

# Priprema i izvođenje cementacije zaštitnih cijevi

---

Letvenčuk, Ivona

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:924920>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**PRIPREMA I IZVOĐENJE CEMENTACIJE ZAŠTITNIH CIJEVI**

Završni rad

Ivona Letvenčuk

N4421

Zagreb, 2022.

## PRIPREMA I IZVOĐENJE CEMENTACIJE ZAŠTITNIH CIJEVI

IVONA LETVENČUK

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

### Sažetak

U ovom radu opisana je priprema i izvođenje cementacije zaštitnih cijevi na bušotini Dravica-3. Ukratko je opisana lokacija bušotine te njezina konstrukcija, priprema i ispitivanje cementne kaše, oprema potrebna za izvođenje cementacija te oprema kolone zaštitnih cijevi. Također, prikazani su postupci ugradnje i cementacije konduktor kolona, uvodne kolone, prve i druge tehničke kolone i cementnog mosta. Uz to, prikazana su svojstva cementnih kaša za cementaciju svih kolona.

Ključne riječi: cementacija zaštitnih cijevi, cementna kaša, priprema cementacije, zaštitne cijevi

Završni rad sadrži: 35 stranica, 9 tablica, 19 slika i 12 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr.sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, redovita profesorica RGNf –a

Ocjenjivači: Dr.sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, redovita profesorica RGNf -a

Dr.sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a

Dr.sc. Karolina Novak-Mavar, docentica RGNf-a

## SADRŽAJ

### TABLE OF CONTENTS

<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. PRIPREMNI RADOVI I OPREMA ZA IZVOĐENJE CEMENTACIJE.....</b>	<b>2</b>
2.1. Cementna kaša .....	2
2.1.1. <i>Cement</i> .....	2
2.1.2. <i>Aditivi u cementnoj kaši</i> .....	2
2.2. Priprema i ispitivanje cementne kaše i cementng kamena .....	3
2.3. Oprema za izvođenje cementacije .....	4
<b>3. OPREMA KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI.....</b>	<b>9</b>
3.1. Centralizeri .....	9
3.2. Strugači .....	10
3.3. Zaustavni prsten.....	10
3.4. Čepovi za cementaciju .....	11
3.5. Šeširi za cementaciju .....	11
3.6. Cementacijska peta .....	12
3.7. Zaustavna ploča .....	12
<b>4. BUŠOTINA DRAVICA-3.....</b>	<b>13</b>
4.1. Konstrukcija bušotine Dravica-3 .....	14
<b>5. UGRADNJA I CEMENTACIJA KOLONA ZAŠTITNIH CIJEVI U BUŠOTINI DRAVICA-3.....</b>	<b>17</b>
5.1. Ugradnja površinske konduktor cijevi promjera 0,9144 m (36") i konduktor cijevi 0,508 m (20").....	18
5.2. Postupak ugradnje i cementacije uvedne kolone vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8").....	19
5.2.1. <i>Postupak ugradnje uvedne kolone vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8")</i> .....	19
5.2.2. <i>Postupak izvođenja cementacije zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8")</i> .....	20
5.3. Postupak ugradnje i cementacije prve tehničke kolone vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8").....	23

5.3.1. Postupak ugradnje prve tehničke kolone vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8").....	23
5.3.2. Postupak cementacije prve tehničke kolone vanskog promjera 0,2445 m (9 5/8").....	24
5.4. Postupak ugradnje i cementacije druge tehničke kolone vanjskog promjera 0,1778 m (7").....	27
5.4.1. Ugradnja druge tehničke kolone vanjskog promjera 0,1778 m (7") .....	27
5.4.2. Postupak izvođenja cementacije druge tehničke kolone vanjskog promjera 0,1778 m (7").....	28
5.5. Postupak postavljanja cementnog čepa .....	32
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>34</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>35</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Laboratorijska oprema: a) vaga za mjerenje gustoće, b) viskozimetar, c) atmosferski konzistometar, d) filter preša, e) ultrazvučni analizator (UCA) .....	3
<b>Slika 2-2.</b> Oprema za izvođenje cementacije na kopnu .....	4
<b>Slika 2-3.</b> Silosi .....	5
<b>Slika 2-4.</b> Postavljanje cementnih čepova u glavu za cementaciju .....	6
<b>Slika 2-5.</b> Glava za cementaciju .....	6
<b>Slika 2-6.</b> Posuda za ujednačen protok cementa (engl. <i>Steady flow bin</i> ) .....	7
<b>Slika 2-7.</b> Cementacijski agregat .....	7
<b>Slika 2-8.</b> Miješalica cementne kaše (engl. <i>Batch mixer</i> ) .....	8
<b>Slika 3-1.</b> Centralizeri i zaštitne cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8") .....	9
<b>Slika 3-2.</b> Pomični strugač .....	10
<b>Slika 3-3.</b> Zaustavni prstenovi i centralizer .....	10
<b>Slika 3-4.</b> Prethodni i nahodni čep .....	11
<b>Slika 3-5.</b> Šeširi za cementaciju .....	12
<b>Slika 4-1.</b> Prikaz hidrodinamičkih cjelina na koje je podijeljeno plinsko-kondenzatno ležište .....	14
<b>Slika 4-2.</b> Planirana konstrukcija bušotine Dravica-3 .....	16
<b>Slika 5-1.</b> Bušaći toranj R-69 .....	17
<b>Slika 5-2.</b> Dijagram očekivanog radnog tlaka tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8") .....	22
<b>Slika 5-3.</b> Dijagrami očekivanog radnog tlaka na ušću bušotine i na dubini od 2000 m, tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8") .....	26
<b>Slika 5-4.</b> Dijagram očekivanog radnog tlaka na ušću bušotine i na dnu bušotine tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m .....	31

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 4-1.</b> Planirana konstrukcija bušotine Dravica-3.....	15
<b>Tablica 5-1.</b> Podaci o konduktor cijevima promjera 0,9144 m (36") i 0,508 m (20").....	18
<b>Tablica 5-2.</b> Podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8").....	19
<b>Tablica 5-3.</b> Svojstva cementne kaše, cementnog kamena i potreban materijal za cementaciju niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8") .....	21
<b>Tablica 5-4.</b> Podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8").....	23
<b>Tablica 5-5.</b> Svojstva cementne kaše, cementnog kamena i potreban materijal za cementaciju niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8").....	24
<b>Tablica 5-6.</b> Podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (7") jedinične težine 47,62 kg/m (32lb/ft) .....	28
<b>Tablica 5-7.</b> Svojstva cementne kaše, cementnog kamena i potreban materijal za cementaciju niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (7").....	30
<b>Tablica 5-8.</b> Podaci o cementnoj kaši za postavljanje cementnog mosta .....	32

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA**

UCA- Ultrazvučni analizator (engl. *Ultrasonic cement analyzer*)

RCM- Recirkulacijski sustav miješanja (engl. *Re-circulating mixing system*)

BHCT- Temperatura na dnu bušotine u optoku (engl. *Bottom hole circulation temperature*)

TWOC- Vrijeme stvrdnjavanja cementne kaše (engl. *Time wait on cement*)

PPV- Protupovratni ventil



## 1. UVOD

Cementacija zaštitnih cijevi je postupak utiskivanja cementne kaše u prstenasti prostor između zaštitnih cijevi i stijenki kanala bušotine. Niz zaštitnih cijevi ugrađen u bušotinu može se cementirati po cijeloj duljini ili samo u jednom djelu, ovisno o uvjetima u bušotini, te o namjeni zaštitne kolone i bušotine (Gaurina-Međimurec, 2021).

Cementacija je jedana od najkritičnijih koraka u bušenju i završetku naftnih ili plinskih bušotina. Tehnologija cementacije uključuje primjenu mnogih znanstvenih i inženjerskih disciplina uključujući kemiju, geologiju, fiziku, naftno inženjerstvo, strojarstvo i elektrotehniku. Svaka disciplina je neophodna za postizanje primarnog cilja cementiranja bušotine – zonalne izolacije (Nelson, 1990).

Dio je procesa pripreme bušotine za daljnje bušenje, proizvodnju ili napuštanje. Koristi se iz više različitih razloga, cementiranje štiti i brtvi bušotinu. Najčešće se cementiranje koristi za trajno sprječavanje prodora vode u bušotinu. Također, za odvajanje pojedinih nabušanih slojeva i sprječavanje protjecanja slojnih fluida unutar prstenastog prostora te sprječavanje djelovanja slojnih fluida na ugrađene zaštitne cijevi. Dodatno, kod izvođenja bušotine sprječavanje dotoka slojnih fluida u bušotinu ili utjecaj isplake (gubitak) u nabušene slojeve. Kod usmjerenog bušenja, cementiranje se koristi za zatvaranje postojeće bušotine, kako bi se iz te točke pokrenula usmjerena bušotina. Također, cementiranje se koristi za začepljenje bušotine kada se ona napušta.

Cementacija se izvodi tako što se cementna kaša u bušotinu utiskuje pomoću pumpi, istovremeno istiskujući isplaku koja se još nalazi u bušotini. Cementna kaša ispunjava prstenasti prostor oko ugrađenih zaštitnih cijevi i stvrdnjava u cementni kamen. Ovo stvara brtvljenje tako da vanjski materijali ne mogu ući u protok bušotine, kao što i trajno postavlja zaštitne cijevi na svoje mjesto.

Svrha završnog rada je opisivanje cementacije zaštitnih cijevi ugrađenih u bušotinu Dravica-3, što uključuje samu pripremu za cementaciju, opis opreme za izvođenje cementacije, ugradnju i cementiranje zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,9144 m (36"), 0,508 m (20"), 0,3397 m (13 3/8"), 0,2445 m (9 5/8"), 0,1778 m (7") te postavljanje cementnog čepa.

## 2. PRIPREMNI RADOVI I OPREMA ZA IZVOĐENJE CEMENTACIJE

Prije opisivanja dizajna i funkcije opreme za cementaciju, potrebno je poznavati fizička i kemijska svojstva materijala za pripremu cementne kaše.

### 2.1. Cementna kaša

#### 2.1.1. *Cement*

Tijekom gotovo svih operacija cementiranja bušotina koristi se Portland cement API klase G. To je fino usitnjen i visoko reaktivan prah. Portland cement je najčešći primjer hidrauličnog cementa. Takvi cementi razvijaju tlačnu čvrstoću kao rezultat hidratacije, uključujući kemijske reakcije između vode i spojeva prisutnih u cementu (Nelson, 1990).

Cement API klase G namijenjen je za upotrebu kao osnovni bušotinski cement s kojim se priprema cementna kaša koja se koristi za cementaciju kolona zaštitnih cijevi od površine do 2440 m bez dodataka, a s dodatkom ubrzivača ili usporivača može pokrivati veći raspon dubina i temperatura (Gaurina-Međimurec, 2021).

#### 2.1.2. *Aditivi u cementnoj kaši*

Cementna kaša treba biti dizajnirana za bušotinske uvjete kojima će biti izložena (tlak, temperatura, porozne stijene, korozivni fluidi itd.). Cementni aditivi omogućuju da se cementna kaša prilagodi tako širokom rasponu uvjeta.

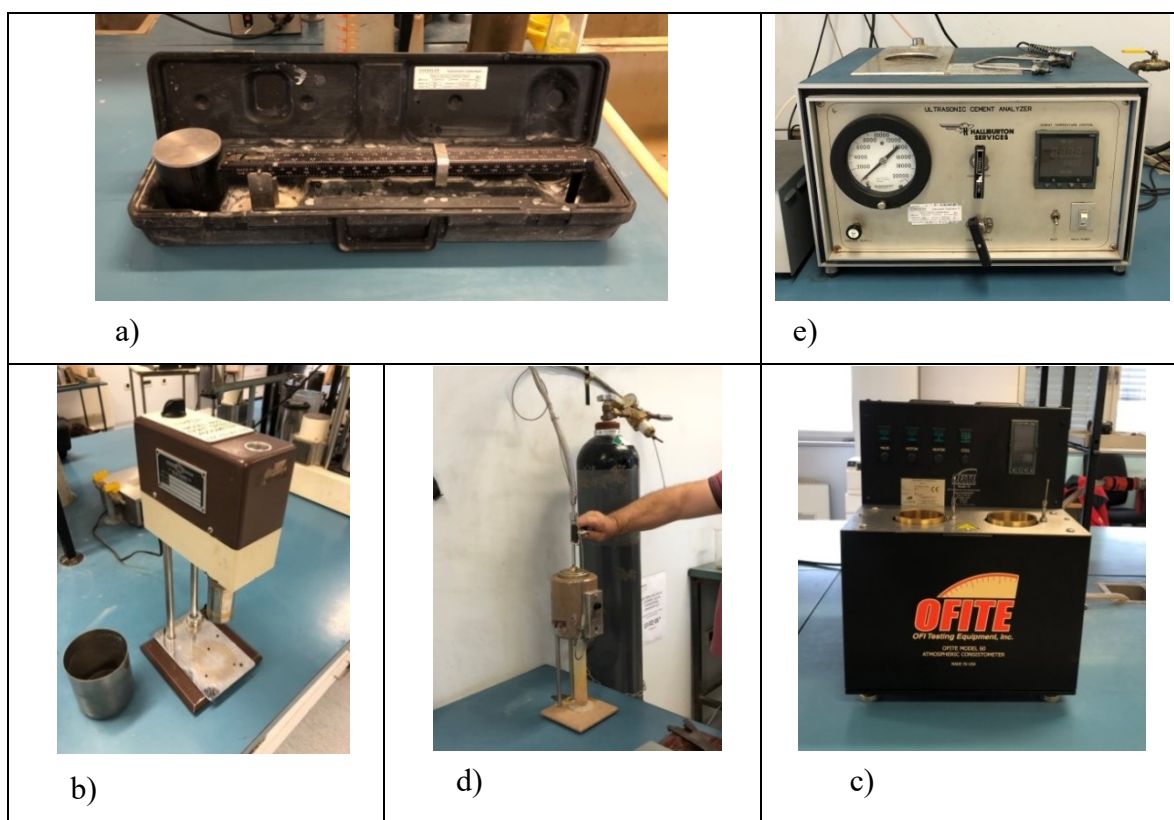
Danas je dostupno više od 100 aditiva za pripremu cementne kaše, od kojih se mnogi mogu isporučiti u praškastom ili tekućem stanju. Cementni aditivi se mogu podijeliti u osam glavnih kategorija (Nelson, 1990):

1. Ubrzivači: kemikalije koje skraćuju vrijeme zgušćivanja cementne kaše i povećavaju brzinu razvoja tlačne čvrstoće cementnog kamena.
2. Usporivači: kemikalije koje usporavaju vrijeme zgušćivanja cementne kaše.
3. Olakšivači: materijali koji smanjuju gustoću cementne kaše.
4. Oteživači: materijali koji povećavaju gustoću cementne kaše.
5. Dispergatori: kemikalije koje smanjuju viskoznost cementne kaše.
6. Smanjivači filtracije: materijali koji smanjuju izdvajanje vodene faze iz cementne kaše u formaciju.
7. Antipjenušavci: kemikalije koje smanjuju pjenjenje cementne kaše.
8. Specijalni aditivi: razni aditivi kao što su vlakna i fleksibilne čestice.

## 2.2. Priprema i ispitivanje cementne kaše i cementnog kamena

Laboratorijska ispitivanja uključuju pripremu i određivanje svojstava cementnih kaša za cementaciju konduktor kolona vanjskih promjera 0,9144 m (36") i 0,508 m (20"), za cementaciju uvodne kolone vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8"), za cementaciju tehničke kolone vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8"), za cementaciju druge tehničke kolone vanjskog promjera 0,1778 m (7") te pripremu cementne kaše za postavljanje cementnog mosta jer se odustalo od ugradnje proizvodnog lajnera.

Priprema cementne kaše uključuje vaganje sastojaka, mjerenje volumena vode te miješanje cementa, aditiva i vode. Ispitivanje cementne kaše obuhvaća mjerenje gustoće, reoloških svojstava, slobodne vode, filtracije i vremena zgušćivanja te tlačne čvrstoće cementnog kamena. Gustoća se mjeri vagom za isplaku (slika 2-1. a). Viskozimetar OFITE (slika 2-1. b) koristi se za određivanje reoloških svojstava. Atmosferskim konzistometrom (slika 2-1. c) mjeri se vrijeme zgušćivanja cementne kaše. U sušioniku se mjeri izdvajanje slobodne vode. U visokotlačnoj i visokotemperaturnoj filter preši (slika 2-1. d) određuje se filtracija. Ispitivanje čvrstoće cementnog kamena određuje se pomoću ultrazvučnog analizatora (engl. *UCA-Ultrasonic cement analyzer*) (slika 2-1. e).



**Slika 2-1.** Laboratorijska oprema: a) vaga za mjerenje gustoće, b) viskozimetar, c) atmosferski konzistometar, d) filter preša, e) ultrazvučni analizator (UCA)

### 2.3. Oprema za izvođenje cementacije

Za postupak izvođenja cementacijskih radova koristi se sljedeća oprema: silosi za skladištenje cementa, kompresori za pražnjenje silosa, posuda za ujednačen protok cementa (engl. *Steady flow bin*), bazeni za izradu vode za pripremu cementne kaše (engl. *Mix water*), cementacijski agregat, miješalica cementne kaše (engl. *Batch mixer*), centrifugalna pumpa s lijevkom i glava za cementaciju. Sva navedena oprema se dovozi na bušotinu kada se dovozi oprema bušačkog postrojenja i ostaje na bušotini sve do završetka radova.

Na slici 2-2. prikazana je oprema za izvođenje cementacije.



Slika 2-2. Oprema za izvođenje cementacije na kopnu

Postupak pripreme i izvođenja cementacijskih radova opisan je u nastavku. Cement se dovozi na bušotinu u cisternama za cement i prazni se u silose (slika 2-3.). Prije cementacije dovozi se čista voda za izradu vode za pripremu cementne kaše (voda + tekući aditivi) i razdjelnice (engl. *Spacer*). Nakon ugradnje niza zaštitnih cijevi, kreće se s cirkulacijom isplake sve dok bušotina i radnici ne budu spremni za izvođenje cementacije. Cirkulacija se uspostavlja prvenstveno da se kondicionira isplaka, da se ohladi bušotina i da se bušotina očisti od eventualnih plinova. Za vrijeme cirkulacije isplake radnici pripremaju vodu za pripremu cementne kaše i razdjelicu te spajaju tlačne vodove od agregata do tornja, odnosno do glave za cementaciju.



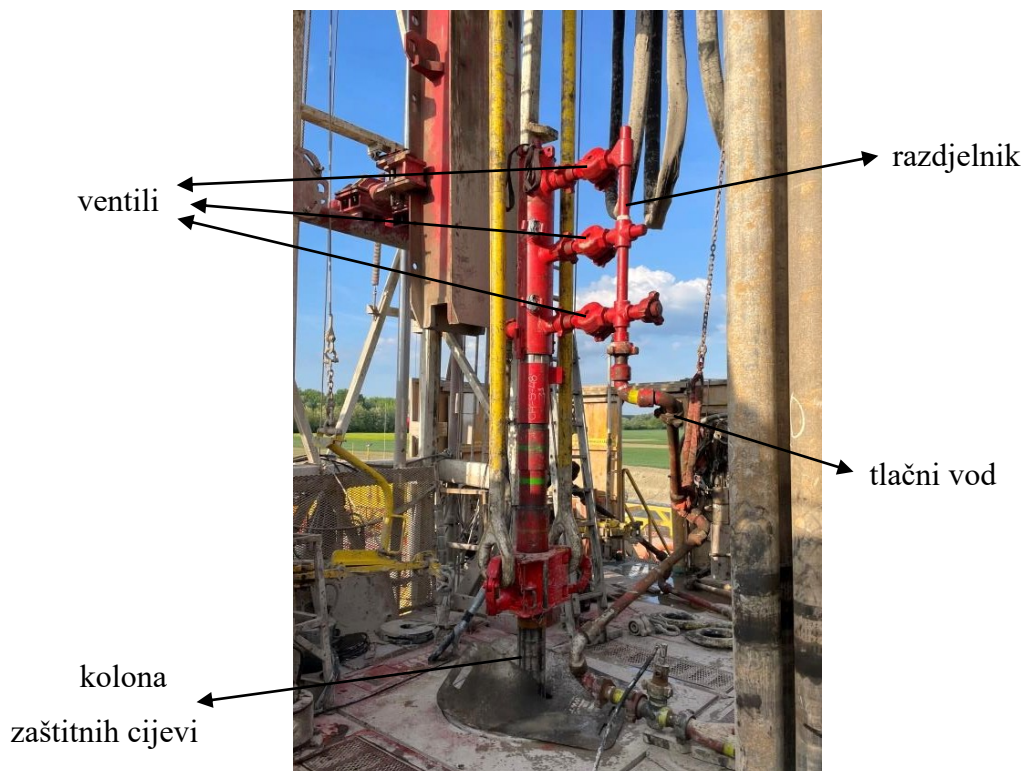
**Slika 2-3.** Silosi

Zatim se održi pripremni sigurnosni sastanak (engl. *Toolbox Talk*) i kratki dogovor o samom postupku izvođenja cementacije. U glavu za cementaciju postavljaju se prethodni i naredni cementacijski čepovi (slika 2-4.).



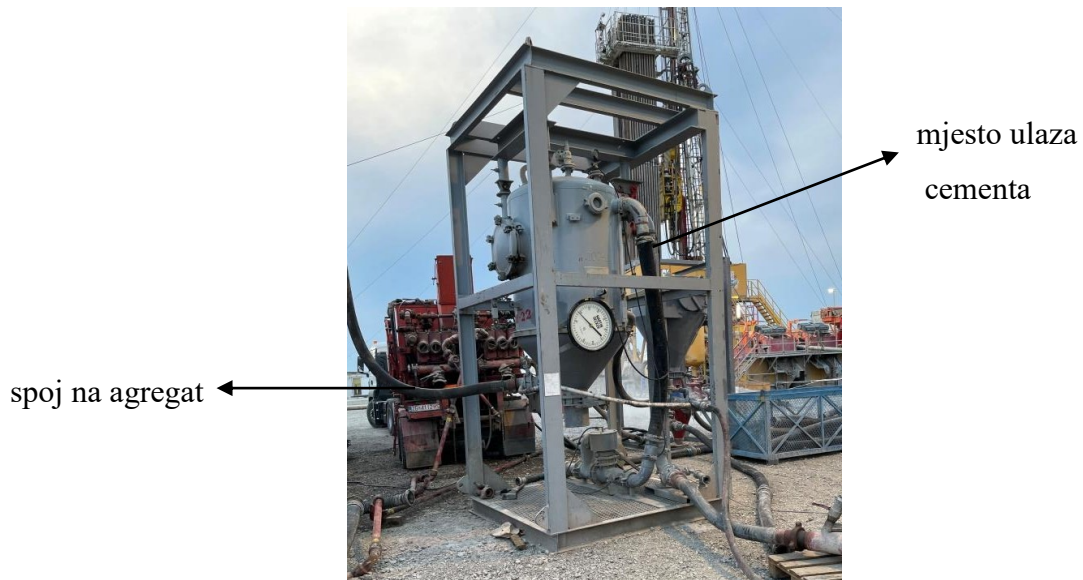
**Slika 2-4.** Postavljanje cementnih čepova u glavu za cementaciju

Čepove pridržavaju držači čepova koji se odvrću i navrću na cementacijskoj glavi. Cementacijska glava u pravilu ima tri ulaza na koje se navrće razdjelnik s tri ventila. Ventili služe za utiskivanje cementne kaše i isplake. Kad završi cirkulacija isplake na zadnju cijev u nizu ili na vrh kolone zaštitnih cijevi navrće se glava za cementaciju (slika 2-5.).



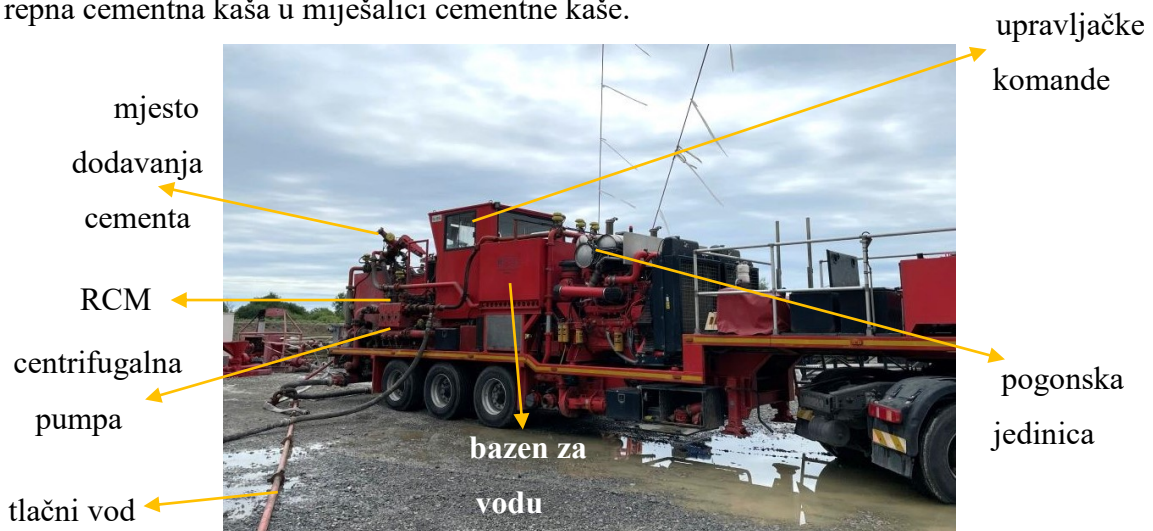
**Slika 2-5.** Glava za cementaciju

Prvo se ispituju površinski vodovi na određeni tlak (hermetičnost). Kreće se s upumpavanjem prethodnice te se upušta donji ili prethodni cementacijski čep. Kreće se u pripremu cementne kaše (vršne). Cement se iz silosa s kompresorima preko posude za ujednačen protok cementa (slika 2-6.) usmjerava prema cementacijskom agregatu koji pomoću recirkulacijskog sustava miješanja (engl. *RCM-Re-circulating mixing system*) priprema cementnu kašu određene gustoće.



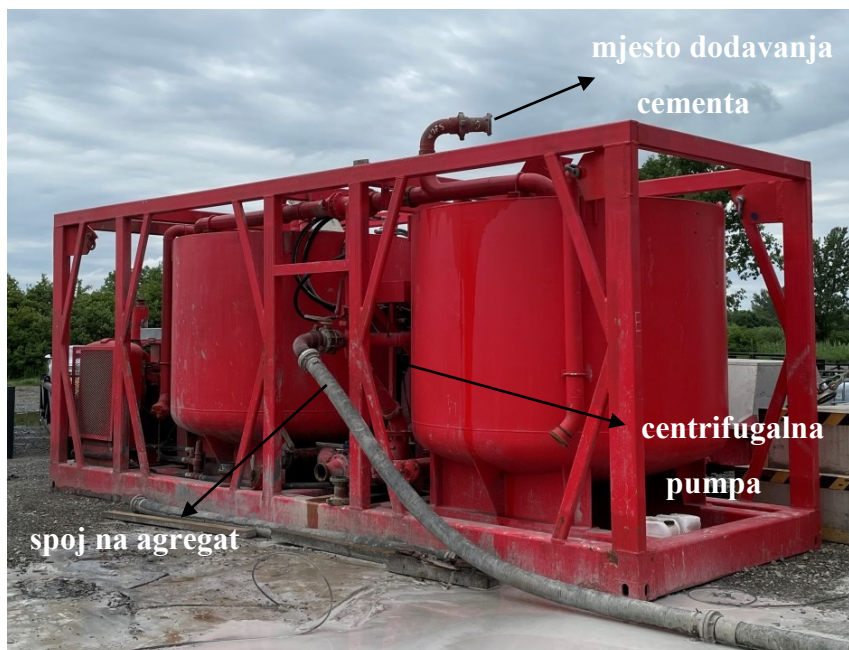
**Slika 2-6.** Posuda za ujednačen protok cementa (engl. *Steady flow bin*)

Cementacijski agregat (slika 2-7.) je specijalno vozilo koje je obično opremljeno s dvije visokotlačne pumpe, RCM-om te s dvije ili tri centrifugalne pumpe. Voda za pripremu cementne kaše (voda + tekući aditivi) se dodaje u agregat pomoću centrifugalnih pumpi. Dok agregat priprema i upumpava vršnu cementnu kašu u bušotinu, paralelno se izrađuje repna cementna kaša u miješalici cementne kaše.



**Slika 2-7.** Cementacijski agregat

U miješalici cementne kaše (engl. *Batch mixer*) (slika 2-8.) se nalazi već pripremljena voda za pripremu cementne kaše (engl. *mix water*) u koju se dodaje suhi cement koji se miješa uz recirkulaciju centrifugalnih pumpi i rotaciju agitatora. Cementna kaša se iz miješalice dodaje u agregat s centrifugalnom pumpom koja se nalazi na miješalici.



**Slika 2-8.** Miješalica cementne kaše (engl. *Batch mixer*)

Nakon utiskivanja vršne kaše utiskuje se repna cementna kaša koja najčešće ima gustoću  $1910 \text{ kg/m}^3$ . Nakon utisnute repne kaše, u kolonu se upušta gornji ili nahodni cementni čep koji istiskuje cementnu kašu iz kolone. Nakon nahodnog čepa utiskuje se isplaka (obično pumpama bušaćeg postrojenja). Nakon utisnutog proračunatog volumena isplake dobije se dosjedni tlak koji se indicira kada nahodni čep nasjedne na zaustavnoj ploči. Kada se dobije dosjedni tlak, pričekava se nekoliko minuta te se ispušta tlak u agregat gdje se mjeri količina povratnog fluida. Ako protupovratni ventili ne drže, upumpava se volumen istisnutog fluida i vraća se tlak na diferencijalni tlak prije dosjednog tlaka i bušotina se zatvara do početka vezanja cementne kaše. Ako protupovratni ventili drže, bušotina se ostavlja otvorena za vrijeme stvrdnjavanja cementne kaše. Ovim je proces cementacije je završen.



### 3. OPREMA KOLONE ZAŠTITNIH CIJEVI

U opremu niza zaštitnih cijevi koja se koristila u bušotini Dravica-3 spadaju centralizeri, strugači, zaustavni prstenovi, čepovi za cementaciju, šeširi za cementaciju, cementacijska peta i zaustavna ploča te su u nastavku ukratko opisani.

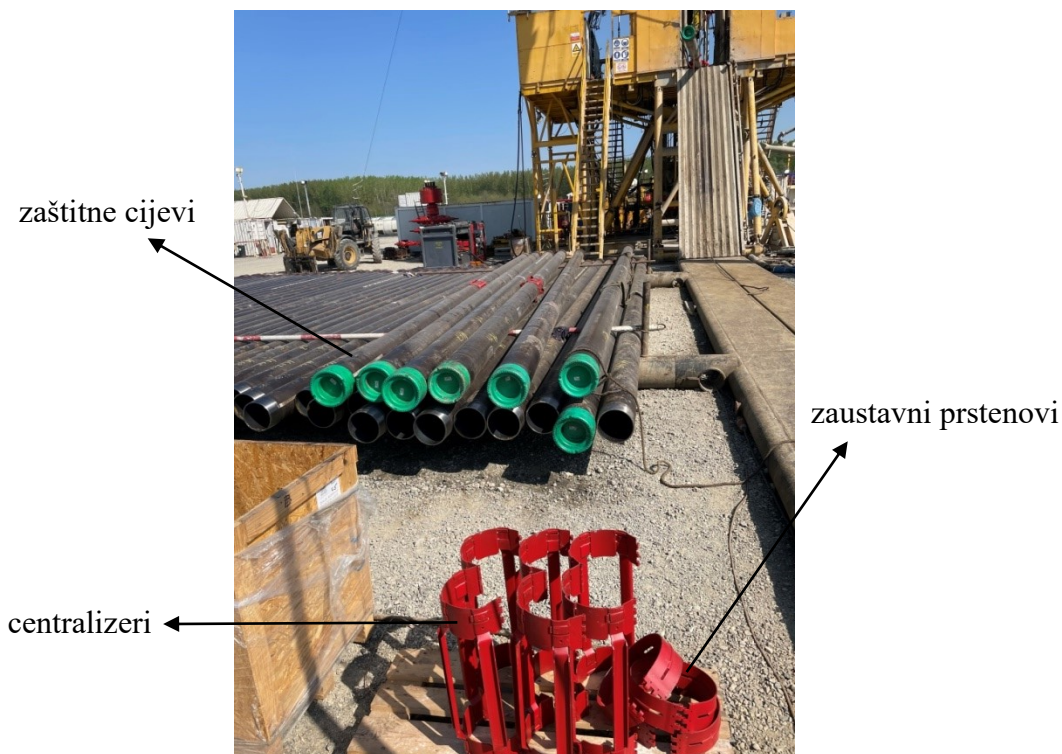
Vanjsku opremu kolone zaštitnih cijevi čine: centralizeri, strugači, zaustavni prstenovi i šeširi za cementaciju.

Unutarnju opremu kolone zaštitnih cijevi čine: čepovi za cementaciju, cementacijska peta i zaustavna ploča.

#### 3.1. Centralizeri

Centralizeri zaštitnih cijevi (slika 3-1.) jedan su od najjednostavnijih, ali najkorisnijih mehaničkih pomagala koja se koriste u primarnom cementiranju. Dizajnirani su za centriranje zaštitnih cijevi u bušotini. Koriste se zbog sljedećih prednosti:

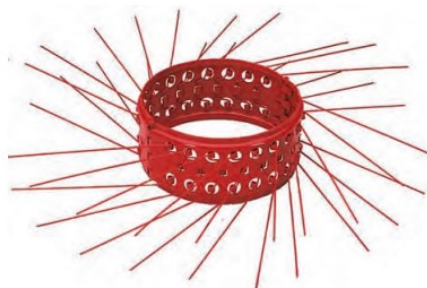
- smanjenje diferencijalnog prihvata tijekom spuštanja u bušotinu;
- poboljšano uklanjanje isplake;
- poboljšano utiskivanje cementne kaše, tako da cementna kaša podjednako popuni prstenasti prostor;
- poboljšanje performansi druge vanjske opreme, kao što su strugači i košare.



**Slika 3-1.** Centralizeri i zaštitne cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8")

### 3.2. Strugači

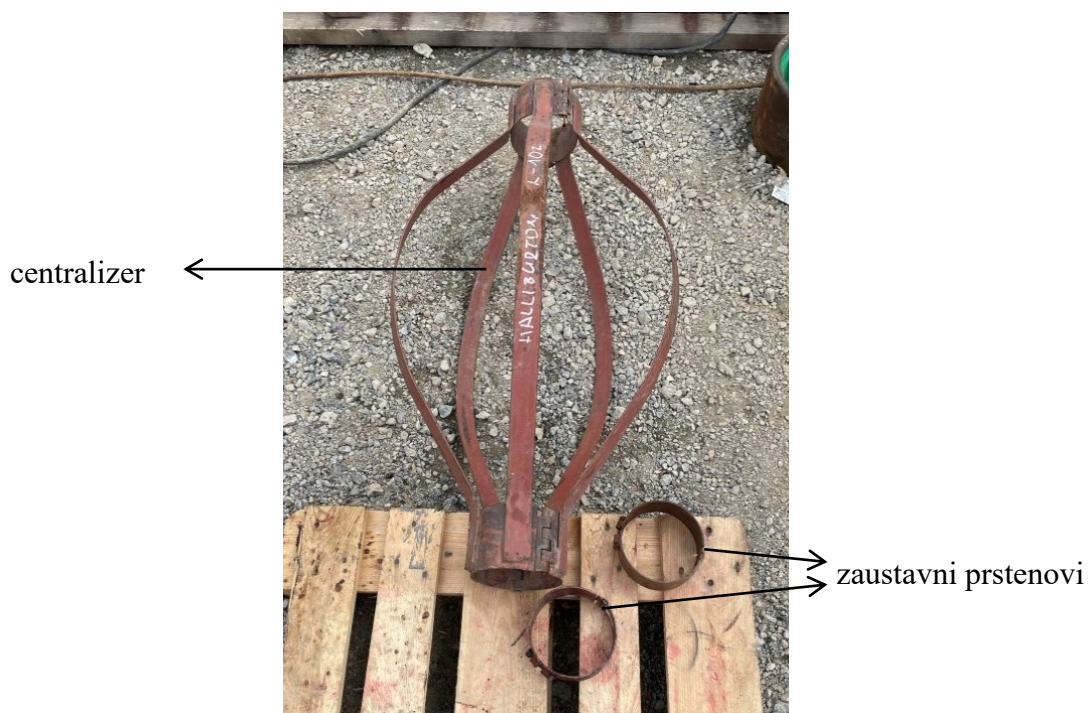
Strugači (slika 3-2.) se postavljaju na kolonu zaštitnih cijevi a dizajnirani su za uklanjanje glinenog obloga sa stijenki kanala bušotine. Postoje dvije vrste strugača: pomični i rotirajući strugači. Strugači su najučinkovitiji kada su zaštitne cijevi centralizirane. Da bi se spriječilo nakupljanje krutih tvari ili glinenog obloga, strugači trebaju biti razmaknuti kako bi se osiguralo preklapanje područja koje rade susjedni strugači.



Slika 3-2. Pomični strugač (Nelson, 1990)

### 3.3. Zaustavni prsten

Zaustavni prstenovi (slika 3-3.) koriste se za držanje ili ograničavanje kretanja centralizera i strugača. Zaustavni prstenovi dostupni su kao jedna cjelina ili su zglobno dizajnirani i mogu se pričvrstiti vijcima.



Slika 3-3. Zaustavni prstenovi i centralizer

### 3.4. Čepovi za cementaciju

Čepovi za cementaciju (slika 3-4.) su polučvrste barijere koje se koriste za odvajanje cementne kaše od isplake i za čišćenje unutarnjih stijenki zaštitnih cijevi te naznačuju kada je protiskivanje cementne kaše završeno. Čepovi su nekada bili izrađivani od gume, drva i kože. Sadašnji dizajni uključuju gornje i donje čepove izrađene od nitrila ili poliuretana koji imaju plastičnu jezgru visoke gustoće koja se može izbušiti (Nelson, 1990).

Iako su slični po vanjskom izgledu, gornji i donji čepovi znatno se razlikuju po unutarnjem dizajnu i ulozi. Donji čep prethodi cementnoj kaši i ima tanku membranu koja puca nakon što donji čep nasjedne na zaustavnu ploču i dopušta protok cementne kaše. Kada gornji čep nasjedne na donji čep, na površini se zabilježi porast tlaka što indicira da je cementacija završena.



**Slika 3-4.** Prehodni i nahodni čep

### 3.5. Šeširi za cementaciju

Šeširi za cementaciju (slika 3-5.) koriste se kod dvostupanjske cementacije i za potporu stupca cementne kaše. Šeširi su dostupni u konfiguracijama polu-šešira i cijelog šešira, a obje su ugrađene pomoću zaustavnog prstena. Barijera nastaje kako se “latice“ šire stvarajući neku vrstu naopakog kišobrana unutar prstenastog prostora, pridržavaju stupac cementne kaše i štite porozne stijene od velikih tlakova.



**Slika 3-5.** Šiširi za cementaciju (Nelson, 1990)

### 3.6. Cementacijska peta

Peta s protupovratnim ventilom se postavlja na prvu zaštitnu cijev kolone. Cementacijska peta olakšava ugradnju kolone zaštitnih cijevi i cementaciju. Protupovratni ventil pete smanjuje opterećenje bušačkog tornja jer omogućuje plutanje (“plivanje“) zaštitne kolone u isplaci u kanalu bušotine. Protupovratni ventil omogućuje izlaženje isplake i cementne kaše iz kolone zaštitnih cijevi u prstenasti prostor, a sprječava njihovo vraćanje u kolonu što je osobito važno na kraju cementacije zbog velikih hidrostatičkih tlakova u prstenastom prostoru bušotine iza kolone. Budući da isplaka u vrijeme spuštanja kolone zaštitnih cijevi u bušotinu ne može prodrijeti u kolonu, omogućeno je njeno plutanje u isplaci.

### 3.7. Zaustavna ploča

Zaustavna ploča se ugrađuje između spojnice prve i druge zaštitne cijevi ili negdje više u nizu zaštitnih cijevi (ima tijelo s muškim i ženskim navojem, a unutrašnjost joj je ispunjena betonom). Svrha joj je zaustaviti gornji i donji čep kod cementacije (Gaurina-Međimurec, 2021). U upotrebi su sljedeći modeli:

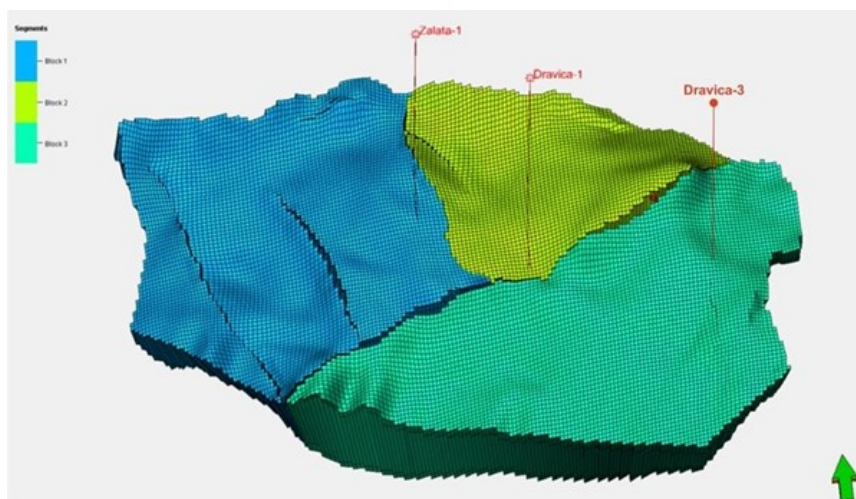
- obična zaustavna ploča koja ima otvor samo u betonu za prolaz cementne kaše i isplake,
- zaustavna ploča s ugrađenim protupovratnim ventilom koji ima istu ulogu kao i ventil u peti kolone,
- samodopunjavajuća zaustavna ploča.

#### 4. BUŠOTINA DRAVICA-3

Lokacija bušotine smještena je na poljoprivrednom zemljištu u blizini mjesta Martinci Miholjački, jugoistočno od bušotine Dravica-1. Nalazi se na istočnom dijelu hrvatskog dijela eksploatacijskog polja Dravica - Zalata. Eksploatacijsko polje Dravica - Zalata nalazi se na sjeveroistočnom dijelu Republike Hrvatske, uz granicu s Mađarskom, jednim dijelom smješteno u Republici Hrvatskoj, a drugim dijelom u Mađarskoj (INA, 2022a).

Prema ugovoru između INE i MOL-a, potpisanim 14. rujna 2006. godine, u razdoblju od listopada do prosinca 2006. godine, izrađena je prva istražna bušotina Zalata-1 na mađarskoj strani ugovornog područja. Ispitivanje bušotine odvijalo se u lipnju i srpnju 2007. godine. Rezultati ispitivanja ukazali su na ekonomske količine plina i kondenzata u srednjemiocenskim pješčenjacima i karbonatima. Prema ugovoru, nakon prve istražne bušotine koja je otkrila ugljikovodike, u istražnoj fazi od 14. rujna 2006. do 14. rujna 2008. godine, bilo je predviđeno bušenje druge istražne bušotine na teritoriju Republike Hrvatske. Podaci dobiveni bušotinom Zalata-1 uključeni su također u seizmičku reinterpretaciju istražnog područja te je tijekom 2008. godine izrađena istražna bušotina Dravica-1. Tijekom bušenja testiranjem je potvrđeno isto ležište zasićeno plinom i kondenzatom. U bušotini Dravica-1 tijekom 2010. godine rađena su testiranja koja su potvrdila komercijalno otkriće eksploatacijskog polja Dravica - Zalata. Prema dubinskim strukturnim kartama po krovini neformalne jedinice "krupnih klastita" (unutar koje je ležište), te podacima iz bušotina Zalata-1 i Dravica-1, potvrđeno je otkriće ležišta plina (udio CO<sub>2</sub> do 30 %) i kondenzata, s jedinstvenim kontaktom plin/voda na dubini -3160 m (INA, 2022a).

Seizmičkom interpretacijom plinsko kondenzatno ležište podijeljeno je na tri cjeline koje su međusobno odvojene rasjedima. Rasjedi su vjerojatno kontrolirali promjene u paleomorfologiji i utjecali na tipove taložnih okoliša, ali se smatra da nisu hidrodinamički razdvojili ležište, već ono čini jedinstvenu hidrodinamičku cjelinu. Budući da se u cjelini 1 nalazi bušotina Zalata- 1, a u cjelini 2 bušotina Dravica-1, Dravica-3 (Dra-3) locirana je u cjelini 3 (Slika 4-1.) s ciljem potvrde ležišta (INA, 2022a).



**Slika 4-1.** Prikaz hidrodinamičkih cjelina na koje je podijeljeno plinsko-kondenzatno ležište (INA, 2022a)

#### 4.1. Konstrukcija bušotine Dravica-3

Na osnovu planiranog cilja, kanal bušotine projektiran je kao vertikalna s konačnom dubinom od  $3100 \pm 50$  m MD. Nakon završetka bušenja, temeljem rezultata praćenja pojava ugljikovodika iz faze bušenja i analize karotažnih mjerenja u otvorenom kanalu bušotine definirani su intervali za ispitivanje i detaljno je izrađen program hidrodinamičkih mjerenja. Bušotina nije ispunila svoj cilj, te nakon analize HD mjerenja pokazatelji pridobivanja nisu zadovoljavajući te nije opremljena kao eksploatacijska i nije puštena u proizvodnju. Bušotina je bila negativna i likvidirana je. (INA, 2022a).

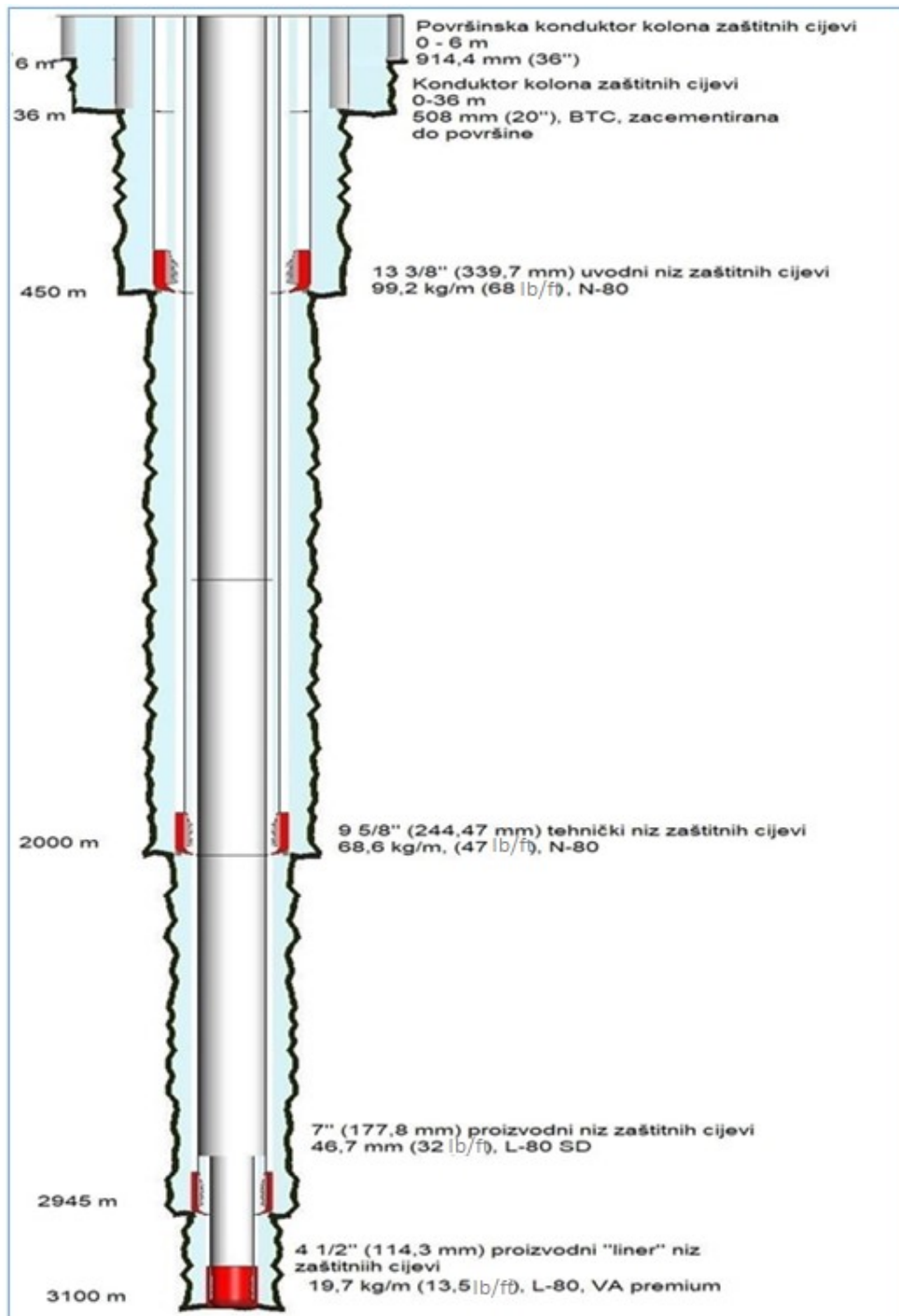
Primarni ciljevi bušotine Dravica-3 su probušiti ležište "Dravica – Zalata" u plinsko-kondenzatnom zasićenju te time potvrditi zasićenje ugljikovodicima u cjelini 3. Procijenjeni ukupni volumeni ugljikovodika rađeni su na temelju determinističke metode s tri slučaja, minimalni/najvjerojatniji/maksimalni slučaj. Za izračun minimalnog ukupnog volumena ugljikovodika s CO<sub>2</sub> uzeta je apsolutna dubina kontakta plin/voda na -3092,1 m na temelju podataka proizvodnog ispitivanja intervala 3190-3180 m na bušotini Dra-1. Za izračun najvjerojatnijeg ukupnog volumena ugljikovodika s CO<sub>2</sub> uzeta je apsolutna dubina kontakta plin/voda na -3160 m, tj. dubina isklinjenja ležišta na regionalnu diskordanciju. Kod izračuna maksimalnog ukupnog volumena ugljikovodika s CO<sub>2</sub> izabrana je apsolutna dubina kontakta plin/voda na -3200 m, što predstavlja najdublje zatvaranje na strukturnoj karti po krovini krupnozrnastih klastita (INA, 2022a).

U tablici 4-1. i na slici 4-2. prikazana je planirana konstrukcija bušotine Dravica-3.

**Tablica 4-1.** Planirana konstrukcija bušotine Dravica-3 (INA, 2022a)

Niz zaštitnih cijevi	Nazivni promjer zaštitnih cijevi m (")	Promjer dlijeta m (")	Vertikalna dubina ugradnje niza zaštitnih cijevi (m)	Jedinična težina zaštitnih cijevi lb/ft (kg/m)	Kvaliteta čelika i spojnica	Kritični vanjski tlak (bar)	Kritični unutarnji tlak, (bar)	Dozvoljena vlačna sila, 10 <sup>3</sup> daN
<b>Dravica-3</b>								
Površinska konduktor kolona zaštitnih cijevi	0,9144 (36)	n/a	0-6	Ugradnja tijekom građevinskih radova				
Konduktor kolona zaštitnih cijevi	0,508 (20)	n/a	0-36					
Uvodni niz zaštitnih cijevi	0,3397 (13 3/8)	0,4445 (17 1/2)	0-450	68 (101,19)	N-80, BTC	156	346	692
Tehnički niz zaštitnih cijevi	0,2445 (9 5/8)	0,3111 (12 1/4)	0-2000	47 (69,94)	N-80, BTC	328	473	483
Proizvodni niz zaštitnih cijevi	0,1778 (7)	0,2159 (8 1/2)	0-2945	32 (47,62)	L-80, SD	593	625	332
Lajner niz* zaštitnih cijevi	0,114 (4 1/2)	0,1524 (6)	2895-3100	13,5 (20)	L-80, VA premium	589	622	136

\*Napomena: Lajner nije ugrađen jer je ispitivanjima utvrđeno da je bušotina negativna te je postavljen cementni most.



**Slika 4-2.** Konstrukcija bušotine Dravica-3 (INA, 2022a)

Planirana je ugradnja niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (7") kao proizvodni niz zaštitnih cijevi, no ugrađen je kao druga tehnička kolona.

Također, planirana je ugradnja lajnera, ali se ispitivanjima utvrdilo da je bušotina negativna te je postavljen cementni most.



## 5. UGRADNJA I CEMENTACIJA KOLONA ZAŠTITNIH CIJEVI U BUŠOTINI DRAVICA-3

Bušenje bušotine Dravica-3 izvela je tvrtka “Rotary Drilling Company“, a cementaciju zaštitnih cijevi kontraktorska naftna kompanija “Crosco Naftni Servisi d.o.o“. Crosco je 100% vlasnik tvrtke Rotary Drilling Company smještene u Mađarskoj.

Na slici 5-1. prikazan je bušaći toranj R-69.



Slika 5-1. Bušaći toranj R-69

### 5.1. Ugradnja površinske konduktor cijevi promjera 0,9144 m (36") i konduktor cijevi 0,508 m (20")

Prije dolaska bušačkog postrojenja na lokaciju bušotine Dravica-3 ugrađena je površinska (konduktor) zaštitna cijev vanjskog promjera 0,9144 m (36") do dubine 6 m, a radove je izvela kompanija STSI-integrirani tehnički servisi d.o.o.. Nakon ugradnje "pomoćne" konduktor kolone ugrađena je konduktor kolona vanjskog promjera 20" (0,508 m) do dubine 36 m. Postrojenje za bušenje konduktor cijevi geodetski se pozicioniralo na centar bušotine (prije izrade šahte). Ugradnja konduktor cijevi obavljena je po završetku iskopa za bušotinu. Ovisno o duljini i promjeru, konduktor cijev se ugrađuje u segmentima koji se spajaju zavarivanjem iznad bušotine ili na zemlji te se ugrađuje kao jedna cijev. Podaci o konduktor cijevima prikazane su u tablici 5-1. Dubina na koju se ugradila konduktor cijevi iznosi 36 m. Nakon ugradnje, konduktor cijev je zacementirana popunjavajući prstenasti prostor oko konduktor cijevi do pojave cementne kaše na površini. Cementacija prstenastog prostora obavila se popunjavanjem prstenastog prostora cementnom kašom s površine. Konduktor cijev vanjskog promjea 0,508 m se cementirala do površine (INA, 2022a).

**Tablica 5-1.** Podaci o konduktor cijevima promjera 0,9144 m (36") i 0,508 m (20") (INA, 2022a)

Vanjski promjer (m)	Dubina ugradnje (m)	Unutarnji promjer (m)	Kvaliteta čelika	Kritični vanjski tlak MPa	Kritični unutarnji tlak MPa	Dozvoljena vlačna sila 1000 daN
0,9144	6	0,90487	GRAD B	-	-	-
0,508	36	0,4857	J-55	3,6	14,5	659

## 5.2. Postupak ugradnje i cementacije uvedne kolone vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8")

### 5.2.1. Postupak ugradnje uvedne kolone vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8")

Postupak ugradnje uvedne kolone vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8") opisan je u nastavku (INA, 2022b):

- Prva tri spoja (peta- jedna kolona-PPV) premazana su s dvo-komponentnim ljepilom (engl. *Thread lock*).
- Na početku ugradnje kolone zaštitnih cijevi provjerena je funkcionalnost pete i protupovratnog ventila (PPV-a).
- Kontrolirana je brzina spuštanja zaštitnih cijevi (preporuka: minimalno jedna minuta po cijevi).
- Praćeni su volumeni tijekom spuštanja te se svaka kolona ispunila isplakom.
- Na konačnoj dubini ugradnje  $\approx 450$  m izvršena je cirkulacija kroz zaštitne cijevi 30 min.
- U niz zaštitnih cijevi ugrađene su bušaće šipke 0,1207 m (5") s trnom (eng. *stinger*) i centralizerom iznad njega. Niz je odsjeo u brtvenom rukavcu s ukupnim teretom bušaćih šipki te je provjerena hermetičnost niza. Kroz bušaće šipke cirkulirana su dva volumena bušotine.

U tablici 5-2. prikazani su podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8").

**Tablica 5-2.** Podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8") (INA, 2022b)

Dubina ugradnje	0-450 m
Promjer zaštitnih cijevi	0,3397 m (13 3/8")
Jedinična težina	101,19 kg/m (68 lb/ft)
Kvaliteta čelika	N-80
Spojnice	BTC
Unutarnji promjer cijevi	0,31534 m (12,415")
Promjer kalibra	0,31138 m (12,259")
Kritični unutarnji tlak	34,6 MPa (5020 psi)
Kritični vanjski tlak	15,6 MPa (2260 psi)
Dozvoljena vlačna sila	$692 \cdot 10^3$ daN

### 5.2.2. Postupak izvođenja cementacije zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8")

Cementacija uvodnog niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8") izvodila se kroz niz bušaćih šipki (engl. *Stab-in method*). Vrh cementne kaše podigao se do ušća bušotine. U slučaju da se cementna kaša nakon cementacije nije pojavila na površini, kolonu je trebalo učvrstiti utiskivanjem cementne kaše u prstenasti prostor s površine. U tu svrhu trebalo je osigurati 10 tona cementa u rezervnom transporteru, te cijevi malog promjera (1"), cca 2x30 m.

Postupak cementacije zaštitnih cijevi 13 3/8" opisan je u nastavku (INA, 2022b):

1. Ugrađen je niz zaštitnih cijevi u bušotinu prema dnevniku ugradnje.
2. U niz zaštitnih cijevi ugrađene su bušaće šipke 0,1207 m (5") s trnom (engl. *stinger*) i centralizerom iznad njega. Niz je odsjeo u brtvenom rukavcu s ukupnim teretom bušaćih šipki i provjerena je hermetičnost niza.
3. Agregatom su isprani površinski vodovi i utisnuto je u bušaće šipke 0,5 m<sup>3</sup> vode te se ispitala hermetičnost tlačnih vodova tlakom od 100 bar.
4. Izvršene su dvije kompletne cirkulacije kako bi se razbili gelovi i obradila isplaka.
  - a. Cirkulirano je sa što većim protokom. Pazilo se da se ne premaše ograničenja tlakova opreme (kolaps zaštitnih cijevi) i formacije.
  - b. Protok se držao konstantnim. Pad tlaka znači da isplaka, krhotine i isplačni kolač postaju mobilni i bušotina se čisti.
5. U bušaće šipke je utisnuto 3 m<sup>3</sup> kemijskog fluida za ispiranje (engl. *Chemical wash*) 1000 kg/m<sup>3</sup> protokom od 800 l/min, te 6 m<sup>3</sup> razdjelnice gustoće 1300 kg/m<sup>3</sup>.
6. Izmiješao se cement i voda, te je cementna kaša utisnuta protokom 600 l/min dok se cementna kaša nije pojavila na površini. Uzeti su uzorci dobivene cementne kaše na površini.
7. Cementna kaša je protisnuta iz bušaćih šipki do vrha protupovratnog ventila.
8. Tlak iz tlačnog voda je ispušten i provjerio se povrat fluida.
9. Čekanje stvrdnjavanja cementne kaše (eng. *TWOC*) – u trajanju od 16 sati.

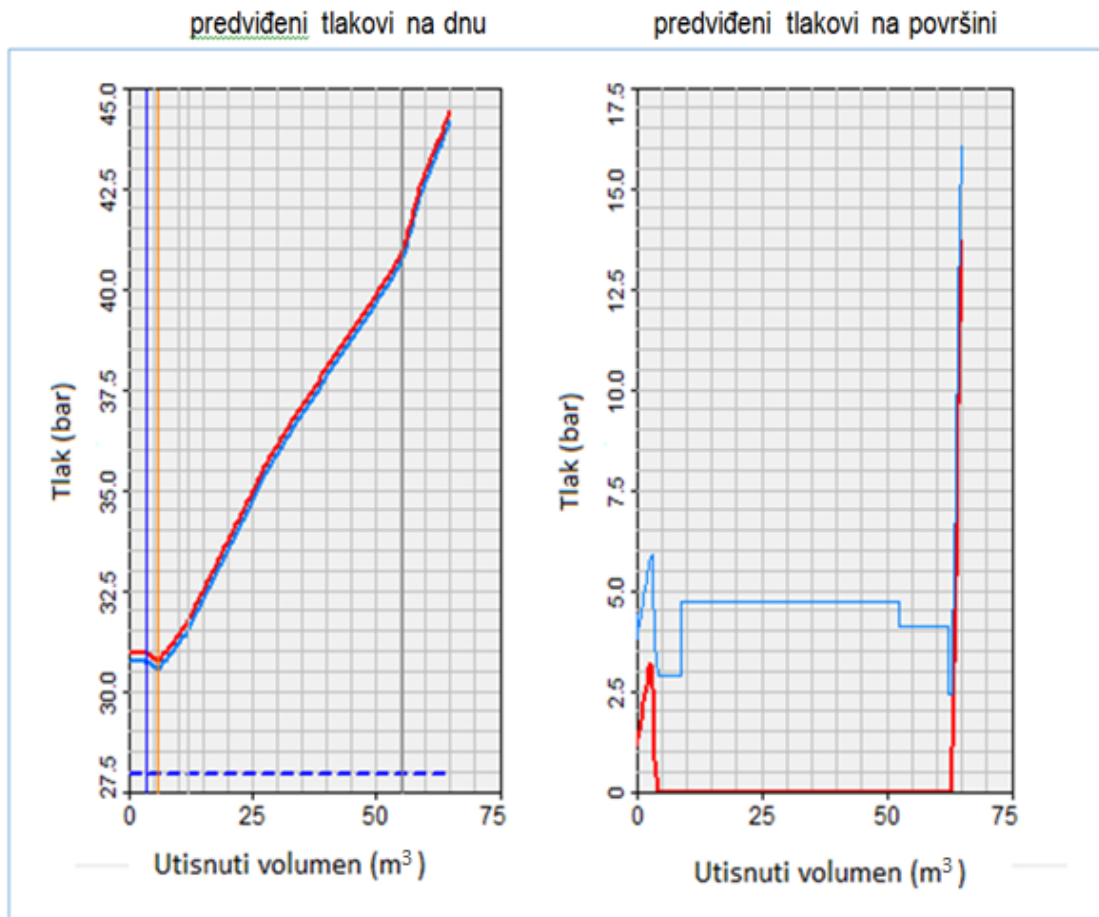
U tablici 5-3. prikazana su svojstva cementne kaše, cementnog kamena i potreban materijal.

**Tablica 5-3.** Svojstva cementne kaše, cementnog kamena i potreban materijal za cementaciju niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8") (INA, 2022b)

SASTAV/PARAMETRI CEMENTNE KAŠE		JEDINICA	CEM. KAŠA
Potrebna cem. kaša (100% povećanja)		l	58 000
Cement	Klase G	kg	
Voda	Slatka voda	kg/ 100 kg cem	44.00
Gustoća cementne kaše		kg / l	1.89-1.92
API Filtracija na BHCT* pri 68,9 bar		ml/30min	< 300
Izdvajanje vode na BHCT*		ml/250 ml	< 2
Plastična viskoznost na BHCT*		mPa·s	50-80
Naprezanje pri pokretanju na BHCT*		Pa	8-10
Vrijeme pumpabilnosti cem. kaše		h:min	~ 2:00
Tlačna čvrstoća nakon 16h		bar	≥70
Čekanje na stvrdnjavanje cem. kaše (TWOC)		h	16
Vrh cementne kaše		m	230
Potreban materijal (proračunski)		Jedinica	
Cement		kg	75 200
Voda		l	33 100
Antipjenušavac		l	20
Olakšivač		kg	/
Aditiv za smanjenje filtracije		kg	/
Ubrzivač		kg	1500

\*Napomena: BHCT (Temperatura u cirkulaciji na dnu bušotine)=30°C

Očekivani tlakovi tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m na dubini od 450 m i na ušću bušotine s obzirom na gustoću fluida i visinu dizanja fluida su prikazani na slici 5-2.



**Slika 5-2.** Dijagram očekivanog radnog tlaka tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,3397 m (13 3/8") (INA, 2022b)

### 5.3. Postupak ugradnje i cementacije prve tehničke kolone vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8")

#### 5.3.1. Postupak ugradnje prve tehničke kolone vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8")

Postupak ugradnje prve tehničke kolone vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8") opisan je u nastavku (INA, 2022c):

- Prva četiri spoja (peta-2 cijevi-PPV-cijev) premazana s sa dvo-komponentnim ljepljivom.
- Na početku ugradnje kolone zaštitnih cijevi provjerena je funkcionalnost pete i PPV-a.
- Kontrolirala se brzina spuštanja zaštitnih cijevi (ne brže od jedne minute za cijev).
- Praćeni su volumeni tijekom spuštanja i svaka kolona se punila isplakom.
- Na peti prethodne kolone zaštitnih cijevi ( $\approx 450$  m) obavila se cirkulacija 10-15 min i zabilježeni su tlakovi cirkulacije.
- Težina na kuki je mjerena nakon svakih 10 ugrađenih cijevi.
- Nakon ugradnje kolone izvršena je cirkulacija kroz cirkulacijsku glavu i isplaka je pripremljena za uvjete kvalitetne cementacije. Tijekom cirkulacije nekoliko se puta zadizao/spuštao niz zaštitnih cijevi.

U tablici 5-4. prikazani su podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8").

**Tablica 5-4.** Podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8") (INA, 2022c)

Dubina ugradnje (m)	0 – 2000 m
Promjer zaštitnih cijevi	0,2445 m (9 5/8")
Jedinična težina	69,9 kg/m (47 lb/ft)
Kvaliteta čelika	N-80
Spojnice	BTC
Unutarnji promjer cijevi	0,2205 m (8,68")
Promjer kalibra	0,2165 m (8,503")
Kritični unutarnji tlak	47,3 MPa (6858 psi)
Kritični vanjski tlak	32,8 MPa (4756 psi)
Dozvoljena vlačna sila	483*10 <sup>3</sup> daN

5.3.2. Postupak cementacije prve tehničke kolone vanskog promjera 0,2445 m (9 5/8")  
(9 5/8")

Cementacija niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8") izvela se „Perkins metodom“, u jednom stupnju s prethodnim i nahodnim cementnim čepom. Ulazni parametri za proračun prikazani su u tablici 5-5.

**Tablica 5-5.** Svojstva cementne kaše, cementnog kamena i potreban materijal za cementaciju niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2444 m (9 5/8") (INA, 2022.)

SASTAV / PARAMETRI CEM. KAŠE		Jedinica	Vršna cem. kaša	Repna cem. kaša
Potreban volumen cem. kaše (70 % povećanja)		l	71 000	21 000
Cement	Klase "G"	kg		
Voda	Slatka voda	kg / 100 kg cem	61.00	46.00
Gustoća cementne kaše		kg / l	1.51	1.91
API Filtracija na BHCT* pri 68,9 bar		ml/30min	<150	< 150
Izdvajanje vode na BHCT*		ml/250 ml	<1,0	< 1,0
Plastična viskoznost na BHCT*		mPa·s	50-70	60-80
Naprezanje pri pokretanju naBHCT*		Pa	4- 15	4- 15
Vrijeme pumpabilnosti cem. kaše		h:min	~3:30	~ 2:00
Tlačna čvrstoća nakon 24h		bar	>20	≥70
Čekanje na stvrdnjavanje cem. kaše (TWOC)		h	24	24
Vrh cementne kaše		m	0	1600
Potreban materijal (proračunski)		Jedinica		
Cement+Microlite P		kg	73 000	28 000
Voda		l	34 000	12 000
Antipjenušavac		l	150	55
Olakšivač		l	13 000	-
Aditiv za smanjenje filtracije		kg	360	100
Usporivač			40	40
Dispergator		kg	305	100

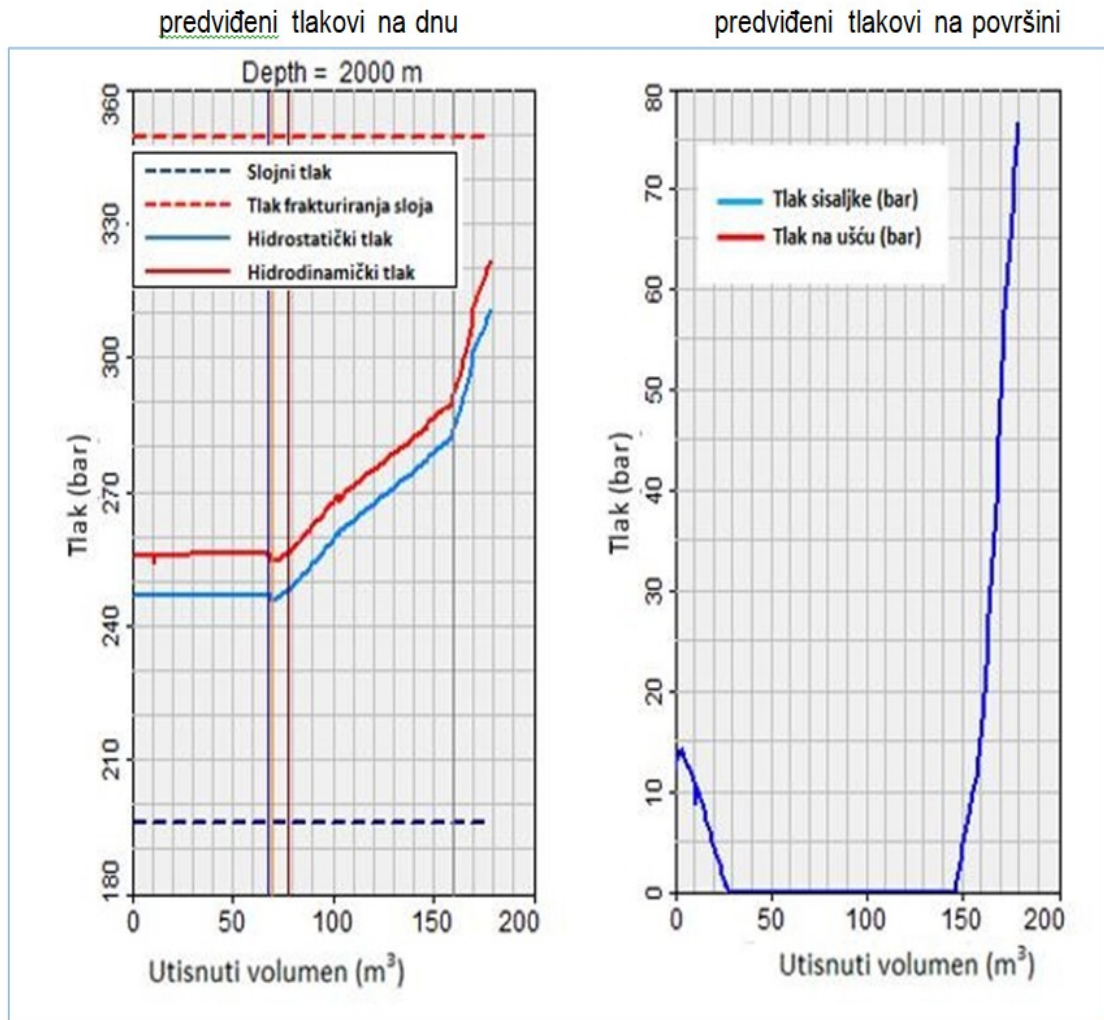
\*Napomena: BHCT (Temperatura u cirkulaciji na dnu bušotine)=65°C



Postupak izvođenja cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8") opisan je u nastavku (INA, 2022c):

- 1) Ugrađen je niz zaštitnih cijevi u bušotinu prema dnevniku ugradnje.
- 2) Isplaka se kondicionirala cirkulacijom u prstenastom prostoru.
  - a. Cirkuliralo se sa što većim protokom, ali se pazilo da se ne premaše ograničenja tlakova opreme i formacije.
  - b. Protok se držao konstantnim. Pad tlaka znači da isplaka, krhotine i isplačni kolač postaju mobilni i bušotina se čisti.
  - c. Ponovno se povećao protok.
- 3) Montirala su se sredstva za cementaciju i navrnula se cementacijska glava s ugrađenim čepovima (prethodni/nahodni) na zadnju zaštitnu cijev
- 4) Isprani su površinski vodovi i u bušaće šipke je utisnuto 0,2 m<sup>3</sup> vode.
- 5) Ispitana je hermetičnost tlačnih vodova tlakom od 15 MPa.
- 6) U niz zaštitnih cijevi je utisnuto 3 m<sup>3</sup> kemijskog fluida za ispiranje gustoće 1000 kg/m<sup>3</sup> protokom od 800 l/min, te potom 6 m<sup>3</sup> razdjelnice gustoće 1400 kg/m<sup>3</sup>.
- 7) Prethodni čep je spušten u niz zaštitnih cijevi.
- 8) U niz zaštitnih cijevi utisnuta je vršna cementna kaša gustoće 1510 kg/m<sup>3</sup>, a potom repna cementna kaša gustoće 1910 kg/m<sup>3</sup>.
- 9) Nahodni čep se upustio u niz zaštitnih cijevi.
- 10) Protisnuta je cementna kaša, isplačnim pumpama, protokom od 1000–250 l/min do dosjeda. Maksimalno dozvoljeni volumen jednak je teoretskom volumenu uvećanim za jednu polovinu volumena zaštitnih cijevi između pete i PPV.
- 11) Ispušten je tlak iz tlačnog voda i provjerio se povrat fluida (hermetičnost cementacijske opreme). Ventili na cementacijskoj glavi su ostavljeni otvoreni, razmontirana je oprema za cementaciju.
- 12) U slučaju da je oprema nehermetična, potrebno je utisnuti u niz zaštitnih cijevi volumen isplake dobiven kod povrata, zatvoriti ventile na cementacijskoj glavi i čekati stvrdnjavanje cementne kaše.
- 13) Čekanje na stvrdnjavanje cementne kaše (engl. *TWOC*) – u trajanju od 24 sata.

Očekivani tlakovi tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m na dubini od 2 000 metara i na ušću bušotine s obzirom na gustoću fluida i visinu dizanja fluida su prikazani na slici 5-3.



**Slika 5-3.** Dijagrami očekivanog radnog tlaka na ušću bušotine i na dubini od 2000 m, tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,2445 m (9 5/8") (INA, 2022c)

#### 5.4. Postupak ugradnje i cementacije druge tehničke kolone vanjskog promjera 0,1778 m (7")

##### 5.4.1. Ugradnja druge tehničke kolone vanjskog promjera 0,1778 m (7")

Postupak ugradnje druge tehničke kolone vanjskog promjera 0,1778 m (7") opisan je u nastavku (INA, 2022d):

- Prva četiri spoja (peta-dvije cijevi-PPV-cijev) premazana su s dvokomponentnim ljepilom.
- Na početku ugradnje kolone zaštitnih cijevi provjerena je funkcionalnost pete i PPV- a.
- Kontrolirala se brzina spuštanja zaštitnih cijevi (preporuka: ne brže od jedne minute za cijev).
- Tijekom dotezanja navojnih spojeva korištena je jedinica za praćenje momenta torzije u svrhu potvrde plinotijesnosti spojnice zaštitnih cijevi.
- Praćeni su volumeni tijekom spuštanja i svaka kolona je ispunjena isplakom.
- Na peti prethodne kolone (2000 m) napravljena je cirkulacija i zabilježeni su tlakovi cirkulacije.
- Mjerena je težina na kuki nakon svakih 10 ugrađenih cijevi.
- Vođen je dijagram ugradnje.
- Po ugradnji kolone izvršena je cirkulacija kroz cirkulacijsku glavu i isplaka je pripremljena za uvjete kvalitetne cementacije. Tijekom cirkulacije nekoliko puta se zadizao/spuštao niz zaštitnih cijevi.

U tablici 5-6. prikazani su podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (7").

**Tablica 5-6.** Podaci o nizu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (7") jedinične težine 47,62 kg/m (32 lb/ft) (INA, 2022d)

Dubina ugradnje (m)	2945
Promjer zaštitnih cijevi	0,1778 m (7")
Jedinična težina	47,62 kg/m (32 lb/ft)
Kvaliteta čelika	L-80 SD
Spojnice	VA Superior
Unutarnji promjer cijevi	0,1548 m
Kritični unutarnji tlak	62,5 MPa
Kritični vanjski tlak	59,3 MPa
Dozvoljena vlačna sila	332 *10 <sup>3</sup> daN

*5.4.2. Postupak izvođenja cementacije druge tehničke kolone vanjskog promjera, 0,1778 m (7")*

Cementacija niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m izvedena „Perkins metodom“ s prethodnim i nahodnim cementnim čepom. Gustoća repne cemente kaše iznosila je 1920 kg/m<sup>3</sup> i cementna kaša se podigla do 2500 m. Gustoća vršne cementne kaše iznosila je 1530 kg/m<sup>3</sup> i cementna kaša se podigla do ušća bušotine (Tablica 5-7.).

Postupak izvođenja cementacije proizvodnog niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (7") opisan je u nastavku (INA, 2022d):

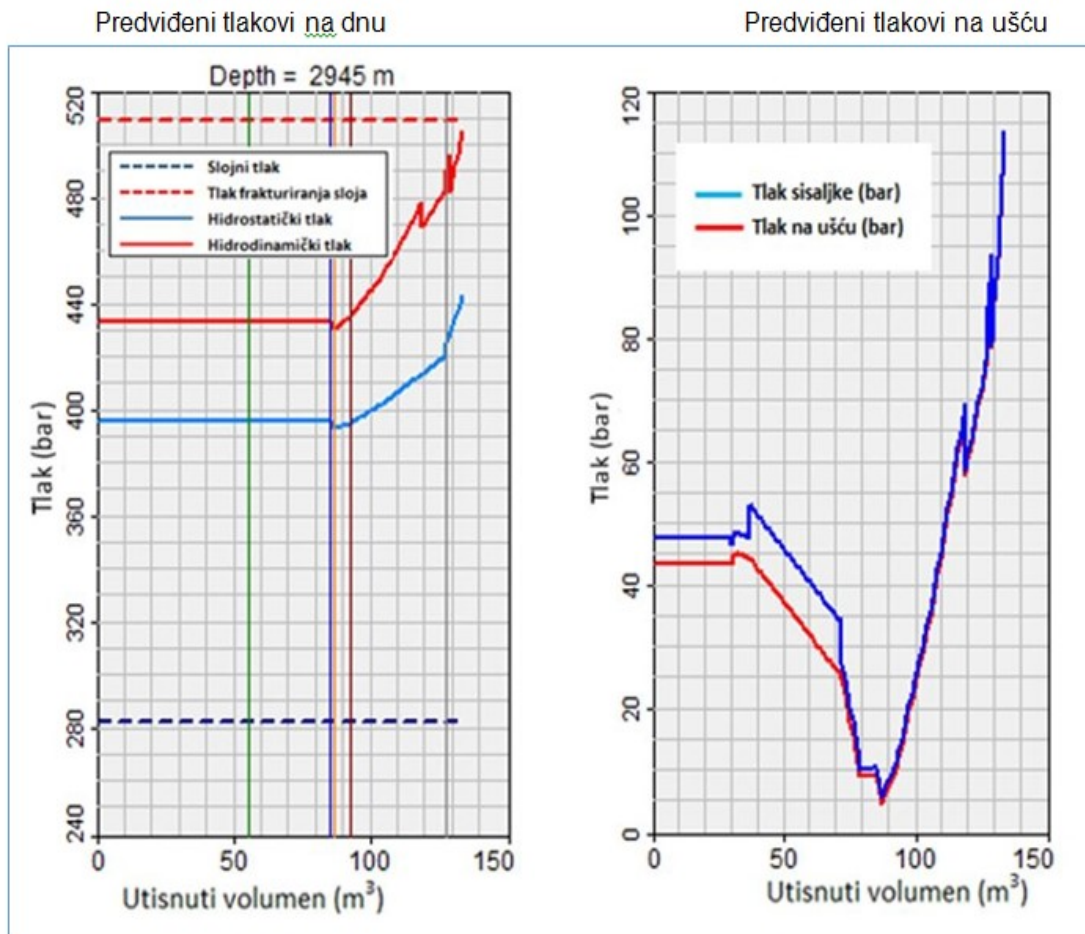
1. Ugrađen je niz zaštitnih cijevi u bušotinu prema dnevniku ugradnje (žurnal).
2. Isplaka se kondicionirala cirkulacijom u prstenastom prostoru
  - a) Cirkuliralo se sa što većim protokom, ali se pazilo da se ne premaše ograničenja tlakova opreme (kolaps zaštitnih cijevi) i formacije.

- b) Protok se držao konstantnim. Pad tlaka znači da isplaka, krhotine i isplačni kolač postaju mobilni i bušotina se čisti.
- c) Ponovno se povećao protok.
3. Montirala se oprema za cementaciju i navrnula se cementacijska glava s ugrađenim čepovima (prethodni/nahodni) na zadnju zaštitnu cijev.
  4. Isprani su površinski vodovi i u bušaće šipke je utisnuto 0,2 m<sup>3</sup> vode.
  5. Ispitana je hermetičnost tlačnih vodova tlakom od 15 MPa.
  6. U niz zaštitnih cijevi je utisnuto 2 m<sup>3</sup> kemijskog fluida za ispiranje gustoće 1000 kg/m<sup>3</sup> protokom od 800 l/min, te potom 6 m<sup>3</sup> razdjelnice 1300 kg/m<sup>3</sup>.
  7. Prethodni čep je upušten u niz zaštitnih cijevi.
  8. U niz zaštitnih cijevi utisnuta je vršna, a zatim i repna cementna kaša odgovarajućih gustoća protokom 800-600 l/min. Uzeti su uzorci kaše.
  9. Nahodni čep je upušten u niz zaštitnih cijevi.
  10. Protisnuta je cementna kaša, bušačim sisaljka, protokom od 1000–250 l/min do dosjeda. Maksimalno dozvoljeni volumen jednak je teoretskom volumenu uvećanom za jednu polovinu volumena zaštitnih cijevi između pete i PPV.
  11. Ispušten je tlak iz tlačnog voda i provjeren je povrat fluida (hermetičnost cementacijske opreme). Ventili na cementacijskoj glavi su ostavljeni otvoreni, razmontirana je oprema za cementaciju.
  12. U slučaju da je oprema nehermetična, potrebno je utisnuti u niz zaštitnih cijevi volumen isplake dobiven kod povrata, zatvoriti ventile na cementacijskoj glavi i čekati stvrdnjavanje cementne kaše.
  13. Čekanje na stvrdnjavanje cementne kaše (engl. *TWOC*) – u trajanju od 24 sata.

**Tablica 5-7.** Svojstva cementne kaše, cementnog kamena i potreban materijal za cementaciju niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (7") (INA, 2022d)

SASTAV / PARAMETRI CEM. KAŠE		Jedinica	Vršna cem. kaša	Repna cem. kaša
Potreban volumen cem. kaše (50 % povećanja)		1	35 500	8 500
Cement	Klase "G"			
Voda	Slatka voda	100.00	65.00	47.00
Gustoća cementne kaše		kg / l	1.53	1.92
API Filtracija na BHCT* pri 68,9 bar		ml/30min	<150	<80
Izdvajanje vode na BHCT*		ml/250 ml	<1,0	<0,5
Plastična viskoznost na BHCT*		mPa·s	50-70	60-80
Naprezanje pri pokretanju na BHCT*		Pa	4- 15	8-20
Vrijeme pumpabilnosti cem. kaše		h:min	~3:30	~2:30
Tlačna čvrstoća nakon 24h		bar	>20	>140
Čekanje na stvrdnjavanje cem. (TWOC)		h	24	24
Vrh cementne kaše		metar	0	2500
Potreban materijal (proračunski)		Jedinica		
Cement		kg	25 000	8 000
Voda		l	15 000	4 000
Aditivi za cementnu kašu				
Antipjenušavac		l	65	10
Dispergator		kg	120	50
Aditiv za smanjenje filtracije		kg	30	50
Usporivač		kg	20	70
Aditivi za sprečavanje prodora plina		l	10 000	2 500
Olakšivač		kg	2 500	-
Kvarcno brašno		kg	8 000	3 000

Očekivani tlakovi tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m na dubini od 2945 metara i na ušću bušotine s obzirom na gustoću fluida i visinu dizanja fluida su prikazani na slici 5-4.



**Slika 5-4.** Dijagram očekivanog radnog tlaka na ušću bušotine i na dnu bušotine tijekom cementacije niza zaštitnih cijevi vanjskog promjera 0,1778 m (INA, 2022d)

### 5.5. Postupak postavljanja cementnog čepa

Iako je po programu bila planirana ugradnja i cementacija proizvodnog lajnara vanjskog promjera 0,1144 m (4 1/2") ipak se ispitivanjima utvrdilo da je bušotina negativna te se postavio cementni čep od 800-900 metara sa svrhom izolacije dijela kanala bušotine.

Podaci o cementnoj kaši prikazani su u tablici 5-8.

**Tablica 5-8.** Podaci o cementnoj kaši za postavljanje cementnog mosta (INA, 2022e)

masa cementa class G	4000	kg
masa Kvarc	0	kg
masa Borax-a	0	kg
obujam cementne kaše	2,0	m <sup>3</sup>
programirana obujamska masa	1910	kg/m <sup>3</sup>
vodocementni omjer	0,44	
vrijeme pumpabilnosti cementne kaše	120	min
čekanje na cementni kamen (TWOC)	16	h

Razdjelnica:

- predhodnica – 3 m<sup>3</sup> čiste vode – 1000 kg/m<sup>3</sup>
- nahodnica – 0,8 m<sup>3</sup> čiste vode – 1000 kg/m<sup>3</sup>

Postupak postavljanja cementnog mosta opisan je u nastavku (INA, 2022e):

1. Na samom početku održan je pripremni sastanak sigurnosti i ispunjen je zapis o tome.
2. Provjerena je hermetičnost tlačnog voda do tlaka 150 bara.
3. Ugrađen je radni niz na 900 m.
4. Bušotina je nadopunjena te je izvršena kompletna cirkulacija do ujednačenja tlaka i ujednačenosti isplake. Provjerena je gustoća ulaz/izlaz isplake. Za nastavak radova bilo je potrebno da se podudaraju.
5. U miješalici je pripravljena cementna kaša sljedećeg sastava:
  - Čisti cement klase G
  - Čista voda: 1,3 m<sup>3</sup>
6. U miješalici cementne kaše je zamiješana i homogenizirana cementna kaša programirane obujamske mase.



- utisnuto je 3 m<sup>3</sup> prethodnice– čista voda
- utisnuto je 2 m<sup>3</sup> cementne kaše
- utisnuto je 0,8 m<sup>3</sup> nahodnice – čista voda

7. Protisnuta je cementna kaša na balans sa 1,9 m<sup>3</sup> isplake, protisnuta je isplakom iz 10 m<sup>3</sup> bazena na površini i točno se mjerio protisnuti volumen.

8. Radni niz je zadignut uz rotaciju na 700 m.

9. Obavljena je direktna cirkulacija u svrhu izbacivanja ostatka cementne kaše iz bušotine. Za vrijeme ispiranja zadizao se i spuštao radni niz 3 metra gore /dolje.

10. Alat je izvađen iz bušotine.

11. Čekanje na stvrdnjavanje cementne kaše (TWOC) – u trajanju od 16 sati.

## 6. ZAKLJUČAK

Proces dizajniranja cementne kaše i sama cementacija zaštitnih cijevi vrlo su složeni procesi i zahtijevaju puno znanja i pažnje. Uspješna i kvalitetna cementacija je preduvjet za stabilan kanal bušotine u tijeku eksploatacije ugljikovodika iz ležišta. Dizajniranje cementacijskih poslova iterativan je i suradnički proces koji započinje mnogo prije operacije cementiranja. U idealnom slučaju, suradnja između operatora i servisne kompanije počinje u fazi planiranja bušotine i nastavlja se tijekom cijele faze bušenja. Kako bušenje napreduje, podaci o bušotini se kontinuirano ažuriraju.

Cementiranje naftnih i plinskih bušotina unazad nekoliko desetljeća jako je napredovalo i moderniziralo se. Neuspješna izolacija izvora ugljikovodika u ranoj fazi izgradnje bušotine, kasnije rezultira probleme u daljnjoj eksploataciji ugljikovodika. Osim toga, plin i slojna voda mogu kontaminirati druge podzemne zone, kao što su vodonosnici. Utjecaj kontaminacije jednog slatkovodnog vodonosnika na okoliš izuzetno je ozbiljan. Stoga, početna i dugoročna kvaliteta cementne kaše i kamena trebala bi biti od najveće važnosti za operatera, jer je ključna za sigurnu i uspješnu proizvodnju iz bušotine.

Cementacije kolona ugrađenih u bušotinu Dravica-3 su uspješno provedene, ali je ispitivanjima utvrđeno da je bušotina negativna te je u nju postavljen cementni most u svrhu privremene likvidacije. U budućnosti će se bušotina Dravica-3 koristiti kao utisna ili mjerna bušotina.

## 7. LITERATURA

1. GAURINA-MEĐIMUREC, N. 2021. Cementacija kolona zaštitnih cijevi: Predavanje iz kolegija Bušotinski fluidi 2, ak.god.2021./2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu.
2. INA, 2022a. Projekt izrade razradne/eksploatacijske bušotine Dravica-3, str. 30-98.
3. INA, 2022b. Well-3 Dravica 13 3/8" Cementing program, str. 8-43.
4. INA, 2022c. Well-3 Dravica 9 5/8" Cementing program, str. 8-29.
5. INA, 2022d. Well-3 Dravica 7" Cementing program, str. 7-33.
6. INA, 2022e. Well-3 Dravica Bridge plug Cementing program, str. 2-5.
7. NELSON, E., 1990. Well Cementing, Dowell Schlumberger Educational Services, Houston, USA, str. 343-433.
8. PERIĆ, M., 2007.: Englesko hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina, Zagreb, str. 142-146.

Internet izvori:

9. HALLIBURTON, 2022. *Well Cementing*.  
URL: <https://www.halliburton.com/en/well-construction/well-cementing>  
(20.7.2022.)
10. PETROWIKI, 2018. *Cementing operations*.  
URL: [https://petrowiki.spe.org/Cementing\\_operation](https://petrowiki.spe.org/Cementing_operation) (23.7.2022.)
11. SCIENCEDIRECT, 2019. *Well cementing*.  
URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/oil-well-cementing>  
(17.7.2022.)
12. WIKIPEDIA, 2021. *Well cementing*.  
URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Well\\_cementing](https://en.wikipedia.org/wiki/Well_cementing) (20.7.2022.)

## IZJAVA

*Ja, Ivona Letvenčuk, izjavljujem da sam ovaj završni rad pod naslovom "Priprema i izvođenje cementacije zaštitnih cijevi" izradila samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom i uz stručno vodstvo mentorice prof. dr. sc. Nediljke Gaurine-Međimurec.*

*Ivona Letvenčuk*

---

Ivona Letvenčuk



KLASA: 602-01/22-01/123  
URBROJ: 251-70-12-22-2  
U Zagrebu, 14.09.2022.

Ivona Letvenčuk, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/123, URBROJ: 251-70-12-22-1 od 02.05.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### PRIPREMA I IZVOĐENJE CEMENTACIJE ZAŠTITNIH CIJEVI

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof.dr.sc. Nediljka Gaurina-Međimurec nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Prof.dr.sc. Nediljka Gaurina-  
Međimurec

(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)