

Možnost izvedbe visokotlačnega podzemnega skladišča zemeljskega plina na območju Rudnika Senovo

High Pressure Storage of Gas in Area of Coal Mine Senovo

ŽELJKO VUKELIČ¹, ŽELJKO STERNAD², VLADIMIR VUKADIN², FRANC ČADEŽ²,
MARJAN HUDEJ³, IVAN PEČOVNIK³

¹Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12 Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo,
1000 Ljubljana, Slovenija; E-mail: zeljko.vukelic@ntf.uni-lj.si

²Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija;
E-mail: zeljko.sternad@i-rgo.si, vladimir.vukadin@i-rgo.si

³RGP, Rudarska 6, 3320 Velenje, Slovenija;
E-mail: marjan.hudej@rlv.si, ivan.pecovnik@rlv.si

Received: November 05, 2006 **Accepted:** November 14, 2006

Povzetek: V članku smo predstavili možnost izgradnje podzemnega skladišča zemeljskega plina (PSZP) v karbonatnih kamninah na področju rudnika Senovo. Področje je bilo geološko preiskano. Izvedenih je bilo pet strukturnih vrtin do maksimalne globine 279 m. Jedro iz vrtin je bilo opisano s poudarkom na stratigrafiji, razpokah, tektonskih prelomov, RQD, vzeto pa je bilo veliko število vzorcev za laboratorijske preiskave. V vrtinah smo izvedli geofizikalne, presiometrične in hidrogeološke preiskave. S preiskavami smo potrdili območje (cca. 16,000 m²), kjer je pod globino površine 150 m, možno izdelati do štiri komore za podzemno skladišče zemeljskega plina.

Abstract: A paper for underground storage of gas (PSZP) in carbonate rocks was carried out in the area belonging to the Senovo mine. The area was geological surveyed and in addition five structural boreholes were drilled up to the depth of 279 m. The cores were logged with emphasis on stratigraphy, layering, rock joints, tectonic zones, RQD and addition characteristics samples were taken for the laboratory investigations. In boreholes geophysical, pressiometric and hydrogeological investigations were also carried out. The results of the investigations have revealed the occurrence of a rock volume (area of 16.000 m²) of 150 m where the geological and geotechnical conditions are appropriate for construction of several (up to 4) gas chambers for underground storage of gas.

Ključne besede: podzemno skladišče zemeljskega plina (PSZP), karbonatne kamnine, prevlečena podzemna komora

Key words: underground storage of gas (PSZP), carbonate rocks, The Lined Rock Cavern

Uvod

Slovenski plinovodni sistem ima skladišča zemeljskega plina zakupljena v tujini. Termoelektrarna Brestanica (TEB) je eden večjih porabnikov zemeljskega plina v

Sloveniji, s svojim načinom delovanja kot tipična konična elektrarna z velikimi urnimi in dnevnimi odjemi, pa povzroča v relativno majhnem plinovodnem omrežju precejšnje težave, posebno še v zimskem času. Takrat se pojavljajo zaradi velikega odjema plina

tudi omejitve pri obratovanju TEB. Tako smo v letu 2005 pričeli s terenskimi in laboratorijskimi raziskavami na področju Rudnika Senovo v zapiranju. Raziskave so vsebovale geološko kartiranje površine, strukturno vrtnanje petih globokih vrtin na jedro, terenske geotehnične meritve v vrtinah (presimeter, geofizikalne meritve, hidrogeološke meritve) in laboratorijske preiskave jedra vrtin za določitev njihovih geomehanskih parametrov. Na območju, kjer smo opravili raziskave prevladujejo apnenci, dolomiti in breče. Z opravljenimi raziskavami smo potrdili možnost izgradnje visokotlačnega podzemnega skladišča zemeljskega plina (PSZP) po tehnologiji LRC (Lined Rock Cavern). Pri PSZP se najprej izdelajo trije pristopni tuneli v treh različnih nivojih. Po izvedbi pristopnih tunelov se prične z izkopom podzemne komore projektiranih dimenzij. Nato se izvede jekleni plašč komore (debelina plašča obloge je 10 - 15 mm). Prostor med hribino in jeklenim plaščem se zalije z betonom. Podzemna komora je s površino povezana z vertikalnim jaškom v katerem so cevi za polnjenje, hlajenje in praznjenje plina iz podzemnega skladišča. Na površini je objekt s pripadajočo elektro-strojno opremo, ki zavzema površino 350 m x 300 m. Tehnologija izgradnje je povzeta po projektu PSZP na Švedskem, kjer tako skladišče že obratuje s tem, da je skladišče izdelano v granitnih kamninah.

OPIS TEHNOLOGIJE LRC PODZEMNEGA SKLADIŠČA PLINA

Na švedskem so od leta 1960 intenzivno raziskovali možnost za izgradnjo visokotlačnega podzemnega skladišča plina.^[1] Raziskave so bile usmerjene predvsem v možnost skladiščenja v globokih

vodonosnikih in opuščenih vrtinah za nafto in plin. Ker se je izkazalo, da v omenjenih variantah ni možno skladiščiti plina, so zadnjih dvajset let intenzivno raziskovali v smeri LRC (The Lined Rock Cavern – z oblogo prevlečen podzemni prostor/skladišče). Tako danes obratuje podzemno skladišče v Skallenu od začetka leta 2003.

LRC demonstracijski projekt je izveden blizu obalnega mesta Halmstad na severozahodnu Švedske. Objekt leži blizu glavnega plinovoda, ki poteka ob zahodni obali Švedske in ima odlično izhodišče za oskrbo trga s plinom. Gradnja skladišča se je pričela leta 1998.

Načrtovanje LRC podzemnega skladišča in izgradnja skladišča

Podzemna komora izkopa je bila načrtovana s strani strokovnjakov NCC iz Göteborga v sodelovanju z investitorjema Sydkraft in Gaz de France. Projekt je izveden na podlagi več letne študije, ki je definirala LRC (angl. Lined Rock Cavern, sl. Prevlečena podzemna komora) koncept. Načrt podzemnega skladišča je bil skrbno pregledan in odobren s strani švedskega pooblaščenega vladnega organa. Obenem so LRC koncept revidirali strokovnjaki ameriškega Ministrstva za energijo in ga predstavili kot možno opcijo za ameriško tržišče. Rezultati revizije so vzdržali presojo o izvedljivosti projekta in so predstavljeni v letnih poročilih ameriškega Ministrstva za energijo (U.S. Department of Energy, 2001; U.S. Department of Energy, 2002).

PSZP je izdelano v granitnih kamninah. Izvedba skladišča, od podzemne gradnje, pa do inštalacije elektro-strojne opreme,

Preglednica 1. Dimenzije podzemne komore**Table 1.** Dimension of storage cavern

Skupni volumen plina	10 MNm³
Volumen skladišča	40 000 m³
Premier skladišča	37 m
Višina skladišča	50 m
Tlak	200 bar
Globina skladišča pod površino	115 m
Čas polnjenja skladišča	20 dni
Čas praznjenja skladišča	10 dni

je trajala približno 4 leta. Ker je šlo v tem primeru za razvojni projekt je gradnja trajala nekoliko dlje kot bi bilo to pri običajni izgradnji tovrstnega skladišča (predvidoma dve leti). Pri podzemnem skladišču plina se najprej izdelata pristopni tunel, ki je povezan s tremi pristopnimi tuneli v treh različnih nivojih. Tuneli so namenjeni za transport materiala med izgradnjo podzemne komore. Po izvedbi pristopnih tunelov se prične z izkopom podzemne komore projektiranih dimenzij (slika 1, preglednica 1). Na površini je objekt s pripadajočo elektro-strojno opremo, ki zavzema površino 350 x 300 m.

Izdelava podzemne komore oziroma podzemnega skladišča se je pričela z izkopom dostopnih tunelov. Tuneli in komora so izkopani v gnajsu. Najprej je bila izkopana zgornja kalota komore. Nato so nadaljevali z izkopom do dna komore. Izkop se je izvajal z miniranjem. Po končanem izkopu komore so na stene pritrdili drenažen cevi in jih zaščitili z brizganim betonom.

Po izkopu komore so pričeli znotraj komore z montažo prosto stoječe jeklene obloge - posode. Jeklena obloga je varjena in je sestavljena iz prefabriciranih jeklenih plošč povprečne debeline 12 mm. Izjemen poudarek je bil na izvedbi varjenja in

kvaliteti jeklene obloge. Zvari jeklenih plošč so bili 100 % pregledani z neporušitvenimi metodami. Vso varjenje in kontrola zvarov je bila opravljen do zaključka izdelave obloge. Vertikalna dvigala so bila uporabljena za dviganje posode.

Zadnja faza izgradnje PSZP je bilo polnjenje prostora med jekleno oblogo in steno izkopane komore z betonom. Uporabljen je bil kvaliteten beton, ki ga ni bilo potrebno vibrirati. Posoda se je napolnila z vodo tako, da se je vzpostavilo hidrostatsko ravnovesje med samim polnjenjem prostora med jekleno oblogo in steno izkopane komore z betonom.

Podzemna komora je povezana s površino v vertikalnim jaškom, ki je bil izvrtan. V jašku so jeklene cevi za polnjenje in praznjenje skladišča plina. Oprema za vtiskanje plina v podzemno skladišče je enaka opremi kot se uporablja pri podzemnih skladiščih plina, ki so izdelani v opuščenih rudnikih soli.

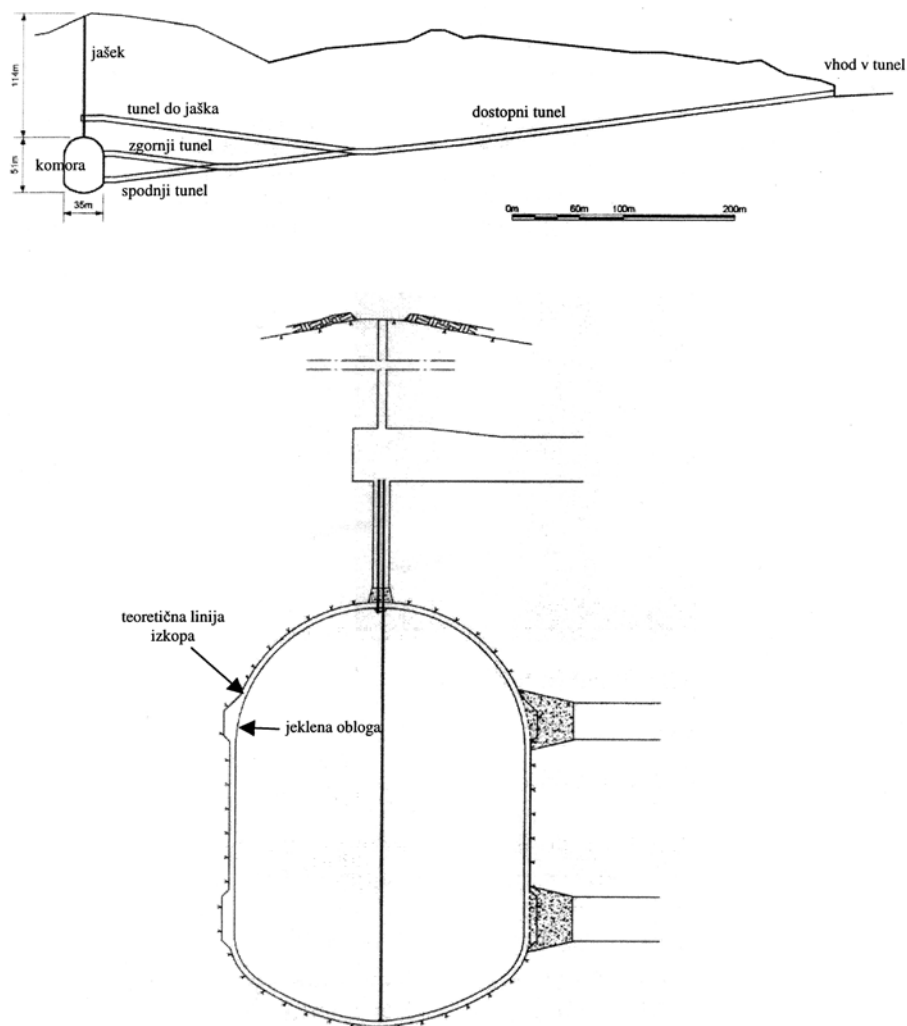
PSZP je vodeno iz kontrolne sobe, ki je na površini in bo v bodoče povezano s centralnim kontrolnim objektom plinovodnega omrežja v Malmöju na Švedskem.

Izgradnja PSZP je bila končana poleti 2002. Po izgradnji so pričeli s testiranjem podzemnega skladišča in obremenjevanjem komore s tlakom do 22 MPa. Izvajali so monitoring hribine in jeklene obloge podzemnega skladišča med obremenilnimi testi. Preliminarne raziskave so pokazale, da so deformacije hribine in jeklene obloge nekoliko nižje kot so jih predvideli pri načrtovanju objekta.

V začetku leta 2003 so vključili podzemno skladišče plina v plinovodno omrežje Švedske.

GEOLOŠKE RAZMERE V OKOLICI RUDNIKA SENOVO V ZAPIRANJU

Podatki pridobljeni z geološkim kartiranjem ter geološkim popisom jedra vrtin, potrjujejo



Slika 1. Shematski prikaz podzemnega skladišča zemeljskega plina PSZP (C. NOREN &, 2006)^[3]

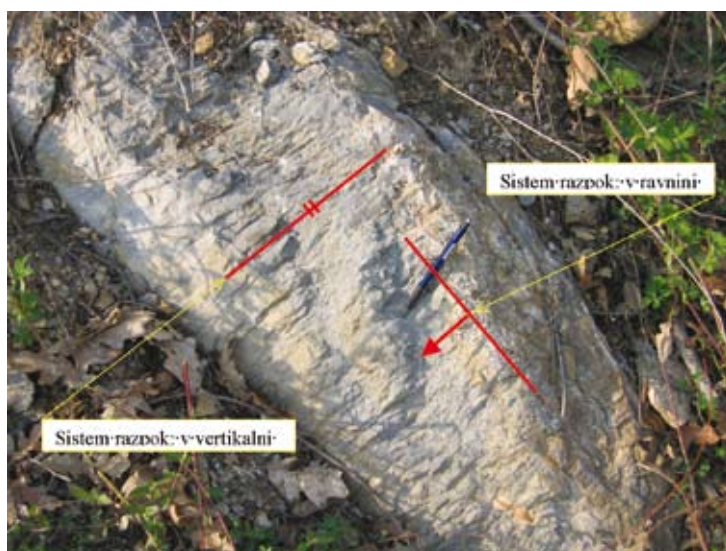
Figure 1. Layout of storage cavern PSZP

nastopanje apnencev in dolomitov na vzhodnem območju Rudnika Senovo.^[2,4]

V vrtinah se pretežno menjavajo sivi do temno sivi apnenci in dolomiti s sivorumenimi brečami. V apnencih in dolomitih se često pojavljajo tanke nekaj mm do nekaj cm debele pole zelenkastih laporjev. Kamnine so zato plastovite. Breče imajo peščeno karbonatno vezivo, kjer je vezivo peščeno lapornato, te breče hitreje razpadajo in imajo slabše geomehanske karakteristike. Prehodi med apnenci in dolomiti so mestoma zvezni mestoma pa so vezani na cone breč. Kamnino presekata navadno 2 sistema razpok, ki jih običajno zapolnjuje kalcit, redkeje se v njih pojavlja lapor. Nekatere žilice so izvotljene, v njih nastopajo drobni kristalčki. Prostorski odnosi med plastovitostjo in dvema sistemoma razpok, ki presekata plasti pod skoraj pravim kotom so lepo vidni na sliki 2.

Na površju smo ugotavljali zelo spremenljive vpade, ki so posledica sedimentacijskih razmer, lokalno pa tudi posledica gubanja majhnega merila. V vrtinah se večinoma pojavljajo zmerni do strmi vpadi med 45 in 90°. Že omenjene razpoke so običajno približno pravokotno orientirane med seboj in na plastovitost. Širina diskontinuitet je med 1mm do nekaj centimetrov, njihova medsebojna oddaljenost pa se spreminja od 0,1 do 1 dm in več.

Mestoma se pojavlja tudi tektonska breča, kjer so kosi apnenca, dolomita in laporja sprjeti v meljasto peščeni osnovi. Tektonsko pretrto jedro smo v krajših odsekih opazovali v vrtinah V-4, V-5 in V-2, kjer pripada manjšim lokalnim prelomom. Večji prelom pa povzemamo z rudniške geološke karte, to je Reštanjski prelom, ki se nahaja na vzhodnem robu karte, ob njem pa so bile oligocenske plasti premaknjene za cca 200 m proti severozahodu.



Slika 2. Plast apnenca na površini z dvema sistemoma razpok
Figure 2. Layer of limestone with two crack system

Potencialno primeren odsek za izvedbo podzemne komore, se na podlagi raziskav v vrtini V-1, in nato posledično na ostalih vrtinah, nahaja med globino 196 m in 276 m. V tem delu se zgoraj pojavljajo apnenci spodaj pa dolomiti, ki so močnejše razpokani, pogostejše so v njih tudi tanke laporne pole. Razpoke imajo subvertikalno do položno lego, zapolnjene so s kalcitom, ponekod tudi z laporjem. Povprečna vrednost enoosne tlačne trdnosti za ta odsek je znašala 55 MPa, RQD 47 %. Za primerjavo povejmo, da ima odsek nad tem, to je med 143 in 196 m vrednosti $\sigma = 23$ MPa, RQD = 29 %. Vrednost RMR za predlagani odsek tako znaša 48, GSI 40. Po vrednosti RMR uvrščamo ta del v III. skupino s srednjo kvaliteto hribine. Za zgornji odsek so vrednosti RMR/GSI 37/30, kar je po RMR IV skupina s slabo kvaliteto hribine.

TERENSKÉ PREISKÁVE

Vse vrtine so bile geološko-geotehnično popisane, pri čemer smo poleg litologije popisovali razpoke: njihovo usmeritev, debelino, polnilo in pogostnost. Izmerjen je bil RQD jedra, posebj pa smo izdvojili pojavljanje pretrtih con ter pojave različnih mineralov (pirit, železovi oksidi in hidroksidi, ter kalcit). Iz vrtin so bili odvzeti vzorci za laboratorijske preiskave, v samih vrtinah pa so bile izvedene različne geotehnične in hidrogeološke preiskave.

Presiometriške preiskave

Presiometriške preiskave so bile izvedene v vrtinah V2 in V4. Rezultati so pokazali, da se moduli elastičnosti (E_0) v vrtini V2 gibljejo v razponu od 0,103 GPa do 44,9 GPa, ter od 0,295 GPa do 71,36 GPa v vrtini V4.

Nižje vrednosti so značilne za apnenodolomitne breče z glinasto-lapornim vezivom, glinavce in laporje, ter močno razpokane kamnine, višje vrednosti pa za kompaktne dolomite, apnenice in breče s karbonatnim vezivom.

Za močnejše razpokane kamnine in kamnine z nižjim modulom elastičnosti je značilno, da je razbremenilni modul (E_{ur}) do 10 krat višji od obremenilnega, za kompaktne kamnine pa je razbremenilni modul 2-3 krat višji.

Primerjava rezultatov meritev elastičnih modulov s presiometrom (E_0) in modulov izmerjenih v laboratoriju (E), kaže da so razponi in velikostni red izmerjenih vrednosti podobne. Direktna primerjava med izmerjenima moduloma je bila možna le v vrtini V2 in sicer na globini 192,5, kjer se pojavljajo brečasti karbonati z različnim vezivom. Vrednost izmerjena s presiometrom znaša 8,3 GPa, v laboratoriju pa smo dobili vrednost 66,9 GPa.

Vzrok za tolikšno odstopanje je v dejstvu, da smo s presiometrom izmerili elastični modul hribine, pri čemer na rezultat posredno vplivajo prostorske variacije, kot so razpokanost, spremembe litologije itd... Vpliv prostorskih variacij je na laboratorijskem vzorcu bistveno manjši zaradi česar je modul višji.

S presiometričnimi meritvami se bolj približamo dejanskemu modulu kompaktne kamnine z razbremenilnim modulom, (E_{ur}), ki v tem primeru znaša 42,6 GPa, kar je veliko bližje laboratorijski vrednosti. Del rezultatov preiskav iz vrtine V4 so povzeti v preglednici 2.

Preglednica 2. Rezultati presiometriških meritev v vrtini V4

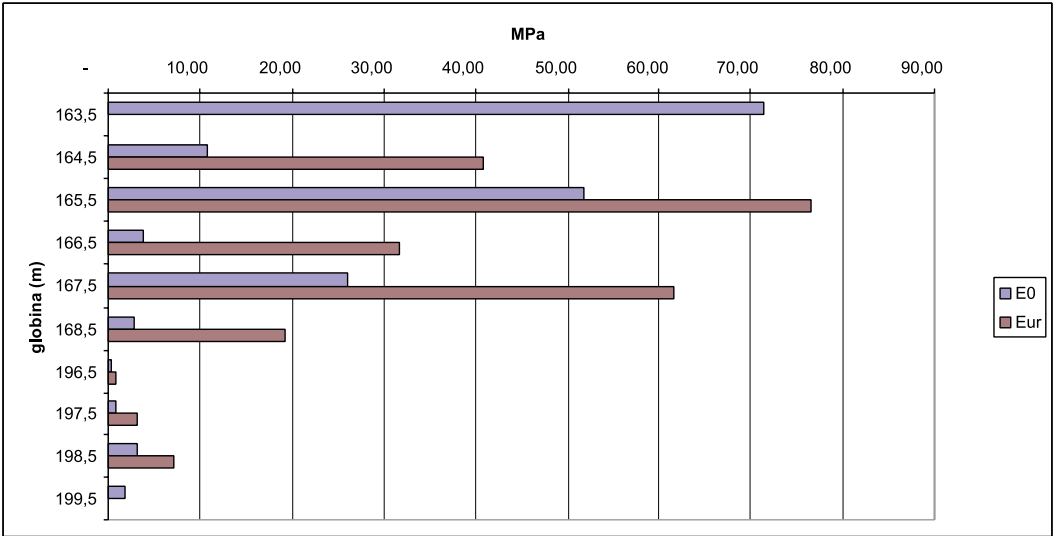
Table 2. Pressiometric tests in well V4

Zap.št.	Vrtina	Globina m	E0	Eur(1)	Eur(2)	H	H/V	Eo/Eur
			obremenilni GPa	razbremenilni GPa	razbremenilni GPa	MPa		
1	V4	163,5	71,36			2,63	0,60	0,00
2	V4	164,5	10,85	40,81		2,49	0,56	3,76
3	V4	165,5	51,71	76,65		2,50	0,56	1,48
4	V4	166,5	3,82	31,70		2,54	0,57	8,30
5	V4	167,5	26,10	61,66		2,70	0,60	2,36
6	V4	168,5	2,74	19,25		2,47	0,54	7,03
7	V4	196,5	0,29	0,85	1,2	3,03	0,57	2,92
8	V4	197,5	0,91	3,13	1,9	4,70	0,88	3,45
9	V4	198,5	3,17	7,20	5,0	4,09	0,76	2,27
10	V4	199,5	1,80		8,5	2,90	0,54	0,00

Geofizikalne meritve

Na območju predvidene izgradnje PSZP so bile izvedene tudi geofizikalne preiskave in sicer seizmični crosshole ter geoelektrični

crosshole med obstoječimi raziskovalnimi vrtinami. Izmerjene so bile 2 seizmični in 2 geoelektrični preslikavi. Cilj preiskav je bil ugotoviti morebitne anomalne cone v pretežno karbonatni kamnini, ki jih



Slika 3. Rezultati presiometriških meritev v vrtini V4

Figure 3. Pressiometric tests in well V4

Preglednica 3. Rezultati nalivalnih preizkusov v vrtinah V2, V3 in V4**Table 3.** Groundwater tests in wells V2, V3 and V4**Vrtina V2:**

Datum izvedbe	Globina izvedbe (m)	Izračunan K (m/s)
22. 2. 2006	90,3 – 99,3	$1,64 \cdot 10^{-6}$
12. 3. 2006	150 – 172	$9,38 \cdot 10^{-5}$
16. 3. 2006	201 – 213	$5,31 \cdot 10^{-5}$

Vrtina V3:

Datum izvedbe	Globina izvedbe (m)	Izračunan K (m/s)
11. 4. 2006	146 – 152	$1,41 \cdot 10^{-5}$
18. 4. 2006	174 – 186	$1,35 \cdot 10^{-5}$

Vrtina V4:

Datum izvedbe	Globina izvedbe (m)	Izračunan K (m/s)
18. 4. 2006	154 – 160	$2,58 \cdot 10^{-5}$

povzročajo nekatere plasti klastičnih usedlin, predvsem laporni in skrilavi sedimenti. Z geofizikalnimi preiskavami nismo ugotovili obstoja večjih prelomnih con.

Hidrogeološke preiskave

V okviru hidrogeoloških preiskav smo v vrtinah V2, V 3 in V4 izvedli nalivalne preizkuse v različnih globinah. Poleg tega pa smo izvedli serijo meritev nivoja gladine podtalnice. Rezultati nalivalnih preizkusov, ki so prikazani v preglednici 3 so bili ovrednoteni po različnih metodah (po HVORSLEV-u in po SCHNEEBELLI-ju). Na osnovi izmerjenih vrednosti lahko preiskovane kamnine uvrstimo med srednje prepustne s koeficienti prepustnosti med 10^{-5} in 10^{-6} m/s.

LABORATORIJSKE PREISKAVE

V okviru laboratorijskih preiskav smo na vzorcih odvzetih iz vrtin opravili naslednje preiskave:

- enoosne tlačne trdnosti (σ_c);
- enoosne natezne trdnosti (σ_t);
- prostorninske teže(γ);
- modula elastičnosti (E);
- poissonovega koeficienta (ν).

Rezultati laboratorijskih preiskav v vrtini V4 so podani v preglednici 4.

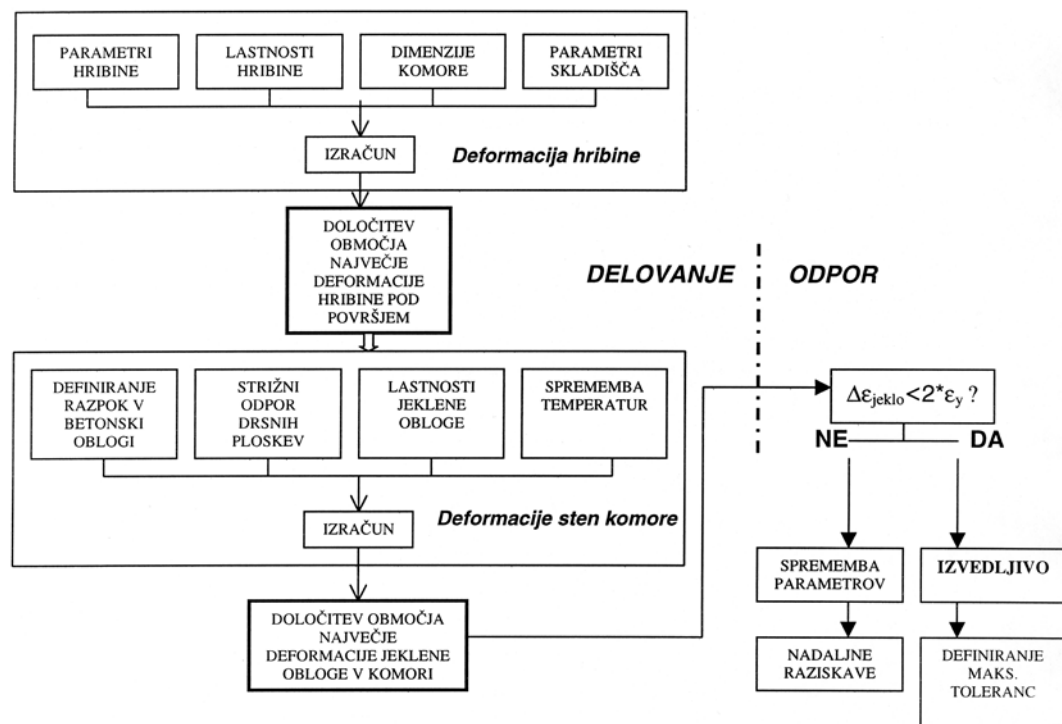
Preglednica 4. Rezultati laboratorijskih preiskav v vrtini V4
Table 4. Laboratory tests in well V4

Zap. št.	Vzorec		Material	Prostorska teža suhega materiala	Trdnost zemljine		Modul elastičnosti	Poissonov količnik
	Vrtina	Interval globine			Enoosna tlačna VALJ	Enoosna natezna VALJ		
	ozn.	m		γ kN/m ³	σ_c MPa	σ_t MPa	E MPa	ν -
1	V - 4	27,0 - 27,3	apnen skrilavec	23,5	58,9			
2		45,3 - 45,5	apnenec	26,6	73,5	4,3	85080	0,16
3		72,1 - 72,4	tektonska breča	22,7	1,00			
4		82,4 - 82,7	brečast apnenec	26,4	51,80	2,4	54330	0,2
5		100,1 - 100,4	apnenec z meljevcem	26,2	7,7	1,4		
6		106,5 - 106,8	apnenec z meljevcem	25,8	22,3	2,1		
7		111,0 - 111,3	tektoniziran meljevec	22,3	1,4	0,3		
8		126,2 - 126,6	apnenec	26,4	65,9	3,3	86670	0,28
9		129,8 - 130,0	apnenec	26,0	42,6	2,7		
10		131,3 - 131,9	apnenec	26,5	71,9	2,9	98520	0,11
11		133,4 - 133,7	apnenec	26,2	62,8	5,5	80000	0,22
12		134,0 - 134,3	apnenec	26,0	76,4	6,8	61150	0,27
13		143,0 - 143,3	apnenec z meljevcem	25,0	7,8	1,4		
14		146,1 - 146,3	apnenec z laporjem	25,7	22,4	2,1		
15		150,0 - 150,3	apnenec	26,5	58,2	4,3		
16		150,5 - 150,9	apnenec	26,3	49,0	5,1		
17		152,0 - 152,2	apnenec	26,5	70,1	4,7	53600	0,12
18		159,0 - 159,3	brečast apnenec	26,3	57,8	6,5		
19		174,5 - 174,9	apnenec	26,1	25,9	4,7		
20		178,5 - 178,9	apnenec	26,6	41,9	7,2		
21		191,4 - 191,8	breča z vložki gline	24,0	1,8	0,2		

ZAKLJUČEK

Z izvedenimi raziskavami smo natančneje omejili blok karbonatnih kamnin na površini, s petimi vrtnami in odvzetimi vzorci pa raziskali geološke in geotehnične razmere na obravnavanem prostoru. Preliminarne preiskave kažejo, da so geološko-geotehnične razmere v izdvojenem območju, čigar površina znaša cca 16.000 m² (230 x 75 m), primerne za izdelavo večjih (do štirih) komor dimenzij premera cca. 24 m in višine cca. 45 m, pod površjem nad globino

cca. 150 m v plasteh apnenca, dolomita in breče.^[4] Skladišče bi bilo lahko zgrajeno za tlak 15 do 20 MPa. Po podatkih kartiranja in geofizikalnih meritev se različne plasti hitro menjajo med seboj, z geomehanskega stališča pa ni bistvenih razlik med njimi. Območja ne seka nobena večja tektonska cona. Vrednosti RMR (vrednosti 40 do 50 - Slika 5)^[3] uvrščajo ta del v srednji razred po kakovosti hribine. Za optimalno določitev parametrov PSZP bo potrebno opraviti analizo na podlagi načrtovanja, ki je prikazana na sliki 4.

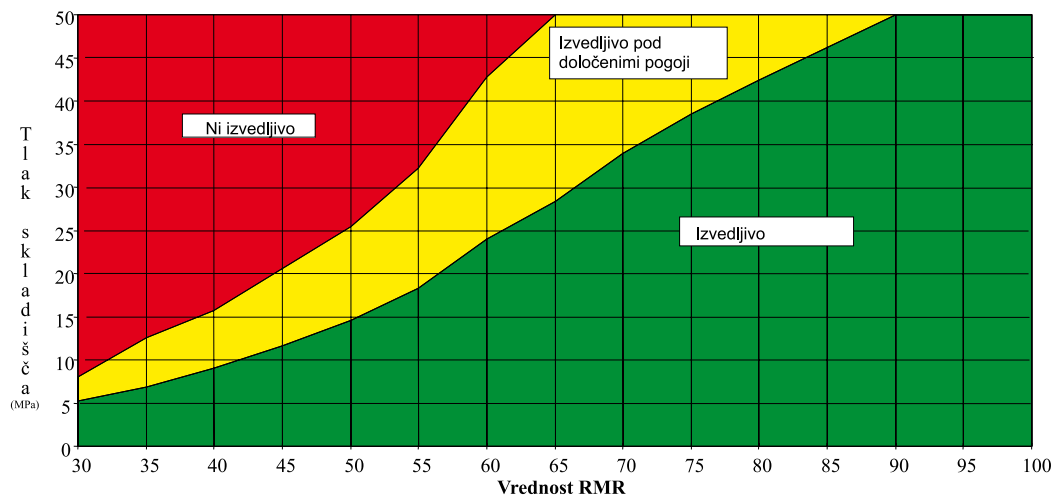


Kjer sta:

- $\Delta\epsilon_{\text{jeklo}}$ velikost deformacije
- ϵ_y elastična deformacija

Slika 4. Načrtovanje za PSZP^[1,2]

Figure 4. Layout of PSZP project



Slika 5. Izvedljivost PSZP v odvisnosti od RMR. (NOREN, 2006)^[3]

Figure 5. Layout of geological feasibility

CONCLUSIONS

High Pressure Storage of Gas in Area of Coal Mine Senovo

Investigations confirm that the rock mass quality is main factor for determining the maximum size for the cavern and maximum pressure. The rock mass at the proposed site consists of dolomites and limestone and is has been classified as Poor to Fair rock (RMR). It is concluded that a cavern with span of 24 m and height of 45 m is feasible. It is also concluded to consider storage pressure between 15 to 20 MPa. Underground 150 m is possible to construct 4 caverns in area of 230 m x 75 m.

LITERATURA:

- [1] J. JOHANSON: High Pressure Storage of Gas in Lined Rock Cavern, 2003, Stockholm, Švedska
- [2] Ž. VUKELIĆ s soavtorji: Študija možnosti izgradnje visokotlačnega skladišča zemljskega plina v Rudniku Senovo, 2004, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo;
- [3] C. NOREN & ...: Underground Storage of Natural Gas in Lined Rock Cavern in Brestanica Area 2006, NCC, Stockholm, Švedska
- [4] Ž. STERNAD s soavtorji: Končno poročilo o geološko-geotehničnih razmerah na področju PSZP Zakov/Senovo, 2006, RGP, Velenje