog plina u formaciji mora se zadržati kao plinski jastuk. Međutim, budući da su iscrpljena ležišta prethodno bila ispunjena prirodnim plinom i ugljikovodicima, ona ne zahtijevaju utiskivanje plina jer je on već prisutan u formaciji (plinski jastuk). Ovo daje daljnji ekonomski poticaj za ovu vrstu skladišta, posebno kada je cijena plina visoka. Uobičajeno, ova skladišta rade u jednom godišnjem ciklusu dok se plin utiskuje tijekom ljetnih mjeseci izvan najveće potrošnje, a povlači za vrijeme zimskih mjeseci tijekom najveće potražnje.



**Slika 3-1.** Ilustrativni prikaz skladištenja prirodnog plina u iscrpljeno ležište (Energy Infrastructure – API, 2022)

Brojni čimbenici određuju hoće li iscrpljeno plinsko/naftno polje biti ekonomski održivo skladište: ležište mora biti dovoljno kvalitetno u smislu poroznosti i propusnosti kako bi se omogućilo skladištenje i proizvodnja prema potrebi, prirodni plin mora biti dobro izoliran inače će doći do izgubljenih količina koje se ne mogu povratiti, iscrpljeno ležište i infrastruktura moraju biti blizu tržišta plina i postojeća infrastruktura mora biti prikladna za naknadno opremanje opreme za utiskivanje i povlačenje plina pri potrebnim tlakovima i brzinama.



**Slika 3-2.** Količina radnog plina u iscrpljenim ležištima u SAD-u u razdoblju od 2008. do 2020. godine (EIA, 2022c)



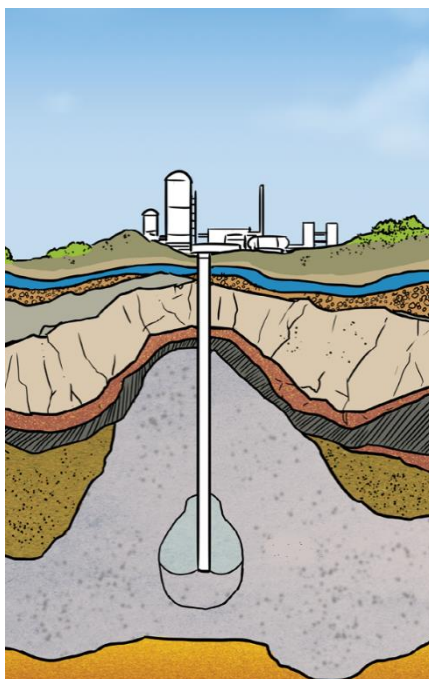
**Slika 3-3.** Broj podzemnih skladišta plina u iscrpljenim ležištima u razdoblju od 1999. do 2020. godine (EIA, 2022c)

Na slici 3-3. je vidljivo kako broj podzemnih skladišta plina u iscrpljenim ležištima varira. Maksimalni broj podzemnih skladišta u iscrpljenim ležištima bio je 2001. godine - 351 skladište.

### 3.2. Solne kaverne

Solne dome /kaverne vrlo su pogodne za skladištenje prirodnog plina. One dopuštaju da vrlo malo utisnutog prirodnog plina pobjegne iz skladišta osim ako se posebno ne ekstrahira. Zidovi solne kaverne su čvrsti i nepropusni za plin tijekom životnog vijeka skladišta. Nakon što se solni lokalitet otkrije i utvrdi da je prikladan za razvoj skladišta plina, stvara se kaverna unutar solnog lokaliteta. To se postiže postupkom rudarenja otapanjem. Slatka voda se utiskuje niz bušotinu u sol. Dio soli se otopi ostavljajući prazninu, a voda, sada slana, ispumpava se natrag na površinu. Proces se nastavlja sve dok kaverna ne poprimi željenu veličinu, neke su visoke 800 m i promjera 50 m s volumenom od oko pola milijuna m<sup>3</sup>. Potrebe za plinskim jastukom su niže, obično oko 33 % ukupnog kapaciteta plina. Solne kaverne obično su puno manje od iscrpljenih plinskih ležišta i akvifera. Posljedično, solne kaverne ne mogu skladištiti velike količine plina potrebne za ispunjavanje zahtjeva za skladištenje osnovnog opterećenja. Isporučivost iz solnih kaverni je, međutim, mnogo veća nego za akvifere ili iscrpljena ležišta. To omogućuje da se plin pohranjen u solnoj domi lakše i brže povuče i nadopuni. Ovo kraće trajanje ciklusa korisno je u hitnim situacijama ili tijekom kratkih razdoblja neočekivanih porasta potražnje. Iako je izgradnja skuplja od pretvorbe iscrpljenog polja kada se mjeri na temelju dolara po tisuću kubičnih stopa radnog plina, mogućnost izvođenja nekoliko ciklusa povlačenja i utiskivanja svake godine smanjuje stvarni trošak.

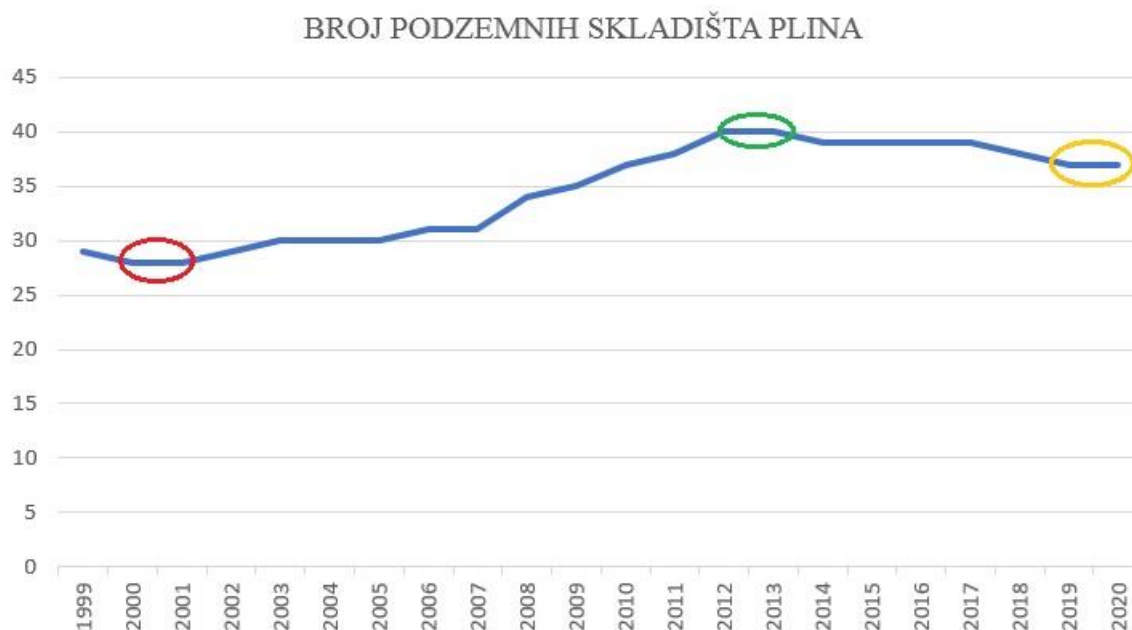
Između tri tipa podzemnih skladišta u solnim kavernama je ekonomski najzahtjevnije izvesti projekt. Međutim, na temelju isporučivosti će upravo skladištenje u solnim kavernama biti isplativije od ostale dvije vrste.



**Slika 3-4.** Ilustrativni prikaz skladištenja prirodnog plina u solnu kavernu (Energy Infrastructure – API, 2022)



**Slika 3-5.** Količina radnog plina u solnim kavernama u SAD-u u razdoblju od 2008. do 2020. godine (EIA, 2022c)



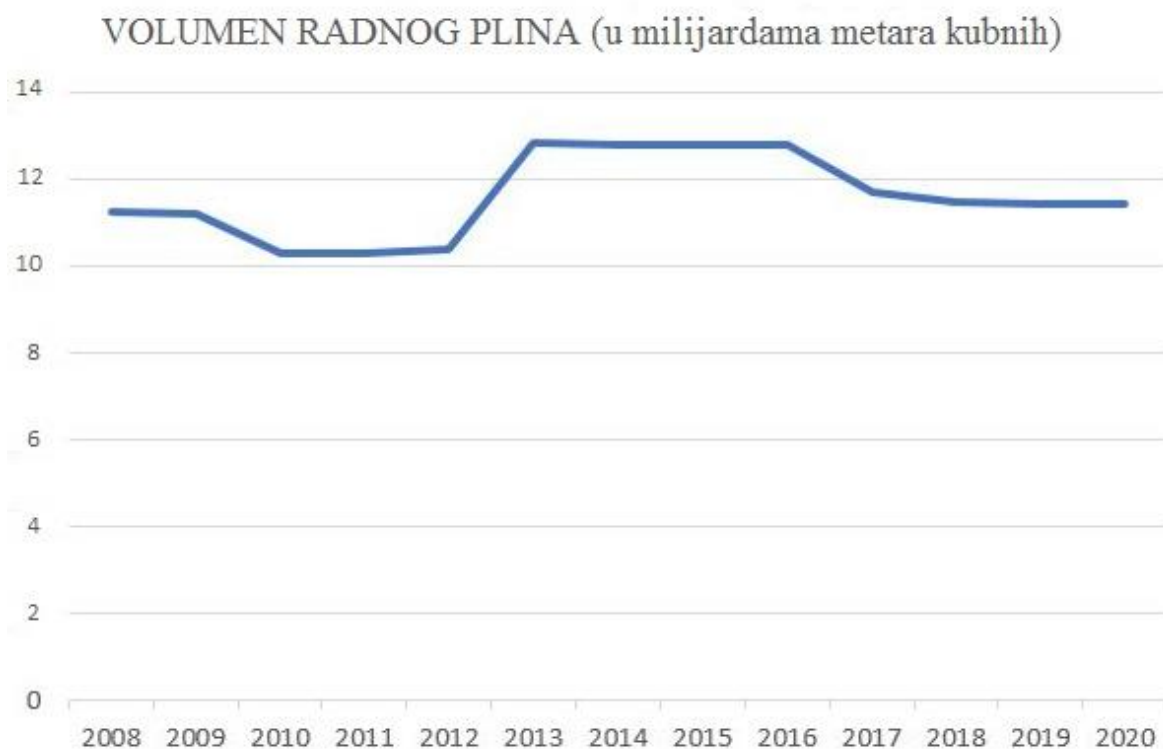
**Slika 3-6.** Broj podzemnih skladišta plina u solnim kavernama u razdoblju od 1999. do 2020. godine (EIA, 2022c)

Slika 3-6. pokazuje kako je u 2001. godini bilo svega 28 podzemnih skladišta u solnim kavernama (crveni kružić) i taj broj je rastao do 2012. kada ih je bilo 40 (zeleni kružić). Toliko podzemnih skladišta je bilo još 2 godine, dok je od tada broj počeo padati te je u 2020. godini prisutno 37 skladišta (žuti kružić).

### 3.3. Akviferi

Akviferi su podzemne, porozne i propusne formacije stijena koje djeluju kao prirodna spremišta/skladišta vode. U nekim slučajevima mogu se koristiti za skladištenje prirodnog plina. Obično ove formacije funkcioniraju u jednom godišnjem ciklusu kao i kod iscrpljenih ležišta. Geološke i fizičke karakteristike formiranja akvifera nisu unaprijed poznate i potrebno je uložiti značajna sredstva u njihovo istraživanje i procjenu prikladnosti pojedinog akvifera za skladištenje prirodnog plina. Ako je akvifer prikladan, sva povezana infrastruktura mora se razvijati ispočetka, povećavajući troškove razvoja u usporedbi s

iscrpljenim ležištima. To uključuje ugradnju bušotina, opreme za povlačenje na površinu, cjevovoda, objekata za dehidraciju i eventualno kompresijske opreme. Budući da akvifer u početku sadrži vodu, prirodnog plina u formaciji ima malo ili nimalo, a dio utisnutog plina neće se fizički povratiti. Kao rezultat toga, skladištenje u akviferu obično zahtijeva znatno više plinskog jastuka nego iscrpljena ležišta, do 80% ukupnog volumena plina. Većina skladišnih objekata akvifera razvijena je kada je cijena prirodnog plina bila niska, što znači da je žrtvovanje tog plinskog jastuka bilo jeftino. S porastom cijena plina skladištenje u akviferima postaje skuplje za razvoj. Posljedica gore navedenih čimbenika je da je razvoj skladišta akvifera obično dugotrajan i skup. Akviferi su općenito najmanje poželjna i najskuplja vrsta skladišta prirodnog plina.



**Slika 3-7.** Količina radnog plina u akviferima u SAD-u u razdoblju od 2008. do 2020. godine (EIA, 2022c)

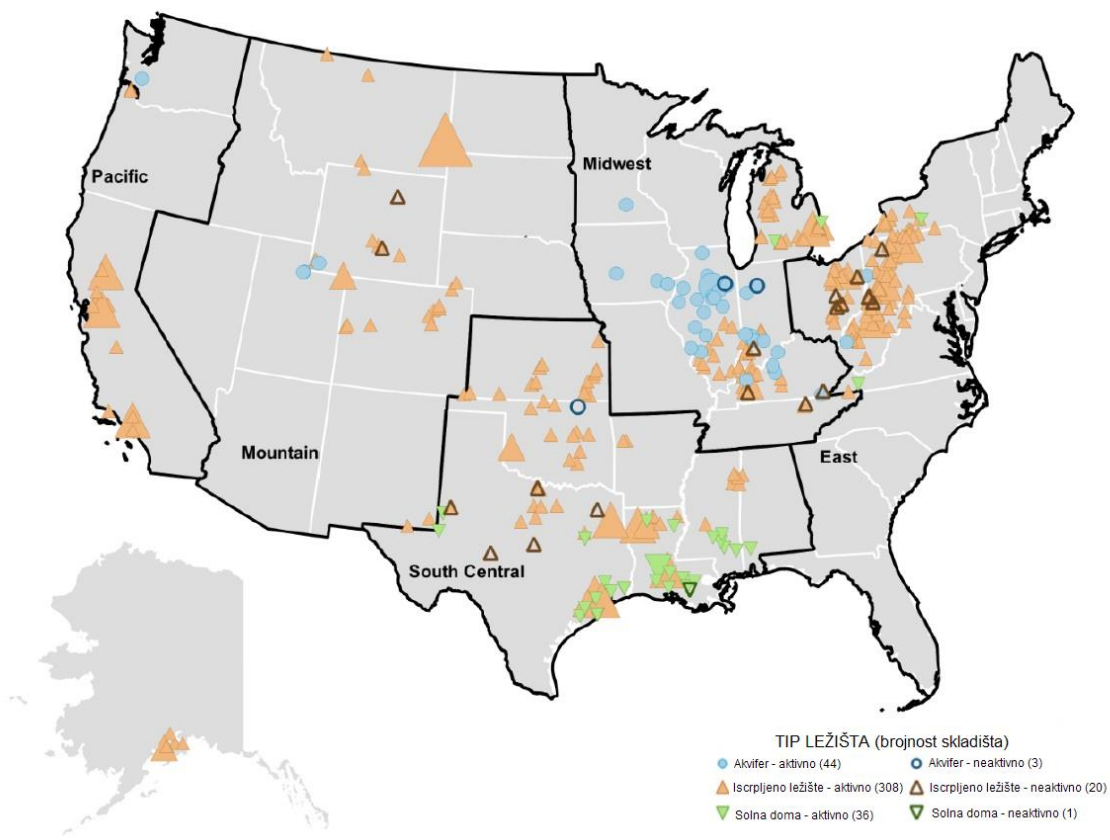


**Slika 3-8.** Broj podzemnih skladišta plina u akviferima u razdoblju od 1999. do 2020. godine (EIA, 2022c)

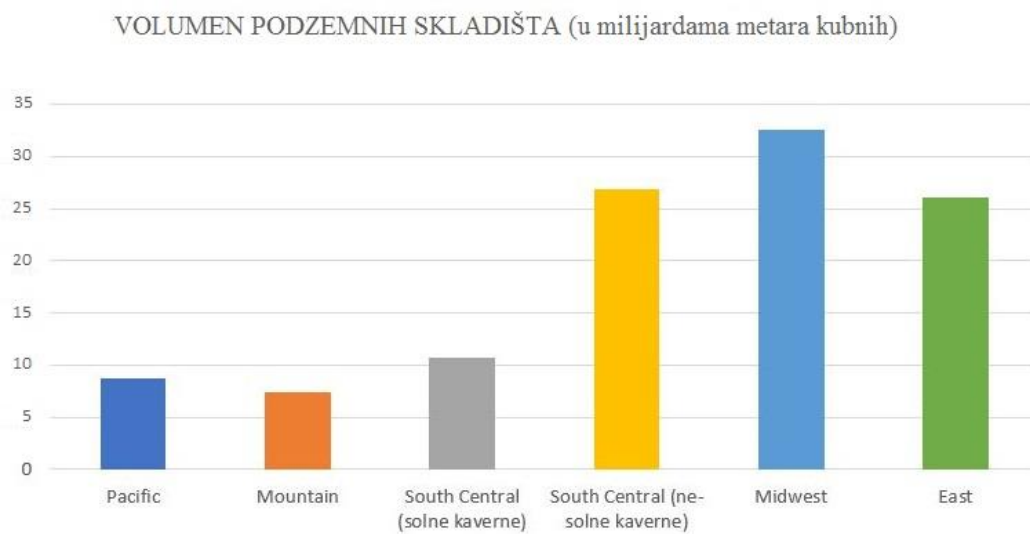
### 3.4. Regije u Sjedinjenim Američkim Državama

Govoreći o podzemnim skladištima plina u kontekstu geografske rasprostranjenosti, nalazimo pet glavnih regija - *Pacific*, *Mountain*, *Midwest*, *South Central* i *East*. Od otprilike 400 aktivnih podzemnih skladišta u SAD-u, oko 79 % su iscrpljena ležišta prirodnog plina ili nafte, 11% zauzimaju solne kaverne i otprilike 10 % otpada na akvifere (Slika 3-9).





**Slika 3-9.** Regionalna podjela i rasprostranjenost pojedinih podzemnih skladišta u Sjedinjenim Američkim Državama (EIA, 2019)



**Slika 3-10.** Pregled volumena podzemnih skladišta plina po regijama u SAD-u zaključno s 12. kolovozom 2022. godine (EIA, 2022e)

Samim time što u *Midwest* regiji egzistira najviše skladišta od ostalih regija, tu će biti i najveći skladišni kapacitet.

**Tablica 3-1.** Povijesna usporedba količine radnog plina u podzemnim skladištima regija Sjedinjenih Američkih Država (EIA, 2022a)

| Regija               | Zaključno s 19. kolovozom 2021.       |            | Petogodišnji prosjek (2017-2021)      |            |
|----------------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|
|                      | Zalihe<br>(milijarde m <sup>3</sup> ) | % promjene | Zalihe<br>(milijarde m <sup>3</sup> ) | % promjene |
| <i>East</i>          | 18,7                                  | -9,3       | 19,5                                  | -13,2      |
| <i>Midwest</i>       | 22,3                                  | -9,2       | 22,2                                  | -9,0       |
| <i>Mountain</i>      | 5,3                                   | -18,6      | 5,3                                   | -17,7      |
| <i>Pacific</i>       | 6,8                                   | 0,8        | 7,7                                   | -10,7      |
| <i>South Central</i> | 27,5                                  | -10,4      | 28,3                                  | -12,9      |
| Ukupno               | 80,6                                  | -9,4       | 83                                    | -12,0      |

#### 3.4.1. *Midwest*

*Midwest* regija sastoji se od sljedećih država u SAD-u: Illinois, Indiana, Iowa, Kentucky, Michigan, Minnesota, Missouri, Tennessee i Wisconsin. Većina skladišta se nalazi u iscrpljenim ležištima plina ili nafte. Prema podacima Američke Energetske informacijske uprave, trenutno se u ovoj regiji nalazi 125 podzemnih skladišta prirodnog plina, dok je u svibnju 2022. ukupni volumen tih skladišta iznosio 77,5 milijardi m<sup>3</sup> plina, a ukupni volumen radnog plina bio je 34,7 milijarde m<sup>3</sup>. Prema zadnjem poznatom podatku iz 2022. godine, u svibnju je u skladišta u *Midwest* regiji utisnuto 3,4 milijarde m<sup>3</sup> prirodnog plina i povučeno je 0,16 milijardi m<sup>3</sup>. S druge strane, tijekom sezone povlačenja, u 2022. je do sad najviše plina povučeno u siječnju, i to 8,9 milijardi m<sup>3</sup> (EIA, 2022d).



**Slika 3-11.** Količina radnog plina u *Midwest* regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine (EIA, 2022d)

Slika 3-11. prikazuje da su u zadnjih 10 godina najmanje količine prirodnog plina u podzemnim skladištima *Midwest* regije bile početkom travnja 2014. godine (crveni kružić). Blage zimske temperature prije zime 2013. – 2014. smanjile su energetske potrebe za toplinom, dok je regionalno oštrija zima 2013. – 2014. povećala potražnju za plinom u svrhu grijanja. Takav trend prati i ostale četiri regije u SAD-u.

#### 3.4.2. *South Central*

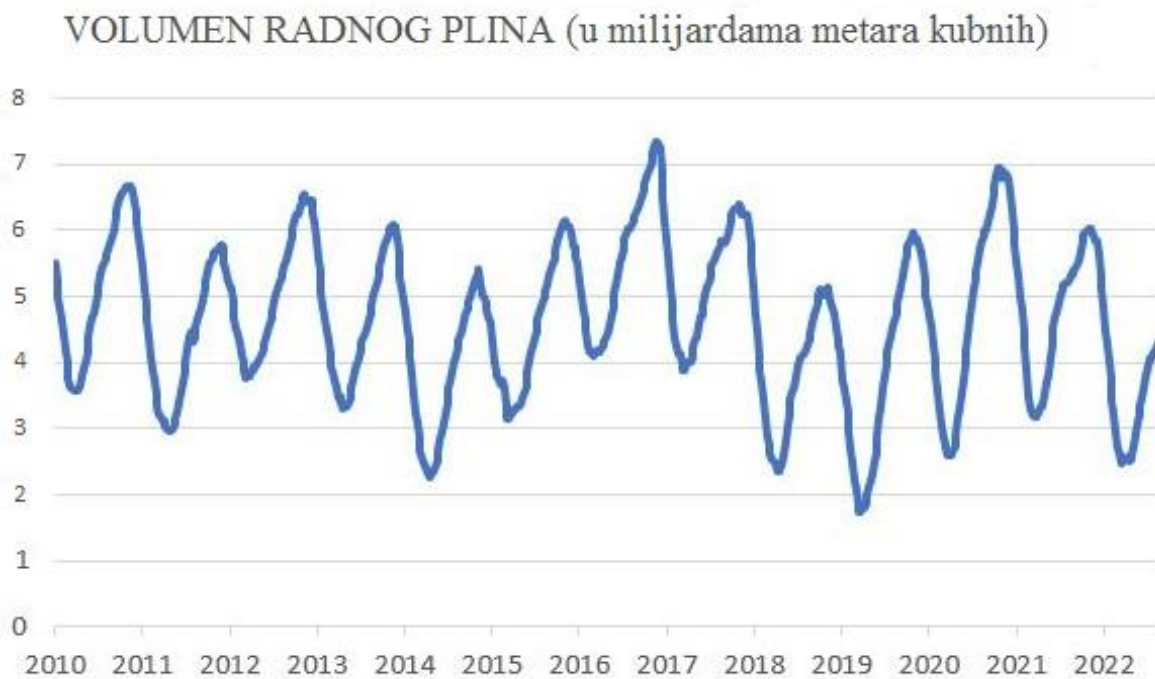
U opseg regije *South Central* ulaze države: Teksas, Oklahoma, Kansas, Arkansas, Louisiana, Mississippi i Alabama. Ova regija trenutno broji ukupno 97 postojećih polja u kojima se skladišti prirodni plin. Prema posljednjim podacima, u svibnju 2022. godine ukupni volumen skladišta u *South Central* regiji iznosio je 74,7 milijarde m<sup>3</sup>, a ukupni volumen radnog plina bio je 44,2 milijarde m<sup>3</sup>. Prema zadnjem poznatom podatku iz 2022. godine, u svibnju je u skladišta u ovoj regiji utisnuto 4,8 milijardi m<sup>3</sup> prirodnog plina; usporedno s tim podatkom, u siječnju 2022. godine je utisnuto 1,42 milijarde m<sup>3</sup>. Kada spominjemo povlačenje, povučeno je 1,7 milijardi m<sup>3</sup> plina u svibnju, dok je u siječnju povučeno 11,3 milijarde m<sup>3</sup> (EIA, 2022d).



**Slika 3-12.** Količina radnog plina u *South Central* regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine (EIA, 2022d)

### 3.4.3. *Mountain*

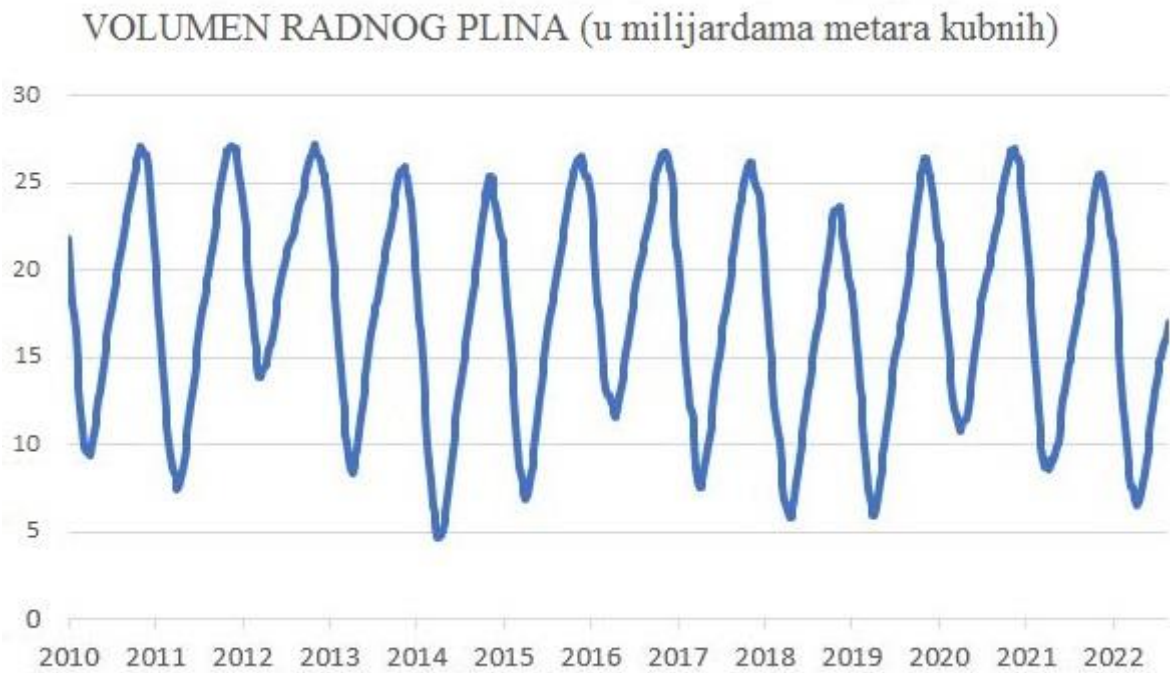
*Mountain* regija broji 11 saveznih država, a to su Montana, Idaho, Wyoming, Nevada, Utah, Arizona, Novi Meksiko, Colorado, Sjeverna Dakota, Južna Dakota i Nebraska. Ukupni broj podzemnih skladišta prirodnog plina u državama ove regije jest 28. Prema recentnim podacima iz 2022. u svibnju je utisnuto 0,7 milijardi m<sup>3</sup> plina, a najviše je povučeno u siječnju, i to 1,3 milijardi m<sup>3</sup> plina, a usporedno s tim podatkom, tada je utisnuto 0,1 milijardi m<sup>3</sup> plina. Ova regija bilježi manje količine utisnutog i povučenog plina od ostalih regija samim time što ima puno manje podzemnih skladišta od njih (EIA, 2022d).



**Slika 3-13.** Količina radnog plina u *Mountain* regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine (EIA, 2022d)

#### 3.4.4. *East*

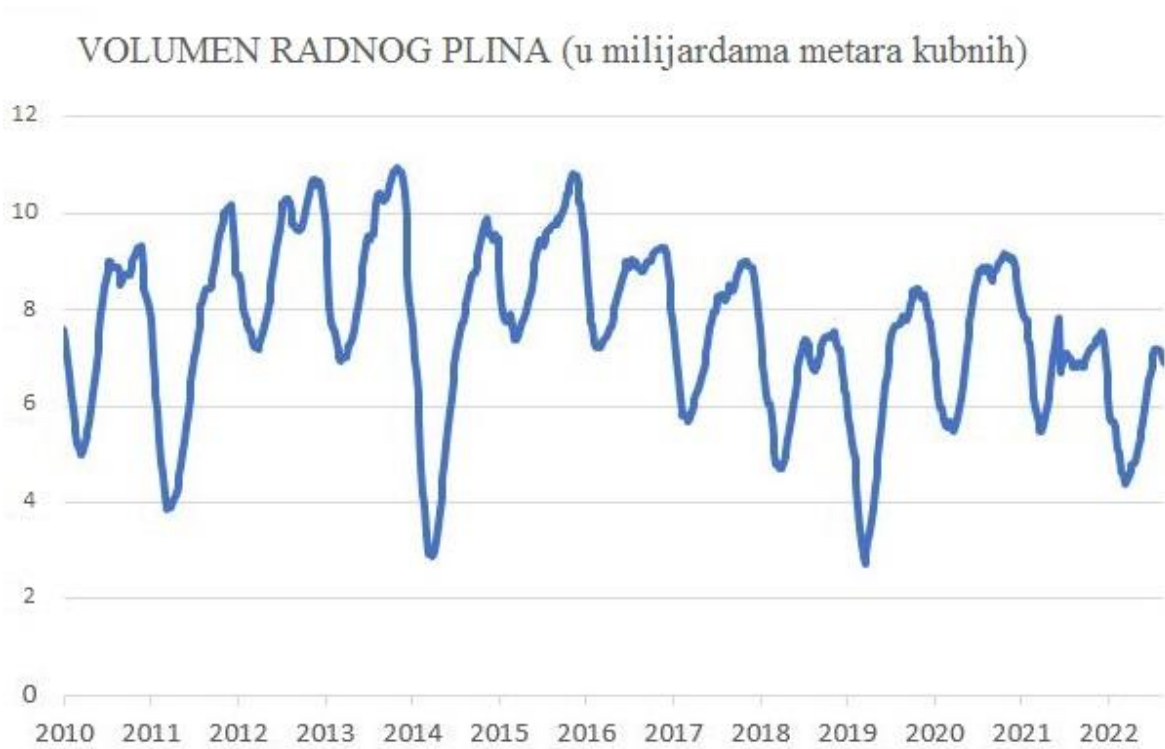
Savezne države u sastavu *East* regije su Florida, Georgia, Sjeverna i Južna Karolina, Virginia, Zapadna Virginia, Ohio, Pennsylvania, New Jersey, Maryland, Delaware, Connecticut, Rhode Island, New York, Massachusetts, Vermont, New Hampshire, Maine i Distrikt Kolumbija i to područje broji sve ukupno 133 podzemna skladišta prirodnog plina. Zadnje zabilježeni podatak o količini radnog plina u ovoj regiji jest 10,5 milijardi m<sup>3</sup> plina u svibnju 2022. godine. Do sada se u 2022. najviše plina povuklo u siječnju, što prati trend i u ostalim regijama; tog plina bilo je 7,6 milijardi m<sup>3</sup>. U tom periodu se i najmanje plina utisnulo u skladište, svega 0,2 milijardi m<sup>3</sup> (EIA, 2022d). Može se reći kako su te količine plina u oba slučaja opravdane brojnošću i napućenošću saveznih država u ovoj regiji.



**Slika 3-14.** Količina radnog plina u *East* regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine (EIA, 2022d)

#### 3.4.5. *Pacific*

Svega 3 savezne države čine Pacifičku regiju, a to su Kalifornija, Oregon i Washington, gdje su 23 podzemna skladišta prirodnog plina. U toku punjenja, u svibnju 2022. godine u ovim skladištima ukupna količina radnog plina iznosila je 5,9 milijardi m<sup>3</sup>. Najmanji volumen plina u ciklusu utiskivanja, do sada (rujan 2022.) mjeren u 2022. bio je u veljači – 0,3 milijarde m<sup>3</sup> (EIA, 2022d).



**Slika 3-15.** Količina radnog plina u *Pacific* regiji u razdoblju od 2010. godine do 19. kolovoza 2022. godine (EIA, 2022d)

## 4. TRŽIŠTE PRIRODNOG PLINA

### 4.1. Deregulacija 1992. godine

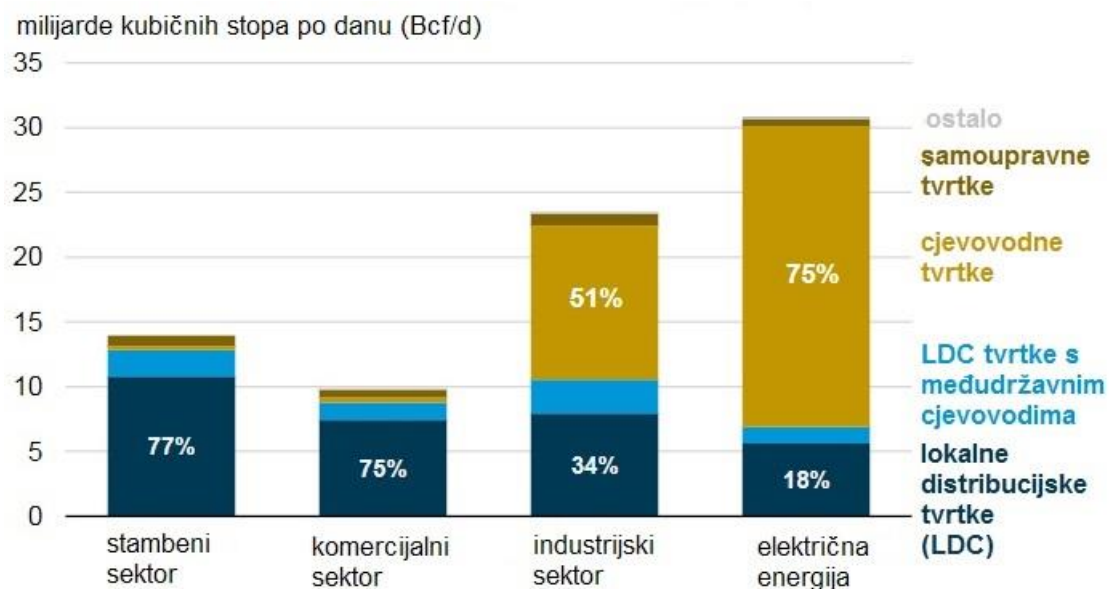
Skladištenje prirodnog plina ima ključnu ulogu u održavanju pouzdanosti opskrbe potrebne za zadovoljavanje zahtjeva potrošača. Povijesno gledano, kada je prirodni plin bio regulirana roba, skladištenje je bilo dio cjelokupnog proizvoda koji se prodavao distribucijskim tvrtkama. Sve se to promijenilo 1992. godine uvođenjem Naredbe 636 (engl. *Order 636*) od strane Federalne energetske regulatorne komisije (FERC), koja je otvorila cijene prirodnog plina za deregulaciju. Skladišta su prije deregulacije samo imala svrhu amortizacije između transporta i distribucije, kako bi se osigurale odgovarajuće zalihe prirodnog plina za sezonske promjene potražnje i neočekivane poraste potražnje. Nakon liberalizacije 1992. godine, osim u te svrhe, sudionici u industriji također koriste skladište prirodnog plina iz komercijalnih razloga, skladištenje plina kada su cijene niske, te povlačenje i prodaja kada su cijene povećane. Time se postigla liberalizacija tržišta.

### 4.2. Operatori na tržištu

Glavni vlasnici/operatori podzemnih skladišta su međudržavne tvrtke za naftovode, unutardržavne tvrtke za naftovode, lokalne distribucijske tvrtke (LDC - engl. *Local Distribution Companies*) i nezavisni pružatelji usluga skladištenja. Oko 120 subjekata trenutno upravlja s gotovo 400 aktivnih podzemnih skladišta u državama „*Lower 48*“. Ako skladište služi međudržavnoj trgovini, podliježe nadležnosti Federalne energetske regulatorne komisije (FERC), u suprotnom je državno regulirana. Vlasnici/operatori skladišta nisu nužno vlasnici prirodnog plina koji se nalazi u skladištu. Zapravo, većina radnog plina koji se nalazi u skladištima drži se pod zakupom kod distributera, LDC tvrtki ili krajnjih korisnika koji posjeduju plin. Vrsta subjekta koji posjeduje/upravlja objektom će u određenoj mjeri odrediti kako će se koristiti skladišni kapacitet tog objekta. Na primjer, međudržavne tvrtke za cjevovode uvelike se oslanjaju na podzemno skladištenje kako bi olakšale uravnoteženje opterećenja i upravljanje opskrbom sustava na svojim plinovodima. Propisi FERC-a dopuštaju međudržavnim tvrtkama za naftovode da rezerviraju dio svojih skladišnih kapaciteta za tu svrhu. Ipak, većina njihovih skladišnih kapaciteta iznajmljena je drugim sudionicima u industriji. Unutardržavne tvrtke za naftovode također koriste skladišne kapacitete i zalihe u slične svrhe, uz opskrbu kupaca.



One najmanje razvijene zemlje, koje su obično one s velikim distribucijskim sustavima i brojnim skladišnim objektima, bile su u mogućnosti upravljati svojim objektima tako da mogu iznajmiti dio svojih skladišnih kapaciteta trećim stranama (često trgovcima).



**Slika 4-1.** Isporuka prirodnog plina u SAD-u sektorima po vrstama distribucije (EIA, 2018)

Prema podacima EIA, 2022 tvrtke za distribuciju prirodnog plina isporučivale su prirodni plin krajnjim korisnicima u Sjedinjenim Američkim Državama u 2018. godini. Tvrtka za isporuku definirana je kao bilo koji subjekt koji isporučuje prirodni plin izravno krajnjim korisnicima. U 2018. lokalne distribucijske tvrtke (LDC) prvenstveno su opskrbljivale domove i tvrtke, isporučujući otprilike 90% ili 22 milijarde kubičnih stopa dnevno (Bcf/d), odnosno otprilike 622,9 milijuna m<sup>3</sup> prirodnog plina dnevno za krajnju upotrebu u stambene i komercijalne sektore. Privatne tvrtke, najčešći su tip distributera prirodnog plina u Sjedinjenim Državama, ali isporučuju relativno male količine prirodnog plina za krajnju upotrebu.

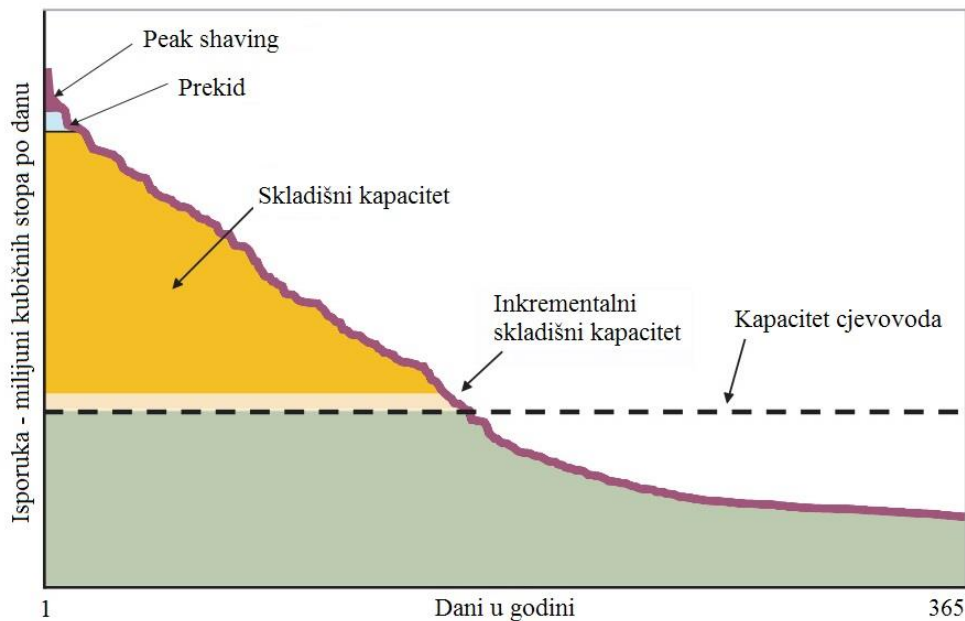
#### 4.3. Ekonomske značajke podzemnog plinskog skladišta

Kapitalni troškovi i priljev novca, a time i ekonomska isplativost skladištenja prirodnog plina ovise o fizičkim karakteristikama i mogućnostima pojedinog skladišnog polja, uslugama koje treba pružiti i u manjoj mjeri, o regulatornom režimu. Regulatori mogu ograničiti mogućnost skladišnih projekata na konkretni finalni profit. Prije nego što je skladište planirano i locirano ulaže se značajan napor u razvoj samog skladišta.

Operatori skladišta i kupci razvili su tehnike vrednovanja skladišta na temelju teorije opcija. U skladu s time, vrijednost skladišta ovisit će o procjeni troškova usluge, planiranju najmanjeg troška, sezonskoj procjeni (intrizično) i vrednovanju temeljenjem na opcijama (engl. *options*)(ekstrizično).

Sezonska procjena, kao intrizična, podrazumijeva izračunavanje razlike u cijeni između troška utisnutog plina i troška povlačenja, umanjenog za sve knjigovodstvene troškove kapitala korištenog za kupnju plina i njegovo držanje u skladištu dok ne dođe do povlačenja. Kada govorimo o opcijama ili engl. *options*, vrijednost im je proporcionalna unaprijednim ugovorima (engl. *forward contracts/forwards*) i volatilnosti cijena.

Metodu planiranja najmanjeg troška obično provode lokalne distribucijske tvrtke i ostali veliki kupci plina. Skladište se vrednuje s obzirom na uštede koje proizlaze iz nepotrebnog korištenja skupljeg izbora.



**Slika 4-2.** Grafički prikaz metode planiranja najmanjeg troška za podzemno skladište plina (FERC, 2004)

Troškovi izrade podzemnog skladišta su bazirani na temelju nekoliko čimbenika kao što su kvaliteta i varijabilnost geoloških struktura određenog lokaliteta, količina potrebne snage skladišta, vrsta nadzemnih objekata potrebnih za određeno skladište, blizina cjevovodne infrastrukture i pitanje potrebnih dozvola i ekoloških zahtjeva. Skladišta visoke mogućnosti isporuke imaju prednosti u trgovanju što se povećava s godišnjim brojem ciklusa.

*Peak shaving* je proces smanjenja količine energije tijekom vremena najveće potražnje za energijom (plinom) kako bi se smanjile naknade za vršnu potražnju i ostvarile uštede. Drugim riječima, sastoji se od izravnavanja profila akumulacije energije.

#### 4.4. Henry Hub

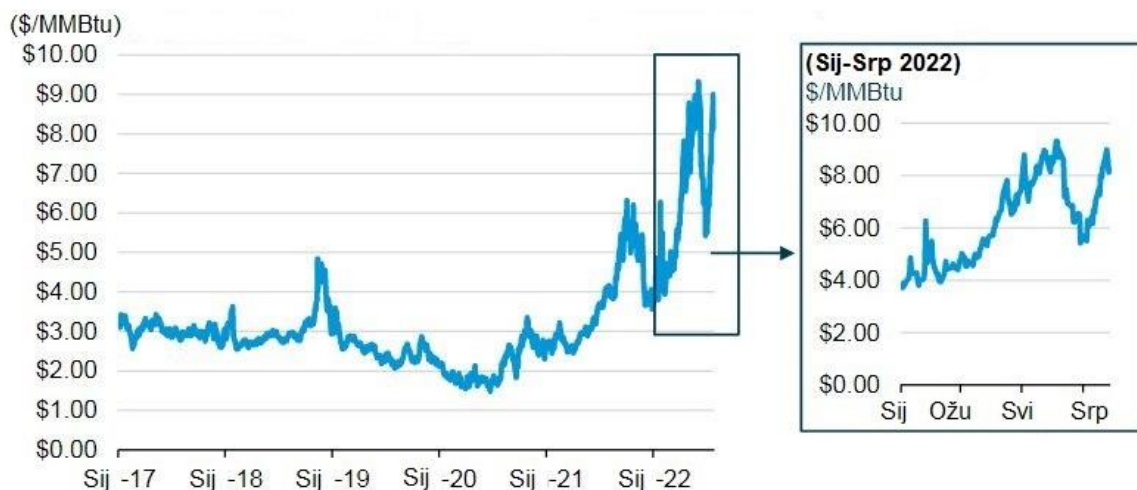
Henry Hub je distribucijsko čvorište na sustavu plinovoda za prirodni plin u Erathu u Louisiani i u vlasništvu je tvrtke Sabine Pipe Line LLC. Zbog svoje važnosti, isto se naziva terminski ugovor (engl. *futures*) o prirodnom plinu kojim se trguje na Njujorškoj burzi (NYMEX) i OTC Market *swapovima* kojima se trguje na Interkontinentalnoj burzi (ICE).

Henry Hub se povezuje s devet međudržavnih i četiri unutardržavna plinovoda: *Acadian, Columbia Gulf Transmission, Gulf South Pipeline, Bridgeline, NGPL, Sea Robin, Southern Natural Pipeline, Texas Gas Transmission, Transcontinental Pipeline, Trunkline Pipeline, Jefferson Island* i *Sabine*. Kao rezultat ovakve međupovezanosti, Henry Hub nudi distributerima i trgovcima prirodnog plina jednostavan pristup cjevovodima koji opskrbljuju tržišta u SAD-u.

Dvije kompresorske stanice u Henry Hubu mogu komprimirati 6,3 GW dok je transportni kapacitet 1,8 milijarde kubnih stopa po danu (590 m<sup>3</sup>/s).

*Spot* i *future* cijene prirodnog plina na Henry Hubu izražene su u američkim dolarima po milijunima britanskih toplinskih jedinica i općenito se smatraju primarnim cijenama za sjevernoameričko tržište prirodnog plina (1 MMBtu je otprilike 1 GJ, odnosno 30 m<sup>3</sup> plina pri donjoj ogrjevnoj vrijednosti).

Komercijalna važnost Henry Huba rezultat je njegove strateške lokacije i logističke infrastrukture. Ovaj aspekt ključna je komponenta za razumijevanje uloge *futuresa* Henry Huba kao referentne vrijednosti cijena za tržište prirodnog plina.

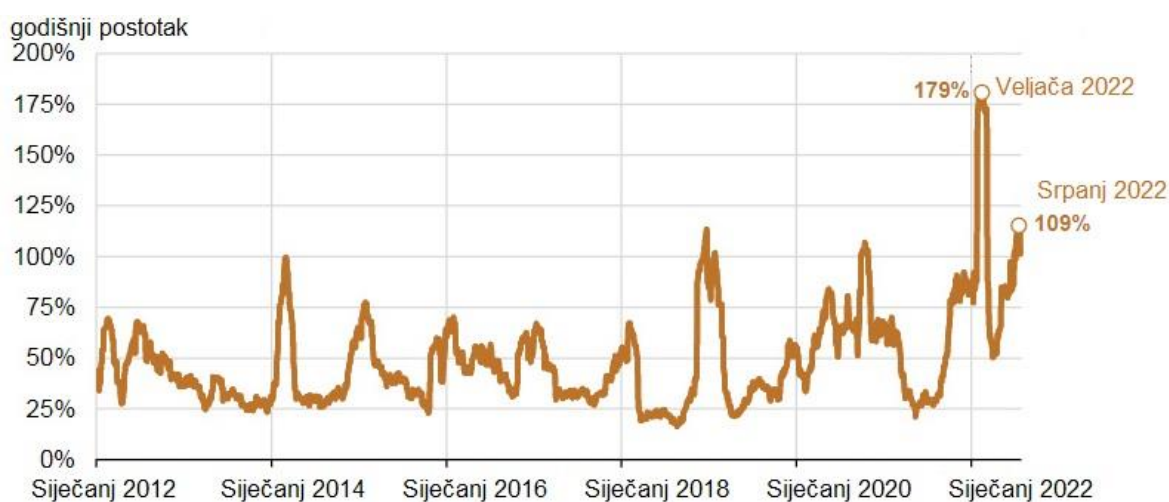


**Slika 4-3.** Cijena *futuresa* na Henry Hubu u razdoblju od siječnja 2021. do srpnja 2022. godine (EIA, 2022f)

Volatilnost cijena plina pala je na prosječnih 56 % u travnju, ali je porasla u sljedećim mjesecima, na prosječno 109% u srpnju. (Slika 4-3.).

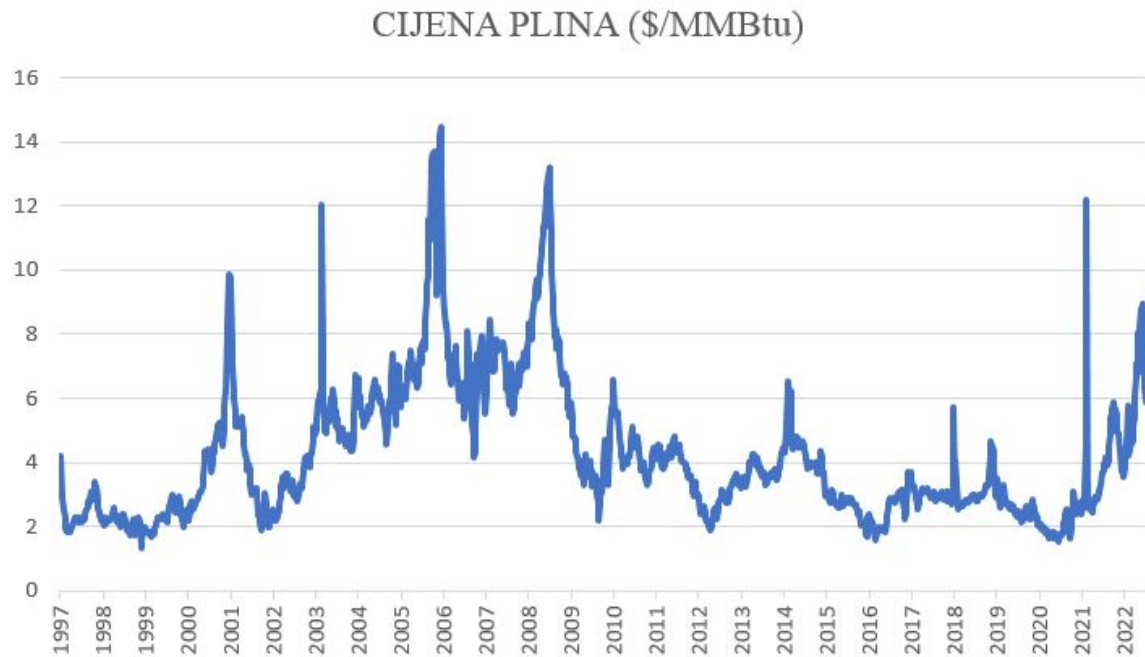
#### 4.5. Cijene prirodnog plina

Volatilnost cijena prirodnog plina u SAD-u dosegla je najvišu razinu u 20 godina, dosegnuvši rekordne visine u prvom tromjesečju (siječanj – ožujak) 2022. godine. 30-dnevna povijesna volatilnost cijena prirodnog plina u SAD-u, koja se temelji na prednjoj američkoj referentnoj vrijednosti Henry Huba, bila je u prosjeku 179% u veljači u usporedbi s 57% tijekom prvog kvartala 2021. godine (EIA, 2022f).



**Slika 4-4.** Volatilnost cijene prirodnog plina u razdoblju od siječnja 2012. do srpnja 2022. godine (EIA, 2022f)

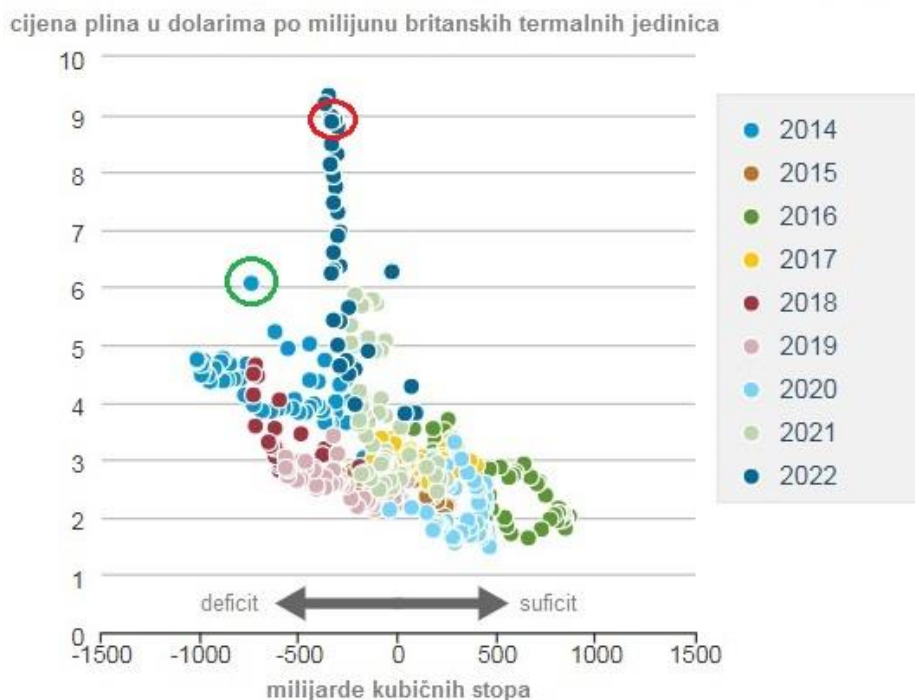
Neto iznos utisnutog plina u skladišta iznosio je ukupno 60 Bcf (1,7 milijardi m<sup>3</sup>) za tjedan koji je završio 19. kolovoza 2022., u usporedbi s petogodišnjim (2017. – 2021.) prosječnim neto utiskivanjima od 46 Bcf (1,3 milijarde m<sup>3</sup>) i prošlogodišnjim neto utiskivanjima od 32 Bcf (0,9 milijardi m<sup>3</sup>) plina tijekom istog tjedna. Radne zalihe prirodnog plina iznosile su ukupno 2 579 Bcf (73 milijarde m<sup>3</sup>) što je 353 Bcf (10 milijardi m<sup>3</sup>) (12%) manje od petogodišnjeg prosjeka i 268 Bcf (7,6 milijardi m<sup>3</sup>) (9%) manje nego prošle godine u ovo doba (EIA, 2022g).



**Slika 4-5.** *Spot* cijene prirodnog plina na Henry Hubu od 1997. godine do danas (EIA, 2022h)

Prema zakonu ponude i potražnje, dobavljači plina će povećati cijene kada se potražnja poveća, što će biti u zimskom periodu. Za primjer možemo uzeti znatno hladniju zimu 2014. godine kada je cijena plina bila zamjetno veća u odnosu na ostale mjesece, te je *spot* cijena plina iznosila 6,06 dolara po milijunu britanskih jedinica ili 20,68 \$/MWh (Slika 4-6. - crveni kružić).

U veljači 2022. godine uslijedio je razdor između Rusije i Ukrajine. Rusija je smanjila količinu prirodnog plina koju šalje u Europu zatvaranjem turbine na plinovodu Sjeverni tok 1. Kritičari optužuju rusku vladu da koristi plin kao političko oružje. Sada Europa u većoj mjeri ovisi o ukapljenom prirodnom plinu iz SAD-a, što između ostalog zahtjeva više ciklusa povlačenja iz podzemnih skladišta. Ta situacija uzrokovala je ponovni skok međunarodnih cijena plina. Uslijedile su rekordne cijene prirodnog plina koje i dalje rastu. 11. kolovoza 2022. godine cijena plina iznosila je 8,87 dolara po milijunu britanskih termalnih jedinica ili 30,27 \$/MWh (Slika 4-6. – zeleni kružić).



**Slika 4-6.** Odnos kretanja tjednih stanja skladišta plina u funkciji kretanja tjednih cijena plina na Henry Hubu od 2014. do 2022. godine (EIA, 2022e)

Do početka 2022. godine, odnosno prije tenzija između Rusije i Ukrajine, vladao je uglavnom zakon ponude i potražnje na tržištu prirodnog plina. Korelacijom je vidljivo da cijene prate stanje zaliha. Sada je u pitanje došla i geopolitika. Zbog trenutne situacije planira se ekspanzija terminala za ukapljeni prirodni plin u narednim godinama, što nam daje dodatni razlog za buduće povećanje cijena prirodnog plina. Na slici 4-6. vidimo trenutni porast cijena plina koji i dalje traje. Uslijed toga Sjedinjene Američke Države postale su najveći svjetski izvoznik ukapljenog prirodnog plina u prvoj polovici 2022. godine s količinom izvoza od prosječnih 11,1 milijardi kubičnih stopa (314,3 milijuna m<sup>3</sup>) po danu. Tijekom prva četiri mjeseca 2022. godine SAD je izvezao 74% svog ukapljenog prirodnog plina u Europu, u usporedbi s godišnjim prosjekom od 34% 2021. godine. Tijekom 2021. globalno se trgovalo u prosjeku s 49 milijardi kubičnih stopa dnevno (Bcf/d) ili 1,4 milijarde m<sup>3</sup> dnevno ukapljenog prirodnog plina, što je povećanje od 2,2 Bcf/d (4,5%) ili 0,06 milijardi m<sup>3</sup> dnevno u odnosu na 2020. (EIA, 2022i).

## 5. ZAKLJUČAK

Energetska tranzicija nikada neće biti jednostavan proces. Na putanju prelaska s ovisnosti o fosilnim gorivima prema opcijama s nižim udjelom ugljika i ugljično neutralnim okruženjima utječu različiti čimbenici, uključujući tehnološki napredak, ekonomske uvjete i geopolitičku situaciju.

Liberalizacija u domeni podzemnih skladišta prirodnog plina privukla je neovisne pružatelje usluga skladištenja da razviju ista. Konkurencija na tržištu omogućuje niže cijene plina. Kapacitet koji je stavljen na raspolaganje iznajmljuje se trećim stranama kao što su trgovci i proizvođači električne energije. Očekuje se da će u budućnosti ova grupa zauzeti veći udio na tržištu, kako bude dolazilo do veće deregulacije, ali i potražnje.

Sjedinjene Američke Države postale su najveći svjetski izvoznik prirodnog plina, a izvoz se i dalje povećava. Istovremeno s tim se povećava i kapital jer se bilježi rekordna potražnja što dovodi do znatno povećanih cijena plina. Razlog tome je ruska invazija na Ukrajinu. Ovdje podzemna skladišta plina igraju važnu ulogu jer osiguravaju komoditet koji može biti pohranjen i korišten po potrebi.

Zemlje koje su se prije oslanjale na rusku naftu i plin prisiljene su pronaći nove dobavljače i trgovinske partnere. Potrošači se suočavaju s visokim cijenama i prekidima opskrbe kao rezultat ovih sankcija. Slijed tih događaja bi mogao odgoditi napredak u smanjenju ugljika u energetskej tranziciji.

U ovom radu projicirana je godišnja potrošnja i stanje zaliha prirodnog plina u Sjedinjenim Američkim Državama. To nas dovodi do zaključka da svijet nepobitno ovisi o američkom plinu više nego ikada u povijesti. Takva situacija upućuje na potrebe za još većim skladišnim kapacitetima. Očekivano je da će broj podzemnih skladišta plina narasti, a to bi posebice moglo privući neovisne operatore skladišta, da u bliskoj budućnosti razviju nove skladišne prostore.



## 6. LITERATURA

1. COATS, K., 1966. Gas Storage, Some Technical and Economic Aspects Of Underground Gas Storage, str. 1561-1563.
2. DAWSON, T. A., CARPENTER, G. L., 1963. Underground storage of natural gas in Indiana, Special Report No. I 1963, str. 5
3. EIA – ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2007. Impact of Higher Natural Gas Prices on Local Distribution Companies and Residential Customers
4. FERC - Federal Energy Regulatory Commission, 2004. Current State of and Issues Concerning Underground Natural Gas Storage, str. 18-25.
5. INGAA Foundation - The Interstate Natural Gas Association of America, 1995. Profile of Underground Natural Gas Storage Facilities and Market Hubs, str. II-1-II-36.
6. WARREN, J.K., 2016. Evaporites: A Geological Compendium. 2. izd. Cham: Springer International Publishing Switzerland, str. 1303-1374.

Internet izvori:

7. AMERICAN GAS ASSOCIATION (AGA), 2022.  
URL: [www.aga.org](http://www.aga.org) (23.08.2022.)
8. CME Group, 2022.  
URL: [www.cmegroup.com](http://www.cmegroup.com) (29.08.2022.)
9. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2015.  
URL: [www.eia.gov/naturalgas/storage/basics/](http://www.eia.gov/naturalgas/storage/basics/) (13.08.2022.)
10. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2018.  
URL: [www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=44577](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=44577) (22.08.2022.)
11. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2019.  
URL: [www.eia.gov/naturalgas/storagecapacity/methodology.php](http://www.eia.gov/naturalgas/storagecapacity/methodology.php) (23.08.2022.)
12. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022a.  
URL: <https://ir.eia.gov/ngs/ngs.html> (18.08.2022.)
13. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022b.  
URL: [www.eia.gov/dnav/ng/hist/nw2\\_epg0\\_swo\\_r48\\_bcfw.htm](http://www.eia.gov/dnav/ng/hist/nw2_epg0_swo_r48_bcfw.htm) (18.08.2022.)
14. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022c.  
URL: [www.eia.gov/dnav/ng/ng\\_stor\\_cap\\_dcu\\_NUS\\_a.htm](http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_stor_cap_dcu_NUS_a.htm) (21.08.2022.)
15. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022d.  
URL: [www.eia.gov/dnav/ng/ng\\_stor\\_wkly\\_s1\\_w.htm](http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_stor_wkly_s1_w.htm) (22.08.2022.)

16. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022e.  
URL: [www.eia.gov/naturalgas/storage/dashboard/](http://www.eia.gov/naturalgas/storage/dashboard/) (21.08.2022.)
17. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022f.  
URL: [www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=53579](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=53579) (27.08.2022.)
18. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022g.  
URL: [www.eia.gov/naturalgas/weekly/](http://www.eia.gov/naturalgas/weekly/) (27.08.2022.)
19. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022h.  
URL: <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdW.htm> (28.08.2022.)
20. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2022i.  
URL: [www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=52659](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=52659) (29.08.2022.)
21. ENERGY INFRASTRUCTURE – API, 2022.  
URL: [www.energyinfrastructure.org](http://www.energyinfrastructure.org) (22.08.2022.)
22. FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION (FERC), 2022.  
URL: [www.ferc.gov](http://www.ferc.gov) (18.08.2022.)
23. INVESTING, 2022.  
URL: [www.investing.com](http://www.investing.com) (28.08.2022.)
24. ONE PETRO, 2022.  
URL: <https://onepetro.org> (22.08.2022.)
25. PSP – PODZEMNO SKLADIŠTE PLINA, 2022.  
URL: [www.psp.hr](http://www.psp.hr) (22.08.2022.)
26. ResearchGate, 2003.  
URL: [www.researchgate.net/figure/Schematic-of-gas-storage-showing-cushion-gas-that-is-never-produced\\_fig1\\_228822684](http://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-gas-storage-showing-cushion-gas-that-is-never-produced_fig1_228822684) (22.08.2022.)
27. UNIPER, 2022.  
URL: [www.uniper.energy](http://www.uniper.energy) (23.08.2022.)

## IZJAVA

*Ja, Aleksandra Pejovski, izjavljujem da sam ovaj završni rad pod naslovom "Pregled rada podzemnih skladišta prirodnog plina u Sjedinjenim Američkim Državama" izradila samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom i uz stručno vodstvo mentora prof. dr. sc. Tomislava Kurevije.*



---

Aleksandra Pejovski



KLASA: 602-01/22-01/112

URBROJ: 251-70-12-22-2

U Zagrebu, 02.09.2022.

**Aleksandra Pejovski, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/112, URBROJ: 251-70-12-22-1 od 01.05.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### PREGLED RADA PODZEMNIH SKLADIŠTA PRIRODNOG PLINA U SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof.dr.sc. Tomislav Kurevija nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Prof.dr.sc. Tomislav Kurevija

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)



Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje

Pašić

(titula, ime i prezime)