

Hidrostatsko ispitivanje cjevovoda

Sušić, Edis

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:169:516086>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-09**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO - GEOLOŠKO - NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

HIDROSTATSKO ISPITIVANJE CJEVOVODA

Završni rad

Edis Sušić

N 4326

Zagreb, 2021.

HIDROSTATSKO ISPITIVANJE CJEVOVODA

EDIS SUŠIĆ

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Hidrostatsko ispitivanje cjevovoda je postupak koji se provodi tijekom radnog vijeka cjevovoda kako bi se utvrdila njegova ispravnost i sigurnost. Provodi se prema propisanom postupku na cjevovodima koji služe za transport zapaljivih i hlapivih fluida kao što su nafta i plin. Ispitivanja se provode u određenim zakonski definiranim vremenskim razmacima. Nakon ispitivanja oštećeni dijelovi cjevovoda se popravljaju ili zamjenjuju. Prije puštanja cjevovoda u ponovni rad provodi se konačno ispitivanje koje mora potvrditi sigurnost cjevovoda pri određenim radnim uvjetima (tlaku i temperaturi). U završnom radu detaljno je opisan postupak hidrostatskog ispitivanja cjevovoda.

Ključne riječi: hidrostatsko ispitivanje cjevovoda, naftovod, plinovod, ispitni tlak, radni tlak, mjerni uređaji, čistači, klipna pumpa, kompresor, ispitna voda

Završni rad sadrži: 30 stranica, 12 slika, 3 tablice i 16 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološkog-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica u trajnom zvanju RGNf

Ocjenjivači: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica u trajnom zvanju RGNf

Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor u trajnom zvanju RGNf

Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNf

Datum obrane: 11.06.2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
Sveučilište u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	II
1. UVOD	1
2. TLAČNO ISPITIVANJE CJEVOVODA I MJERE SIGURNOSTI	2
3. PRIPREMA I PROCEDURA ISPITIVANJA.....	6
4. MJERNI UREĐAJI I NJIHOVO KALIBRIRANJE	10
4.1. Snimač tlaka	10
4.2. Snimač temperature.....	10
5. HIDROSTATSKO TLAČNO ISPITIVANJE	11
5.1. Stabilizacija tlaka i temperature	11
5.2. Određivanje količine zraka u cjevovodu	13
5.3. Postupci prilikom izvođenja hidrostatskog ispitivanja cjevovoda	13
6. OŠTEĆENJA, POPRAVCI ILI OBNOVE I PONOVO ISPITIVANJE	19
7. ODVODNJAVANJE I SUŠENJE.....	20
8. ODVODNJAVANJE I SUŠENJE CIJEVI ZA TRANSPORT PLINA.....	22
9. HIDROSTATSKO ISPITIVANJE NADZEMNIH CJEVOVODA	25
10. HIDROSTATSKO ISPITIVANJE PLINOVODA ZAGREB - KARLOVAC	26
11. ZAKLJUČAK.....	28
12. LITERATURA	29

POPIS SLIKA

Slika 2–1. Oprema za punjenje cjevovoda vodom.....	3
Slika 2–3. Znak upozorenja "Cjevovod pod visokim tlakom"	5
Slika 4–1. Spajanje snimača temperature	10
Slika 5–1. Određivanje volumena zraka u cjevovodu.....	13
Slika 5–2. Koeficijent volumne ekspanzije slatke vode.....	16
Slika 5–3. Koeficijent volumne ekspanzije morske vode	17
Slika 5–4. Kompresibilnost slatke vode.....	17
Slika 5–5. Kompresibilnost morske vode	18
Slika 7–1. Oprema za odvodnjavanje i sušenje cjevovoda	20
Slika 8–1. Čistač s četiri košare	23
Slika 9–1. Nadzemni cjevovod	25
Slika 10–1. Trasa magistralnog plinovoda Zagreb – Karlovac.....	27

POPIS TABLICA

Tablica 8-1. Potrebne količine metanola za odvodnjavanje 1 km plinovoda raznih dimenzija	22
Tablica 8-2. Potrebne količine metanola za sušenje 1 km plinovoda raznih dimenzija	24
Tablica 10-1. Ovisnost tlakova u plinovodu o debljini stijenke plinovoda	26

1. UVOD

Propisi održavanja cjevovoda za transport fluida postavljaju minimalne zahtjeve kojih se treba pridržavati zbog sigurnosti rada cjevovoda. Dopuštena su četiri tipa ispitivanja integriteta cjevovoda: linijska inspekcija (pametni čistači), hidrostatsko ispitivanje, procjena vanjske korozije ili neko drugo ispitivanje odobreno od ovlaštenog inspekcijskog tijela prije primjene na cjevovodu. Pravilnik o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom utvrđuje maksimalni vremenski razmak između dva ispitivanja koji nije veći od 10 godina. Propisi ne govore o prednostima i nedostacima gore navedenih pristupa ispitivanju, ali obvezuju izvođače ispitivanja cjevovoda na poznavanje i odabir najbolje metode za ispitivanje stanja pojedinih dijelova cjevovoda. Propisi također ne navode ograničenja za izvođače po pitanju primjene većih mjera od minimalnih sigurnosnih zahtjeva. Potrebno je u potpunosti biti siguran da je cjevovod ispravan za nastavak rada. Kako bi bili sigurni u njegovu ispravnost nužno je odabrati odgovarajući ispitni postupak. Neprimjereni ispitni postupak može rezultirati podacima koji mogu prikazati da je cjevovod sigurniji nego što zapravo je.

U domaćim smjernicama za provođenje ispitivanja cjevovoda postupak ispitivanja nije dovoljno precizno opisan. Neke smjernice mogu se naći u Pravilniku o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom, ali njima nedostaju određeni detalji. Ti detalji uočavaju se iskustvom rada na terenu. Zbog toga što praksa pokazuje neke manjkavosti smjernica koje su objavila nadležna tijela, u ovom radu opisani su postupci koji se izvode u Sjedinjenim Američkim Državama kao primjer dobre prakse.

2. TLAČNO ISPITIVANJE CJEVOVODA I MJERE SIGURNOSTI

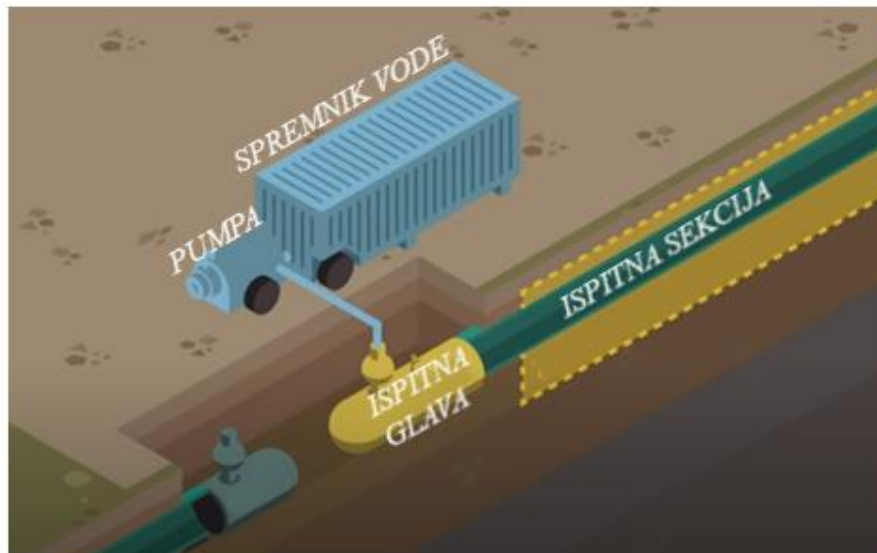
Nakon završetka izgradnje cjevovoda te prije čišćenja i puštanja u rad potrebno je provesti tlačno ispitivanje cjevovoda. Ispitivanje se izvodi uz prisutnost inženjera ili osobe koja ga mijenja. Niz cijevi treba ispitati pri visokom tlaku kako bi se dokazala izdržljivost cjevovoda, kompaktnost cijevi te kvaliteta varova i spojnih materijala. Ispitivanje mora potvrditi prihvatljivost cjevovoda za transport željenog fluida.

Postoje dva tipa tlačnog ispitivanja cjevovoda: pneumatsko i hidrostatsko ispitivanje cjevovoda. Pneumatsko ispitivanje bazira se na povećanju tlaka unutar cjevovoda utiskivanjem zraka ili inertnog plina. Ovakav oblik tlačne probe koristi se u rijetkim slučajevima kad primjena vode nije moguća. U većini slučajeva primjenjuje se hidrostatsko ispitivanje cjevovoda koje je detaljno opisano u završnom radu.

Kako bi se moglo provesti kvalitetno hidrostatsko ispitivanje potrebno je odabrati odgovarajuću i potpuno ispravnu opremu. Oprema koja služi za mjerenje prilikom hidrostatskog ispitivanja treba biti projektirana za mjerenje tlakova koji su prisutni u ispitnom dijelu. Oprema koja se koristi prilikom ispitivanja sadrži:

1. Kompresor, tj. centrifugalnu pumpu s odgovarajućim filtrima, a primjenjuje se za utiskivanje ispitnog fluida željenom brzinom;
2. Prijenosnu klipnu pumpu koja ostvaruje ispitni tlak na dio cjevovoda koji se ispituje. Pumpa mora ostvarivati dovoljnu snagu kako bi mogla ostvariti maksimalni tlak koji je naznačen na dijagramu proračunatog hidrostatskog tlaka.;
3. Prijenosni spremnik vode, ukoliko je potreban;

Na slici 2-1. prikazani su sastavni dijelovi sustava za protiskivanje vode. Spremnik vode opskrbljuje pumpu vodom. Istovremeno pumpa protiskuje vodu u ispitnu sekciju.



Slika 2–1. Oprema za punjenje cjevovoda vodom (SoCalGas, 2014)

4. Mjerač protoka i mjerne spremnike, ukoliko je potrebno;
5. Dva seta snimača tlaka s kružnim grafikonima za 24-satno bilježenje tijekom ispitivanja. Snimači sadrže mehanički sat u kojem se nalazi dovoljno grafikona za bilježenje tlakova tjedan dana. Također, moraju odgovarati rasponu ispitnog tlaka. Minimalna preciznost mjerenja bi trebala biti oko 1 % s minimalnom osjetljivošću uređaja od 0.5%;
6. Dva seta snimača temperature s kružnim grafikonima za 24-satno bilježenje. Predviđeni su za raspon temperatura 0-60 °C. Uređaj se sastoji od mehaničkog sata s dovoljnom količinom grafikona za tjedan dana. Na uređaju se nalazi elastična kapilara spojena sa senzorom topline. Cijev kapilare bi trebala biti duljine oko 5 m. Moguća odstupanja iznose 0.5 °C. Uređaj mora odgovarati propisanim standardima. Kod uređaja pod točkama 5 i 6 identičan je sustav zapisivanja na grafikone koji se služi pomičnim iglama s tintom.;
7. Nekoliko termometara koji mogu mjeriti raspon temperature od 0-60 °C;
8. Manometar, dimenzija 150 mm (6 in.), za izravno očitavanje tlaka. Raspon koji treba moći izmjeriti je 1,5 puta veći od maksimalnog ispitnog tlaka.;
9. Ispitivač opterećenja s važećim certifikatom za obavljenju kalibraciju. Također mora odgovarati rasponu tlakova koje zahtjeva hidrostatsko ispitivanje cjevovoda. Preciznost mu je oko 0,1%.
10. Filtre i zamjenske dijelove;

11. Privremene priključke i zamke za strugače, cijevi s više grana i servisne cijevi, zakrivljene cijevi, zaporne čepove i razdjelnice prikladne da izdrže očekivani maksimalni tlak;
12. Čistače raznih oblika (sferični, osovinski, pjenasti, itd.) koji moraju osigurati prolaznost za uređaje koji koriste radioaktivnost ili akustiku za procjenu stanja cjevovoda;
13. Aditive i inhibitore korozije zajedno s opremom za ubrizgavanje i mjerenje količine ovih kemikalija;
14. Gorivo, električnu energiju, vodu, zrak te podmazivače ukoliko je potrebno;
15. Sredstva za transport i telekomunikaciju između mjesta za ispitivanje i provjeru;
16. Nužnu opremu za hitan popravak.

Prije upotrebe opreme za hidrostatsko ispitivanje cjevovoda mora se dobiti odobrenje od ovlaštenog inspekcijskog tijela. Norme kojih se moraju pridržavati izvođači ispitivanja u Republici Hrvatskoj, ali i ovlaštena inspekcijska tijela navedene su u Pravilniku o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom visoke razine opasnosti.

U cilju jedinstvenog postupanja ovlaštenih inspekcijskih tijela prilikom provođenja pregleda i ispitivanja opreme pod tlakom, Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta objavljuje tehničke upute i preporuke za provođenje aktivnosti periodičkih pregleda i ispitivanja opreme pod tlakom. Prilikom pregleda opreme pod tlakom, ovlašteno inspekcijsko tijelo mora provjeriti jesu li ispunjeni uvjeti za rad predmetne opreme pod tlakom propisani od strane proizvođača te u kolikoj mjeri eventualna odstupanja utječu na ispunjavanje bitnih sigurnosnih zahtjeva propisanih za tu opremu. Nakon svakog pregleda ovlašteno inspekcijsko tijelo sastavlja izvještaj o provedenim radnjama i nalazima u dva primjerka. Jedan primjerak dostavlja korisniku, a drugi primjerak zadržava za sebe. Ukoliko su uz preglede rađena ispitivanja, ista moraju biti navedena u izvještaju i dokumentirana.

Prije provedbe prvog pregleda oprema pod tlakom treba biti razvrstana s obzirom na razinu opasnosti. Prvi pregled obavlja ovlašteno inspekcijsko tijelo koje prije pregleda mora ispuniti evidencijski list opreme pod tlakom visoke razine opasnosti.

Prilikom pregleda ovlašteno inspeksijsko tijelo mora provjeriti sljedeće:

1. Isprave o sukladnosti opreme pod tlakom, sklopova te tlačnog i sigurnosnog pribora s bitnim sigurnosnim zahtjevima te tehničku dokumentaciju za predmetnu opremu koju izdaje proizvođač.
2. Ispunjenje zahtjeva za postavljanje, stavljanje u uporabu, rad i održavanje predmetne opreme pod tlakom.
3. Stanje vanjskih površina opreme pod tlakom.
4. Sukladnost postavljanja sigurnosnog pribora sa zahtjevima proizvođača.
5. Sukladnost postavljanja opreme pod tlakom sa zahtjevima proizvođača.
6. Dokumentaciju tehnološke cjeline u čijem je sastavu oprema pod tlakom.

Prilikom pripreme hidrostatskog ispitivanja nužno je osigurati uvjete za siguran rad kako bi se uklonile vjerojatnosti nastanka povrede radnika ili oštećenja opreme. Znakove upozorenja (Slika 2-2.) postavlja se na lokacije za koje se smatra da su potencijalno opasne. Na taj način nastoji se održavati svijest radnika o opasnosti cjevovoda pod visokim tlakom.



Slika 2–2. Znak upozorenja "Cjevovod pod visokim tlakom" (Ronald Lane Inc., 2014)

3. PRIPREMA I PROCEDURA ISPITIVANJA

Prije početka hidrostatskog ispitivanja, kompanija koja će provodit ispitivanja mora pripremiti i predati inženjeru na provjeru i odobrenje detaljnu proceduru koja će se primjenjivati, zajedno s dijagramom ispitnog tlaka. Firmu koja je izvođač ispitivanja trebao bi prilikom hidrostatskog ispitivanja nadgledati tehničar za hidrostatsko ispitivanje.

Cjevovod bi trebalo hidrostatski ispitati po sekcijama prije spajanja ventila. Bez obzira na proizvođačev certifikat o ispravnosti, svaki ventil potrebno je hidrostatski ispitati prije ugradnje. Procedure ispitivanja trebaju se bazirati na propisanim minimalnim zahtjevima. Izvođač ispitivanja bi trebao imati na umu sljedeće faktore prilikom pripreme postupka hidrostatskog ispitivanja:

1. Tlak tijekom rada cjevovoda;
2. Lociranje cijevi i ostalih komponenti u nizu cjevovoda unutar sekcije koja se ispituje, poznavanje podataka o dimenzijama cijevi, debljini stijenke, kvaliteti materijala i razini radnog tlaka;
3. Duljinu i lokaciju dijelova cjevovoda koje će se ispitati. Detaljnu analizu profila cjevovoda kako bi se definirali statički i dinamički tlak koji će se smjeti primjenjivati, a da cjevovod ne bude izložen prevelikom tlaku;
4. Razinu tlaka u ventilima te lokacije svih ventila na cjevovodu i ventilskih sklopova za ispuštanje zraka kao i lokaciju priključaka koji se spajaju na ispitni dio;
5. Definirani maksimalni i minimalni ispitni tlak kao i maksimalni i minimalni tlak koji je dozvoljeno koristiti u cjevovodu;
6. Obvezu da se za svaku sekciju koju se ispituje prave bilješke s crtežima koji prikazuju raspodjelu sve ispitne opreme, kao npr. ventila za odzračivanje, instrumenata za mjerenje tlaka i instrumenata za mjerenje temperature duž dionice;
7. Izvor vode koja je nužna za ispitivanje;
8. Predviđenu temperaturu vode koja se primjenjuje prilikom ispitivanja u nadzemnom ili podzemnom cjevovodu;
9. Potrebe za obradom i pročišćivanjem ispitne vode;
10. Procedure čišćenja, ispunjavanja i metode mjerenja unutar određene dionice;
11. Proceduru pri tlačenju tijekom hidrostatskog ispitivanja određene dionice te definiranje mjesta utiskivanja;

12. Minimalno trajanje ispitivanja dionice;
13. Proceduru pri izbacivanju vode iz cjevovoda, način na koji se voda zbrinjava i mjesto gdje se zbrinjava;
14. Popis sve predložene opreme i materijala te mjesta gdje će se ugraditi;
15. Popis osoblja i njihove kvalifikacije;
16. Sigurnosne mjere predostrožnosti i sigurnosne prakse koje treba provoditi.

Prilikom pripreme hidrostatskog ispitivanja treba imati na umu da je nakon ispitivanja potrebno isprazniti i osušiti ispitane sekcije te da se ispitna voda može prebacivati iz jedne sekcije u drugu. Za vrijeme pripreme ispitivanja izvođač ispitivanja bi trebao paziti da niti jedna sekcija ne ostane bez potrebne količine vode ili da ne bude ispunjena zrakom koji je zasićen vodom. Također se uzima u obzir da svi glavni riječni prijelazi prije instalacije moraju biti ispitani na naprezanje koje iznosi 95% od definirane granice tečenja. Tijekom ispitivanja takvih prijelaza tlak u ispitnoj sekciji održava se 4 sata. Nakon zasebnog ispitivanja cijevi riječnog prijelaza razmatra se ponovno ispitivanje istih cijevi zajedno s ostatkom cjevovoda. Izvođač ispitivanja mora biti svjestan da je on odgovoran za bilo kakvu štetu ili gubitke koji nastaju kao posljedica nepravilnog upravljanja prilikom ispitivanja.

Sve sekcije prije ispitivanja moraju biti izolirane s prirubnicama, varovima, brtvama koje su dizajnirane tako da mogu izdržati veće tlakove od maksimalnog ispitnog tlaka. Treba predvidjeti punjenja, propuštanja te potpunu drenažu ispitne vode iz svake dionice. Odvodi bi trebali biti na najnižim razinama, a mjesta propuštanja na najvišim točkama svake sekcije, ukoliko je to praktično izvesti. Prije početka ispitivanja potrebno je temeljito provjeriti sve spojne elemente. Sve prirubnice moraju biti pričvršćene vijcima koji moraju biti pravilno pritegnuti.

Izvođač ispitivanja mora imati dovoljno vode odgovarajućih karakteristika za hidrostatsko ispitivanje cjevovoda. Slojna voda ne smije se koristiti, osim ako je inženjer odobrio njenu primjenu u uvjetima gdje nema površinske vode. Izvođač bi trebao nadzirati pumpanje, mjerenje količine te filtriranje vode primijenjene za hidrostatsko ispitivanje. Također bi za potrebe ispitivanja trebao na vlastiti trošak izraditi analizu vode sa svakog crpilišta te predati analizu inženjeru. Ukoliko je potrebno, izvođač mora obraditi vodu kemikalijama.

Izvođač mora osigurati da su sve komponente cjevovoda i dodatna oprema u nizu cijevi koje se ispituju ispravno postavljene te da su svi čepovi na ispitnoj dionici pravilno pričvršćeni kako bi mogli izdržati bilo kakve pomake i naprezanja. Koljena moraju biti primjereno postavljena ili pridržana kako bi se spriječilo pomicanje. Ventili koji se primjenjuju u cjevovodima kojima se transportira nafta, trebaju biti potpuno otvoreni kako bi se omogućio prolazak čistača.

Nečistoće kao što su zemlja, šipke za zavarivanje i alat koje su završile u cjevovodu potrebno je ukloniti pomoću čistača. Udubljenja je potrebno locirati uz pomoć mjernih uređaja te ih sanirati prije početka hidrostatskog ispitivanja. Postupke čišćenja i mjerenja treba provoditi samo ako:

1. Rov u kojem se nalazi sekcija za ispitivanje je zapunjen, a glavno čišćenje cjevovoda je obavljeno.
2. Svi potrebni materijali i oprema koji se primjenjuju su spremni za ispitivanje.
3. Cjevovod je sigurno pričvršćen u nosače, a betonski blokovi pravilno učvršćeni.
4. Na oba kraja ispitne sekcije instalirana je prirubnica za spajanje na površinsku opremu.

Izvođač bi trebao ubaciti i pokrenuti čistače sa strugačima kako bi se očistila ispitna sekcija od svih nečistoća. Nakon što inženjer pretpostavi da je dionica očišćena, izvođač ispitivanja ubacuje i pokreće strugače na zračni pogon na koje je pričvršćena mjerna ploča. Strugači koji se zaglave u cjevovodu te ih nije moguće progurati čak ni uz povećanje tlaka, trebaju se locirati i ukloniti iz ispitnog dijela rezanjem cijevi. Na mjesto uklonjene cijevi postavlja se i zavaruje nova cijev. Strugač s mjernom pločom treba proći cijelu duljinu ispitne sekcije. Nakon prolaska čistača kroz cijelu ispitnu sekciju potrebno je provjeriti stanje mjerne ploče. Mjerna ploča bi trebala biti u dobrom stanju, tj. bez ikakvih oštećenja. Prihvatljivost njenog stanja potvrđuje nadležni inženjer. Ukoliko mjerna ploča pretrpi oštećenje pretpostavlja se da je ispitana sekcija oštećena. U tom slučaju izvođač bi trebao locirati i odrediti vrstu greške. Kao greške se pojavljuju smanjenje promjera cijevi, udubljenja ili postojanje nekog oblika zapreke u nizu cijevi.

Izvođač treba osigurati opremu, materijale te radno osoblje zaduženo za umetanje, pokretanje i uklanjanje čistača. Radno osoblje također je zaduženo za popravak svih detektiranih oštećenja na cijevi. Izvođač može birati hoće li čistiti i mjeriti cjevovod s istim uređajem te umjesto korištenja zraka za protiskivanje odabrati vodu. Ispunjavanje

cjevovoda vodom trebalo bi se provoditi u kontroliranim uvjetima pri maloj dobavi vode te bez prisustva zraka u sustavu. Prisustvo zraka rezultira neispravnim rezultatima ispitivanja. Ispunjavanje cjevovoda treba biti izvedeno uz korištenje čistača kako bi se postigla adekvatna kontrola te učinkovito uklanjanje zraka iz sustava. Voda mora biti filtrirana te bi trebala sadržavati odgovarajuće inhibitore korozije i biocide. Uređaj za protiskivanje trebao bi biti opremljen mjeracem protoka kako bi se izmjerila količina protisnute vode u ispitnu sekciju.

Izvođač bi trebao ugraditi hvataljke i zamke za strugače. Pri procesu punjenja potrebno je održavati dovoljan tlak na zaglavlju ispitnih uređaja kako bi se čistač jednoliko protiskivao kroz ispitnu sekciju. Ukoliko se sljedeća sekcija ispituje vodom koja se primjenjivala u prethodnoj dionici, izvođač treba osigurati cijevi za međusobno povezivanje kako bi se voda mogla prenositi iz jednog odjeljka u drugi.

Ako postoji mogućnost da se temperatura vode spusti na 0 °C ili niže, koristi se glikol ili neki drugi antifriz. Ukoliko se za potrebe ispitivanja koristi kopnena voda, izvođač bi trebao na svoj trošak provesti analizu vode te rezultate dostaviti inženjeru prije početka ispitivanja. Na usisnom dijelu pumpe dodaju se inhibitori korozije. Izvođač mora čekati odobrenje i upute inženjera da bi mogao započeti s dodavanjem inhibitora korozije. Tamo gdje okolina uvjetuje korištenje morske vode, izvođač ju za potrebe ispitivanja može koristiti ukoliko ima odobrenje inženjera. U takvim okolnostima potrebno je koristiti specijalne inhibitore korozije koji sadrže aditive za suzbijanje pojave morskih mikroorganizama.

Izvođač bi trebao utiskivati vodu u ispitnu dionicu prije ubacivanja čistača do udaljenosti od 100 metara, nakon čega ubacuje čistač, a iza njega se protiskuje voda brzinom koju je preporučio inženjer. Pumpe koje se koriste za ispunjavanje cjevovoda trebaju imati dovoljan kapacitet kako bi se vodu moglo protiskivati minimalnom brzinom od 1600 m/h.

Režim protjecanja bi trebao biti takav da se čistač kreće konstantnom brzinom, a to određuje inženjer na temelju promjera cjevovoda i konfiguracije terena na kojem se cjevovod nalazi. Vodu se treba pumpati u ispitnu sekciju sve dok donekle čista voda ne dođe do ispusta na zaglavlju. Svi privremeni uzlazni ventili trebaju biti zatvoreni, a zaporne prirubnice postavljene na sve neiskorištene spojeve na cjevovodu.

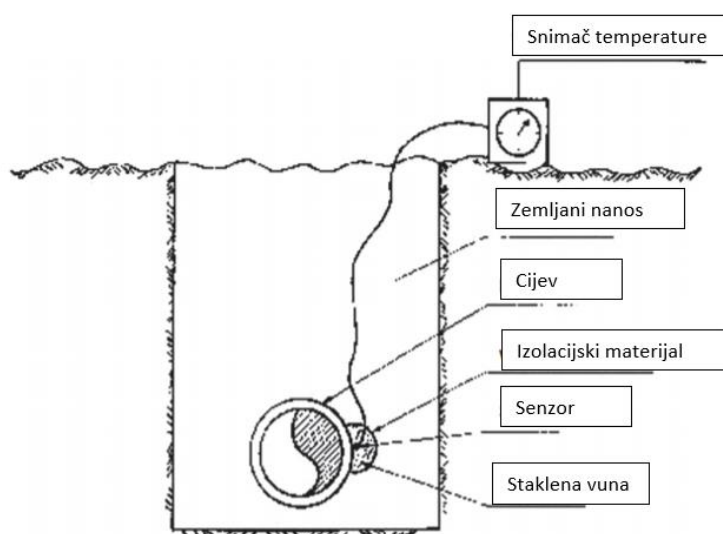
4. MJERNI UREĐAJI I NJIHOVO KALIBRIRANJE

4.1. Snimač tlaka

Barem jedan takav uređaj mora postojati na svakom ispitnom dijelu, a smješten je na kontrolnoj točki ispitnog dijela. Uređaj se mora spojiti na ispitnu dionicu s cijevnim priključkom promjera 0.013 m ($\frac{1}{2}$ in) koji sadrži protupovratne i ispušne ventile. Uređaj se kalibrira prije početka ispitivanja, u srednjoj fazi ispitivanja te na kraju, tj. prije nego se ispusti tlak iz sustava. Kalibracija se odvija na mjestu gdje će se provoditi ispitivanje. Manometar treba biti precizno kalibriran te usklađen sa snimačem tlaka. Uređaj za ispitivanje težinskog opterećenja treba imati važeći certifikat o kalibraciji. Također bi se trebali kalibrirati mjerni bazeni. Inženjer može zatražiti potvrdu o kalibraciji ili o bilo kojem drugom dodatnom ispitivanju prije ili tijekom ispitivanja cjevovoda.

4.2. Snimač temperature

Najmanje jedan takav uređaj koristi se na ispitivanom dijelu cjevovoda, a također se može naći u kontrolnoj točki ispitivanog dijela. Uređaj se kalibrira prije početka ispitivanja. Provjera se obavlja u laboratoriju te tijekom hidrostatskog ispitivanja na način da se rezultati mjerenja uspoređuju s mjerenjima termometra na bazi žive.



Slika 4–1. Spajanje snimača temperature (Bahadori, 2017)

5. HIDROSTATSKO TLAČNO ISPITIVANJE

Cjevovodi su dizajnirani na način da mogu izdržati određena naprezanja. Na temelju načina izrade i korištenog materijala pri izradi proizvođač definira određene granične vrijednosti. Te granične vrijednosti određuju maksimalna naprezanja kojima se cjevovodi mogu izložiti prilikom rada ili hidrostatskog tlačnog ispitivanja. Prvi od tih tlakova je projektni tlak. Koristi ga se u proračunima jer je to najveći tlak u cjevovodu tijekom njegovog projektnog vijeka. Prilikom određivanja projektnog tlaka uzimaju se u obzir najveći dopušteni radni tlak, maksimalni radni tlak te prenaponski tlak.

Najveći dopušteni radni tlak (MAOP) smatra se najvećim tlakom pri kojem je dozvoljen rad cjevovoda. Vrijednost ovog tlaka varira ovisno o lokaciji i propisanom ispitnom tlaku. Kod plinovoda MAOP iznosi oko 5% manje od projektnog tlaka, a kod cjevovoda za tekućine 10% ili više ispod projektnog tlaka zbog veće opasnosti od nastanka prenaponskog tlaka. Smanjenje razlike između projektnog tlaka i MAOP-a uzrokovat će aktiviranje alarma i drugih sigurnosnih uređaja. Maksimalni radni tlak (MOP) je najveći mogući tlak kojem će biti izložen cjevovod u radnim uvjetima. Alarm upozorenja će se uključiti ukoliko se premaši MOP, ali se sigurnosni uređaji neće upaliti sve dok se ne premaši MAOP. Prenaponski tlak nastaje kao posljedica promjene brzine strujanja prilikom gašenja pumpne stanice, zatvaranja ventila ili bilo kakvog usporavanja protoka u cjevovodu. Ovisi o gustoći fluida, brzini protjecanja, duljini cjevovoda, brzini zatvaranja ili zaustavljanja cjevovoda i tlaku. Njegov intenzitet se smanjuje povećanjem udaljenosti od mjesta nastanka. Tlak kojim se ispituje cjevovod mora odgovarati konstrukcijski parametrima cjevovoda kako ne bi došlo do oštećenja materijala ili konstrukcije. Prilikom dizajniranja cjevovoda za transport tekućina potrebno je uzeti u obzir tlak zbog stupca tekućine u cjevovodu, pogotovo u najnižim točkama gdje takav tlak stvara najveća naprezanja.

5.1. Stabilizacija tlaka i temperature

Proračun trajanja temperaturne stabilizacije koji je baziran na očekivanoj temperaturi vode u cjevovodu te temperaturi okoline mora biti jako precizan. Za dugačke ispitne sekcije, uglavnom pri vrućim klimatskim uvjetima, treba par dana da se stabilizira temperatura vode. Temperatura vode trebala bi biti unutar granica odstupanja od 1 °C u odnosu na temperaturu tla. Tlakovi i temperature, uključujući okolinske, moraju se

mjeriti i bilježiti svakih sat vremena tijekom perioda stabilizacije. Temperaturu ispitne sekcije i okoline potrebno je grafički prikazati u ovisnosti o vremenu tijekom perioda stabilizacije.

Potrebno je definirati odnos tlaka i volumena. Volumen se može pretpostaviti iz broja hodova pumpe ili pomoću mjerača protoka. Manometar te uređaj za mjerenje težinskog opterećenja također se koriste kako bi se dobili ulazni podaci. Treba osigurati spremnik kako bi se omogućile provjere volumena vode u odnosu na podatke mjerača protoka ili se on može pretpostaviti iz tlaka pumpe. Brzina protiskivanja mora biti konstantna te ne smije prelaziti vrijednost od jednog bara po minuti, sve dok se ne postigne 35 bara ili 50% od ispitnog tlaka, ovisno koji je manji. U tom periodu odnose tlaka i volumena treba bilježiti za svako povećanje tlaka za jedan bar. Osoba koja upravlja opremom za tlačjenje mora hitno obavijestiti inženjera ukoliko postoje varijacije u brzini porasta tlaka za isti volumen protisnute vode. Tijekom tlačenja treba provjeriti sve točke potencijalnog propuštanja cjevovoda. Kada se dosegne tlak od 35 bara ili 50% ispitnog tlaka, tj. manji od njih, potrebno je odrediti udio zraka u ispitnoj sekciji. Kada količina zraka dosegne svoj maksimum, tj. 0.2% volumena ispitanog dijela, potrebno je nastaviti tlačiti vodu ranije zadanom brzinom, uz dva moguća slučaja:

1. Ukoliko su instalirane prirubnice, tlačenje se nastavlja dok se ne ostvari 70 bara ili maksimalni dozvoljeni radni tlak (MAOP), odnosno manji od ova dva tlaka. Takav tlak zadržava se uz provjeru mogućeg propuštanja u području prirubnica.
2. Ukoliko nema prirubnice ili su one već provjerene, tlačenje se nastavlja dok se ne dosegne 80% ispitnog tlaka. Taj tlak se održava u ispitnom dijelu cijevi najmanje dva sata.

Prirubnice se moraju provjeriti na mala propuštanja. U slučaju propuštanja, prije bilo kakvog pritezanja vijaka potrebno je smanjivati tlak u ispitnom dijelu cjevovoda brzinom od 2 bara po minuti dok se ne dosegne 70 bara ili maksimalni dozvoljeni radni tlak, odnosno niži od ta dva tlaka. Mjerenja tlaka i volumena trebaju se bilježiti u intervalima od 10 minuta sve dok se ne ostvari ispitni tlak. Nakon stabilizacije tlak treba povećati na 95% ispitnog tlaka te održavati 30 minuta. Potom se tlači brzinom od 0,5 bara po minuti sve dok se ne dosegne definirani ispitni tlak. Potrebno je kontinuirano planirati volumene koji će se utiskivati i tlakove koje će se ostvarivati dok se ne ostvari definirani ispitni tlak. Konstantno se prati stanje u ispitnoj sekciji cjevovoda jer je u slučaju odstupanja od

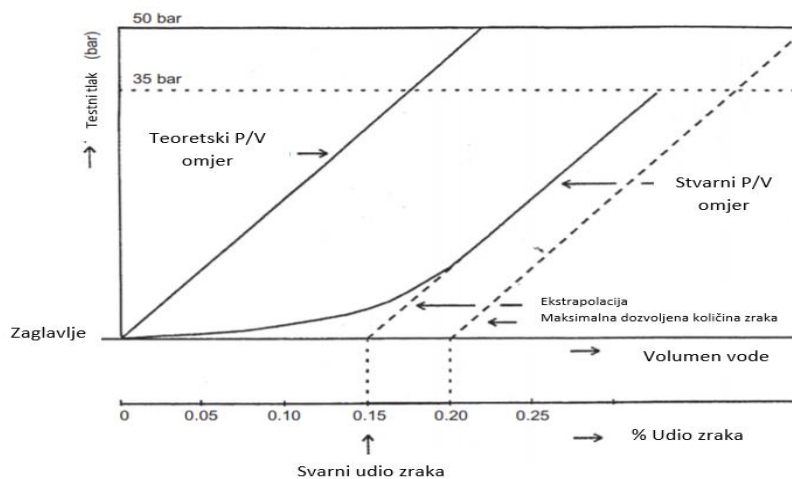
10% ili više od teorijske linije koja odgovara 100%-tnom udjelu vode, potrebno prekinuti ispitivanje. Potrebno je smanjiti tlak te potom istražiti uzrok takvog odstupanja.

5.2. Određivanje količine zraka u cjevovodu

Količinu zraka koja se nalazi u cjevovodu potrebno je odrediti za vrijeme početnog tlačenja pomoću grafa ovisnosti tlaka i volumena utisnute vode. Linearni dio krivulje potrebno je ekstrapolirati na os volumena koja se poklapa sa statičkim tlakom na vrhu ispitnog dijela. Volumen zraka može se iščitati s osi koja je paralelna s osi volumena utisnute vode (slika 5-1.) te se može koristiti za proračun količine zraka:

Postotak zraka u smjesi + (volumen zraka/volumen ispitnog dijela cijevi) * 100

Ukoliko udio zraka prelazi 0,2% ukupnog volumena ispitnog dijela cjevovoda, ispitivanje se treba prekinuti te treba pronaći uzrok takve situacije. Odjeljak koji se ispituje treba isprazniti i ponovo napuniti.



Slika 5–1. Određivanje volumena zraka u cjevovodu (Bahadori, 2017)

5.3. Postupci prilikom izvođenja hidrostatskog ispitivanja cjevovoda

Minimalno trajanje ispitivanja trebalo bi činiti 4-satna provjera čvrstoće cijevi popraćena 24-satnom provjerom izdržljivosti na propuštanje.

Tlak ispitivanja u bilo kojoj od navedenih faza trebao bi biti barem jednak tlaku koji je preporučeno prema standardima ANSI/ASME B31.4 ili B31.8, ukoliko je to izvedivo. Ako to nije izvedivo treba prouzročiti tangencijalno naprezanje koje iznosi 90% od

definirane minimalne granice tečenja (SMYS) materijala od kojeg je napravljen cjevovod. Iznos minimalne granice tečenja također ovisi o debljini stijenke cjevovoda. Za ispitivanje se bira veći od ova dva tlaka, osim ako kompanija ne odredi drugačije. Tijekom hidrostatskog ispitivanja kombinirano naprezanje ne bi smjelo prelaziti definiranu minimalnu granicu tečenja materijala cijevi. Kombinirano naprezanje bi trebalo proračunati u skladu sa standardima ANSI/ASME B31.4 ili B31.8. Razlika između tangencijalnog i kombiniranog naprezanja posljedica je visinske razlike u ispitnom dijelu te uzdužnog naprezanja uslijed savijanja. Međutim, visinske razlike u ispitnim dijelovima cjevovoda trebalo bi ograničiti na vrijednost koja odgovara 5% SMYS materijala cjevovoda ili na 50 metara, ukoliko visina nije unaprijed određena. Proračun kombiniranih naprezanja bi trebao uključivati velika zaostala konstrukcijska naprezanja i uzdužna naprezanja koja nastaju zbog aksijalnih opterećenja i savijanja. To je primjetno kod nepridržanih dijelova cjevovoda. Kombinirano naprezanje uslijed hidrostatskog ispitivanja treba biti ograničeno na naprezanje jednako vrijednosti minimalne granice tečenja cijevi s minimalnom debljinom stijenke. Ukoliko je izračunato kombinirano naprezanje veće od 100% od SYMS, treba poduzeti posebne mjere kako bi se smanjila uzdužna naprezanja u ispitnom dijelu. Tlak treba održavati konstantnim tijekom ispitivanja čvrstoće uz odstupanja od plus/minus 1 bar koja nastaju zbog propuštanja ili dodavanja vode kad je potrebno. Volumeni dodane ili izgubljene vode moraju se izmjeriti i zabilježiti. Tijekom ispitivanja potrebno je neprestano bilježiti tlak, a težinsko opterećenje i temperaturu zraka barem svakih 30 minuta. Temperatura cjevovoda i tla bilježi se na početku i na kraju četverosatnog ispitivanja. Potrebno je izraditi graf temperature ispitnog dijela cjevovoda i okoline u odnosu s vremenom stabilizacije.

Ispitivanje nepropusnosti provodi se nakon što je ispitivanje čvrstoće obavljeno te daje zadovoljavajuće rezultate. Voda se ne smije niti dodavati niti ispustiti iz cjevovoda za vrijeme ispitivanja. Cilj ispitivanja je da dokaže da ne postoji propuštanje cjevovoda.

Ako je potvrđeno da su promjene tlaka uslijed fluktuacije temperature u prihvatljivim granicama, može se istovremeno provesti ispitivanje čvrstoće te ispitivanje nepropusnosti pri tlaku ispitivanja čvrstoće. Kako bi se moglo dozvoliti variranje tlaka koje nastaje kao posljedica temperaturnih fluktuacija tijekom ispitivanja, potrebno je smanjiti ispitni tlak na 80% od početnog tlaka ispitivanja.

Za vrijeme ispitivanja nepropusnosti potrebno je neprekidno bilježiti tlak u cjevovodu, a opterećenje i temperatura zraka bilježe se svakih 30 minuta. Temperatura cijevi i tla trebaju se bilježiti u intervalima od najviše tri sata. Prvi i zadnji interval potrebno je smanjiti na jedan sat. Dobiveni podaci koriste se za proračun promjene tlaka i temperature. Na temelju njih izrađuje se spomenuti graf promjene temperature s vremenom.

Ukoliko se cjevovod sastoji od nekoliko sekcija koje su ranije ispitane na čvrstoću, konačno ispitivanja nepropusnosti niza cijevi trebalo bi provesti pomoću tlaka koji iznosi 80% od najmanjeg ispitnog tlaka koji se primjenjivao za ispitivanje sekcija cjevovoda. Visinski položaj se mora uzeti u obzir kod provjere nepropusnosti ispitnog dijela.

Kako bi se odredilo je li promjena tlakova u ispitnom dijelu posljedica promjena temperature ili je prisutno propuštanje, za proračun se koriste jednadžbe ovisnosti volumena i tlaka (5-1) te tlaka i temperature (5-2) i (5-3).

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = V \left[\frac{D}{Et} (1 - \nu^2) + \frac{1}{B} \right] \quad (5-1)$$

odnosno

Za pridržane ispitne sekcije

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\gamma - 2(1 + \nu)\alpha}{\frac{D}{Et}(1 - \nu^2) + \frac{1}{B}} \quad (5-2)$$

Za nepridržane ispitne sekcije

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\gamma - 3(1 + \nu)\alpha}{\frac{D}{Et}(1 - \nu^2) + \frac{1}{B}} \quad (5-3)$$

- gdje su:

ΔV - promjena volumena vode (m³)

ΔP – promjena tlaka (bar)

ΔT – promjena temperature (°C)

V - volumen ispunjene cjevovoda (m³)

D - vanjski promjer cjevovoda (m)

E - Youngov modul elastičnosti za čelik (E= 2.07 X 10⁶ bara)

t - nominalna debljina stijenke (m)

ν - Poissonov koeficijent (za čelik, $\nu = 0.3$)

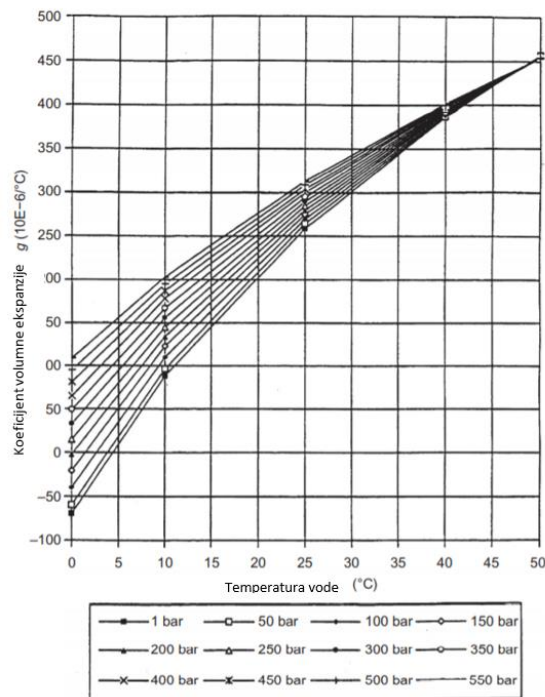
B - kompresibilnost vode (bar)

γ - koeficijent volumne ekspanzije vode ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

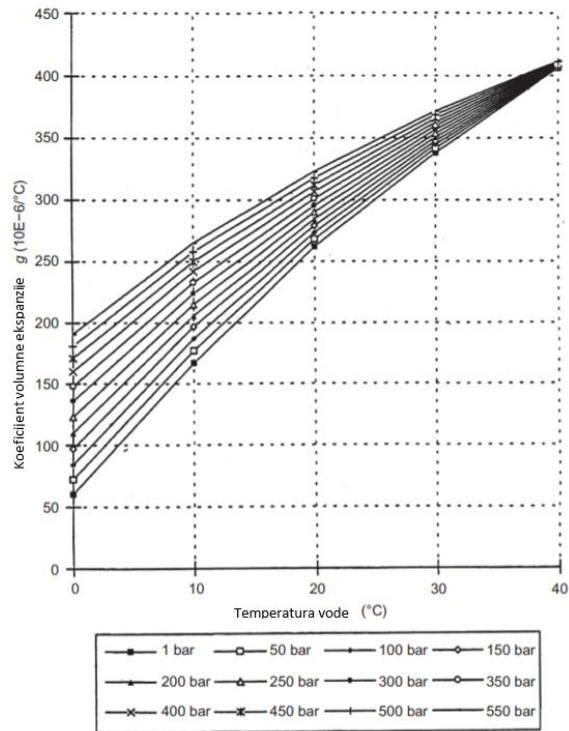
α - koeficijent linearnog širenja čelika ($\alpha=1.17 \times 10^{-5}$) ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Napomene:

1. Nadzemni ispitni odjeljci ako nisu usidreni, pripadaju u nepridržane
2. Za svježu vodu koeficijent volumne ekspanzije vode (γ) se mijenja pri niskim temperaturama zato što je gustoća vode najveća pri 4°C . Slike 5-2. i 5-3. prikazuju odnos temperature i koeficijenta volumne ekspanzije vode.

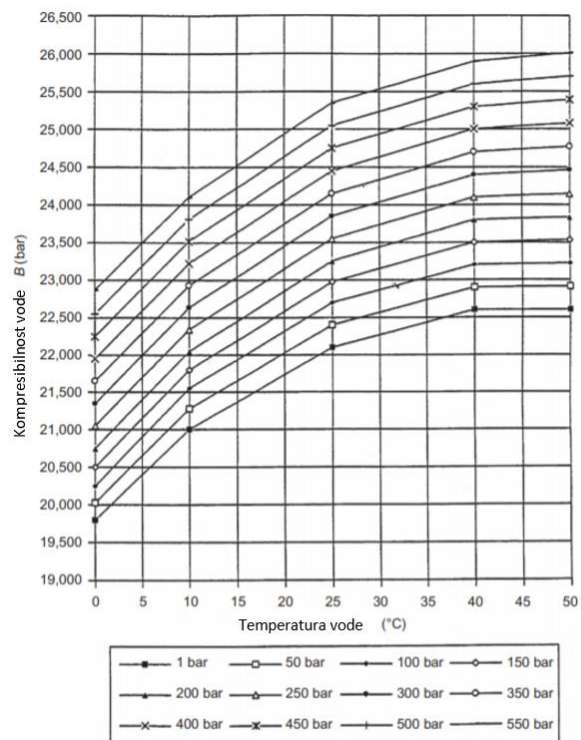


Slika 5–2. Koeficijent volumne ekspanzije slatke vode (Bahadori, 2017)

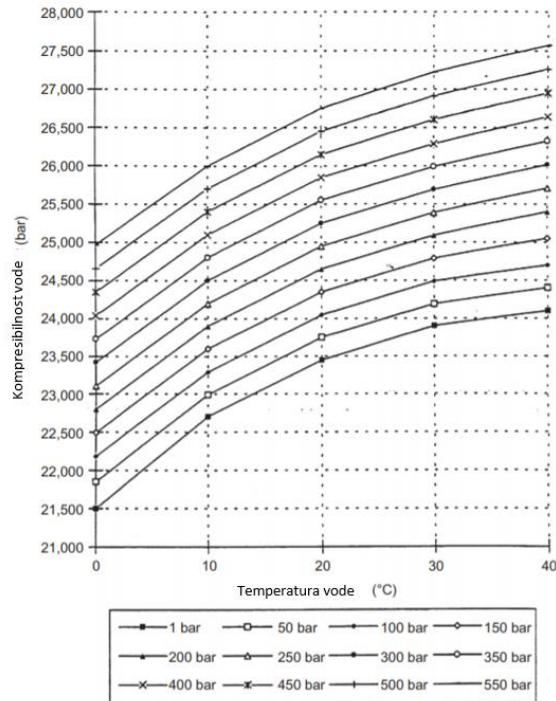


Slika 5–3. Koeficijent volumne ekspanzije morske vode (Bahadori, 2017)

3. Vrijednosti kompresibilnosti slatke i morske vode sa slike 5-4. i 5-5. mogu se koristiti za demineraliziranu vodu.



Slika 5–4. Kompresibilnost slatke vode (Bahadori, 2017)



Slika 5–5. Kompresibilnost morske vode (Bahadori, 2017)

4. Kompresibilnost vode (Slika 5-4. i 5-5.) je osjetljiva na promjenu temperature i na antifriz.
5. Kako bi se povećala preciznost, P/V dijagram bi trebalo izraditi do vrijednosti tlaka od 50 bara.
6. Ukoliko P/V krivulja nije postala linearna pri tlaku koji iznosi 50% od maksimalnog operativnog tlaka, potrebno je nastaviti povećavati do 35 bara ili ispitnog tlaka, odnosno manjeg od njih.

Na temelju jednadžbe (5-1) treba izračunati teoretski nagib krivulje i napraviti P/V dijagram prije početka tlačenja. Za proračun se koristi koeficijent kompresibilnosti vode kojom se ispunjava cjevovod pri prosječnoj temperaturi ispitnog dijela i pri tlaku od 35 bar. Tlak, temperatura ispitne sekcije i temperatura okoline trebale bi se bilježiti tijekom izvođenja ispitivanja nepropusnosti ispitne sekcije. Ispitivanje nepropusnosti cijevi prihvatljivo je ukoliko prema jednadžbama (5-2) i (5-3) bilo kakva promjena tlaka nastaje kao posljedica promjene temperature. Treba imati na umu da su moguće netočnosti mjerenja. U slučaju bilo kakvih nedoumica oko nepropusnosti cjevovoda zbog prisutnosti varijacija tlaka i temperature, ispitivanje treba ponavljati sve dok se ne dokaže prihvatljivost.

6. OŠTEĆENJA, POPRAVKI ILI OBNOVE I PONOVRNO ISPITIVANJE

Ako tijekom ispitivanja dođe do kvara opreme ili do promjena tlaka, izvođač treba obaviti temeljiti pregled cjevovoda, locirati, otkriti i popraviti sve kvarove na cijevi te ponovo ispuniti cijev vodom. Potrebno je provesti ispitivanje cjevovoda nakon popravka i stabilizacije temperature i/ili tlaka.

Ako se propuštanje pojavi u ispitnom dijelu, no ne dođe do smanjenja ispitnog tlaka na odgovarajućih 90% od minimalne granice tečenja, izvođač istog trena mora smanjiti tlak u cijevi na način da ispusti vodu iz ispitnog dijela. Raspon tlakova koji iznosi 70-90% od minimalne granice tečenja trebalo bi održavati dok se ne utvrdi mjesto propuštanja.

U slučaju malih propuštanja detekcija kvara može uključivati:

1. Detaljni pregled ispitivanog dijela cjevovoda;
2. Postupnu podjelu na odjeljke i protiskivanje vode kroz odjeljak;
3. Dodavanje aditiva u vodu;
4. Korištenje zvučne opreme.

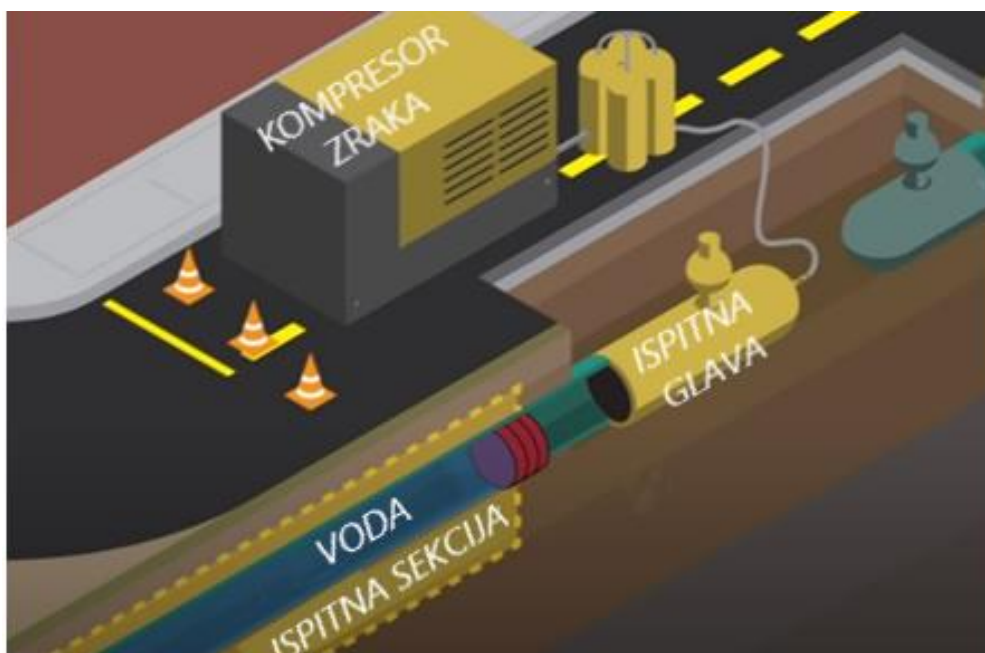
Neispravnu cijev treba ukloniti i označiti s obzirom na njenu orijentaciju u rovu, s približnom kilometarskom udaljenosti na kojoj se nalazila u cjevovodu te s opisom mjesta nastanka kvara. Kvar mora biti fotografiran kao dokaz.

Ako je neko oštećenje nastalo kao posljedica normalnog rada prilikom ispitivanja, izvođaču treba nadoknaditi opremu, materijale te vrijeme koje je radno osoblje potrošilo kako bi se: locirao, otkrio izvor i popravio kvar, odnosno kako bi se obložile i popravile cijevi, nadopunile vodom, odzračile, ponovo očistile te povećao tlak na razinu na kojoj je došlo do kvara. Ako su oštećenja posljedica izvođačevih aktivnosti, izvođač snosi sve troškove popravka.

Nakon popravka ili promjene dijela cjevovoda, potrebno je ponavljati hidrostatsko ispitivanje sve dok se ne postignu željeni rezultati. U takvim slučajevima potrebno je napraviti izvještaj o neispravnosti cjevovoda i uzrocima kvara.

7. ODVODNJAVANJE I SUŠENJE

Nakon što je završeno ispitivanje dijela cjevovoda potrebno je smanjiti tlak dok se ne spusti na manometarski tlak od 0 bar (najviše 1 bar) unutar ispitne sekcije. Za potrebe odvodnjavanja koriste se kompresor zraka i čistači. Kompresori trebaju imati dovoljan kapacitet da uklone vodu iz cjevovoda onom brzinom koju je propisao inženjer. Čistači od poliuretanske pjene također se koriste pri procesu uklanjanja ispitne vode. Na slici 7-1. može se vidjeti dio navedene opreme.



Slika 7–1. Oprema za odvodnjavanje i sušenje cjevovoda (SoCalGas, 2014)

Stupanj do kojeg se provodi uklanjanje vode iz ispitne sekcije ovisi o sredstvima koja se inače transportiraju cjevovodom. Kod transporta plina, uklanjanje vode i sušenje važnije je nego kod naftnih cjevovoda zbog smrzavanja vode te nastanka plinskih hidrata. Kod plinovoda može doći do korodiranja ukoliko nisu dovoljno suhi. Kao rezultat korodiranja nastaju velike količine crnog praha u plinovodu koji stvara smetnje prilikom rada plinovoda. Crni prah može nastati zbog vlažnosti plina. Zbog toga se prije transporta nastoji pojedinim metodama smanjiti vlažnost plina. Inženjer mora pažljivo odabrati metodu sušenja jer prilikom odabira metode mora uzimati u obzir točke rosišta za različite plinove te potrebnu razinu suhoće koju želi ostvariti.

Kako bi se postigla željena suhoća cijevi za transport plina moguće je koristiti kombinaciju dviju metoda; sušenje pomoću zraka i metanola. Prije procesa odvodnje izvođač ispitivanja mora se uvjeriti da su odvod i ventilacijski priključci postavljeni na lokacije koje su označene na shemi cjevovoda ili koje je inženjer definirao. Mora se uvjeriti da su pojedini privremeni priključci ili pregrade uklonjeni, određeni ventili i odvodi otvoreni te da nema zarobljene vode u niskim područjima, zavojima ili tijelima ventila. Čistači koji se koriste za potrebe odvodnje protiskuju se pomoću zraka kroz ispitni odjeljak. Kada je proces odvodnjavanja završen, izvođač upuhuje vrući zrak u odjeljak iz kojeg se ranije izbacivala voda kako bi u konačnici cjevovod bio potpuno oslobođen od vode i vlage.

Potrebno je pravilno obraditi i zbrinuti uklonjenu vodu. Pravilno odlaganje ispitne vode treba uključivati uklanjanje ili neutralizaciju inhibitora, hidrazina, amonijaka te magnetita iz ispitne vode prije nego ju ispustimo u okoliš. Nepravilno pročišćena voda mogla bi zagaditi rijeke, poljoprivredna polja ili otrovati stoku. Mjesto i brzinu odlaganja određuje inženjer. Međutim, za sve štete na javnoj imovini odgovoran je izvođač ukoliko su posljedica pogrešnog postupanja prilikom uklanjanja vode.

8. ODVODNJAVANJE I SUŠENJE CIJEVI ZA TRANSPORT PLINA

U većini slučaja za odvodnjavanje i sušenje cijevi se koristi stlačeni zrak. Postupak uklanjanja vode iz plinovoda provodi se kroz sljedeće korake:

1. Ako se odvodnjavanje odvija od mjesta za ubacivanje čistača do stanice za hvatanje čistača, trebalo bi ga obavljati tek nakon što su provedena hidrostatska ispitivanja na cijelom cjevovodu..
2. U slučaju da se uklanjanje vode odvija kao kontinuirana operacija, vodu bi trebalo nadomjestiti sklopom koji se sastoji od dva čistača s četiri košare. Prije operacije potrebno je osigurati da su svi čistači i njihove košare u zadovoljavajućem stanju. Između dva čistača protiskuje se određeni volumen metanola. Volumen doze koja se utiskuje određuje izvođač u skladu s propisanim dozama koji se nalaze u tablici 8-1.

Tablica 8-1. Potrebne količine metanola za odvodnjavanje 1 km plinovoda raznih dimenzija (Bahadori, 2017)

NPS	Promjer cijevi		Doza metanola (L)
	DN		
6	150		5.7
8	200		9.8
10	250		15.3
12	300		22
14	350		26.8
16	400		35.5
18	450		45.5
20	500		56.7
24	600		82.6
26	650		97.5
30	750		130.8
32	800		149.2
36	Nema ekvivalenta		187
40	1000		231
42	1050		254.7
48	1200		321.0
56	1400		341

3. Izvođač mora u skladu s uputama inženjera pravilno odložiti vodu koja izađe iz ispitnog dijela.
4. Ako izvođač odluči premjestiti ispitnu vodu iz jednog ispitnog dijela u drugi, odvodnjavanje treba obaviti odmah nakon što je hidrostatsko ispitivanje dovršenog ispitnog dijela dalo pozitivne rezultate. U tom slučaju izvođač mora osigurati svu potrebnu opremu, materijal te kompresor zraka.
5. Izvođač mora pripremiti i instalirati odgovarajuću cijev kako bi transportirao vodu iz cjevovoda.

Nakon izbacivanja vode slijedi sušenje plinovoda koje se provodi na sljedeći način:

1. Izvođač bi trebao kao kod odvodnjavanja pokrenuti sklop koji se sastoji od dva čistača koji imaju na sebi četiri košare (Slika 8-1.) te protisnuti dozu metanola između dva čistača. Volumen metanola koji se protiskuje mora odgovarati propisanom volumenu iz tablice 8-2.
2. Nakon prihvaćanja prvog sklopa čistača za sušenje i ostvarivanja atmosferskog tlaka u cjevovodu, izvođač treba ubaciti drugi identičan sklop čistača za sušenje. Ova praksa bi se trebala ponavljati dok se ne ostvari temperatura rosišta plina od $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Izvođač treba nastaviti upuhivati zrak ili plin kroz ispitnu sekciju sve dok ispitivanje zraka na izlazu ne potvrdi da je ispitna sekcija pravilno osušena. Za potrebe ispitivanja može se upotrijebiti i prirodni plin.



Slika 8–1. Čistač s četiri košare (Neustro Poly Products Private Limited, 2015)

Tablica 8-2. Potrebne količine metanola za sušenje 1 km plinovoda raznih dimenzija (Bahadori, 2017)

Promjer cijevi		Doza metanola (L)
NPS	DN	
6	150	3.8
8	200	6.5
10	250	10.2
12	300	14.7
14	350	17.9
16	400	23.7
18	450	30.3
20	500	37.8
24	600	55.1
26	650	65
30	750	87.2
32	800	99.5
36	Nema ekvivalenta	124.8
40	1000	154.2
42	1050	170
48	1200	214.6
56	1400	226.9

Dodaje se 0,2 L metanola za svaki metar kubni cjevovoda.

9. HIDROSTATSKO ISPITIVANJE NADZEMNIH CJEVOVODA

Ispitni tlak za hidrostatsko ispitivanje ukopanih cjevovoda treba primijeniti na nadzemni cjevovod, osim ako ne postoje druge smjernice. Postupak uključuje mjerenje, ispunjavanje vodom, ispitivanje na propuštanje, ispitivanje čvrstoće, čišćenje te postupke uklanjanja vode koji se obavljaju po istom principu kako je već ranije opisano. Za nadzemne cjevovode nije potreban radioaktivni ili akustični izvor kako bi se locirao čistač. Za ispitivanje nadzemnih cjevovoda nije nužan uređaj koji bilježi promjenu temperature.

Cijevi i spojevi ne smiju se premazivati prije završetka ispitivanja. Kako bi se moglo započeti s hidrostatskim ispitivanjem, svi nosači cijevi trebaju biti na odgovarajućem položaju te pravilno pričvršćeni. Slika 9-1. prikazuje nadzemni cjevovod koji se nalazi na pravilno postavljenim nosačima. Ne bi trebalo istovremeno ispitivati dugačke susjedne cijevi na mjestima gdje bi kombinirano opterećenje ispitne vode moglo premašiti izdržljivost nosača. U slučaju velike težine ispitnog medija mogu biti potrebni privremeni ili dodatni nosači za dodatnu potporu cjevovoda. Nakon isušivanja cjevovoda potrebno je ukloniti privremene nosače.



Slika 9–1. Nadzemni cjevovod (Javno vlasništvo, 2017)

10. HIDROSTATSKO ISPITIVANJE PLINOVODA ZAGREB - KARLOVAC

Hidrostatsko ispitivanje magistralnog plinovoda Zagreb-Karlovac (Slika 10-1.) izvodilo se prije puštanja plinovoda u rad. Na primjeru ovog plinovoda može se vidjeti utjecaj debljine stijenke plinovoda (Tablica 10-1.) i visinske razlike na odabir ispitnog tlaka cjevovoda.

Tablica 10-1. Ovisnost tlakova u plinovodu o debljini stijenke plinovoda (Despot, 2010)

Debljina stijenke plinovoda (mm)	Max. radni tlak plinovoda (bar)	Cijev ispitana u tvornici (bar)	Ispitni tlak plinovoda (bar)	Plinovod ispitan na tlak (bar)
7,9	75	96	93,75	96-100
9,5	75	116	93,75	96-100
11,1	75	136	112,5	96-100
14,3	75	174	112,5	96-100

Zbog različitih debljina stijenke plinovoda i visinskih razlika, plinovod je podijeljen na tri ispitne sekcije. Najmanja debljina stijenke (7,9 mm) diktira maksimalni dozvoljeni radni tlak cjevovoda. S obzirom da je postojana visinska razlika ako se povišeni dio cjevovoda podvrgne tlaku od 96 bar, dio cjevovoda na 40 m nižoj razini izložen je tlaku od 100 bar zbog visine stupca vode. Kako bi se cijev debljine stijenke 7,9 mm mogla izložiti tlaku od 100 bara moralo se dobiti odobrenje od proizvođača jer je cijev te debljine stijenke bila podvrgnuta tlaku od 96 bar u tvornici. Proizvođač cijevi je odobrio korištenje ispitnog tlaka pod uvjetima da:

1. Hidrostatsko ispitivanje izvodi kvalificirano osoblje u prisutnosti stručnjaka.
2. Hidrostatsko ispitivanje cjevovoda odgovara smjernicama radnih listova DVGW – G463 i 469.
3. Strojevi, aparati i instrumenti odgovaraju uvjetima ispitivanja i opremljeni su sigurnosnom opremom.

4. Manometri su baždareni odgovarajućom opremom i imaju važeći ispitni rok.

Prilikom ispitivanja cjevovoda koristila su se dva ispitna tlaka 25 i 50% veći od maksimalnog radnog tlaka s obzirom na debljinu stijenke i visinu na kojoj se određeni dio nalazi.

Nakon obavljenog hidrostatskog ispitivanja cjevovoda ispustila se voda iz njega. Koristio se komprimirani zrak kako bi se čistači za uklanjanje vode protisnuli brzinom od 1,5 m/s. Nakon uklanjanja vode montirani su svi mjerni instrumenti i uređaji koji nisu bili montirani tijekom ispitivanja. Potom se ispitivala nepropusnost tlačenjem plina pod maksimalnim radnim tlakom cjevovoda. Tijekom tlačenja plina premazivalo se spojeve sapunicom te na taj način tražilo potencijalno propuštanje.



Slika 10–1. Trasa magistralnog plinovoda Zagreb – Karlovac (Despot, 2010)

11. ZAKLJUČAK

Hidrostatsko ispitivanje uglavnom se koristi za provjeru čvrstoće i nepropusnosti cjevovoda koji se primjenjuje za transport tekućina i prirodnog plina. Za ispitivanje primjenjuju se posebne pumpe koje tlače vodu na tlak veći od maksimalnog operativnog tlaka cjevovoda. Ova metoda primjenjuje se i po nekoliko sati kako bi utvrdili da ne dolazi ni do kakvih propuštanja. Bilo kakve indikacije propuštanja ukazuju na potrebu za pronalaskom mjesta propuštanja i eventualnim popravkom. Nakon popravka cjevovod se ponovo ispituje. Ukoliko je hidrostatsko ispitivanje prošlo bez problema možemo pretpostaviti da se radi o ispravnim cijevima koje su dobro zavarene te imaju ispravne spojne elemente.

Prilikom hidrostatskog ispitivanja umjesto ugljikovodika, koji se inače transportira, koristi se voda kako bi se smanjila opasnost od potencijalnog zagađivanja okoliša prilikom propuštanja. Hidrostatsko ispitivanje je vrlo važno primjenjivati na sekcijama cjevovoda koje pucaju zbog utjecaja korozije ili dijelovima cjevovoda na kojima je primijenjeno uzdužno ili poprečno zavarivanje.

Pravilnik o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom visoke razine opasnosti definira vremenski razmak u kojem je neophodno obaviti tehnički pregled cjevovoda. Prilikom hidrostatskog ispitivanja cjevovoda provodi se postupak čišćenja cjevovoda. Čišćenjem cjevovoda povećava se transportni kapacitet.

Iako mu nije osnovna namjena, hidrostatsko ispitivanje također definira granice minimalnog i maksimalnog tlaka koji se može koristiti za procjenu izdržljivosti cjevovoda. Tlakovi se mogu izražavati kao postoci od predviđene granice tečenja.

12. LITERATURA

1. American Society of Mechanical Engineers (2000) *ASME B31.3-2000: Code for Pressure Piping*, American Society of Mechanical Engineers. New York.
2. American Society of Mechanical Engineers (2002) *ASME B31.4-2002: Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids*. American Society of Mechanical Engineers, New York.
3. American Society of Mechanical Engineers (2003) *ASME B31.8-2003: Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. American Society of Mechanical Engineers, New York.
4. BAHADORI A., 2017. *Oil and Gas Pipelines and Piping Systems: Design, Construction, Management, and Inspection*. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier
5. “Pravilnik o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom”. *Narodne novine* (Zagreb), NN 27 (2017).
6. “Pravilnik o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom visoke razine opasnosti”. *Narodne novine* (Zagreb), NN 75 (2020).
7. “Pravilnik o tlačnoj opremi”. *Narodne novine* (Zagreb), NN 79 (2016).
8. R. WINSTON REVIE, 2015. *Oil and Gas Pipelines Integrity and Safety Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
9. “Zakon o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika”. *Narodne novine* (Zagreb), NN 94 (2013).

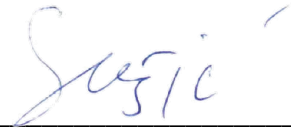
- **Web izvori:**

10. CALIFORNIA STATE ASSEMBLY, 2015. *Oil Pipeline Testing Methods*, URL: https://antr.assembly.ca.gov/sites/antr.assembly.ca.gov/files/Pipeline%20Hearing%2810%2021%2015%29_Testing%20Methods.pdf (27.7.2020.)
11. DESPOT N., 2010. *Kontrole i ispitivanja koje se provode prilikom građenja magistralnih plinovoda radi osiguranja sigurnosti i kvalitete*, URL: <http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali8/S-06.pdf> (11.9.2020.)
12. NEUSTRO POLY PRODUCTS PRIVATE LIMITED. *Steel Mandrel Discs and Cups*. URL: <https://www.neustroppl.in/steel-mandrel-discs-and-cups.html#unidirectional-two-cup-pig> (12.9.2020.)

13. ODEN-PLANTS Y., DUKE D., 2017. *Inspection and Maintenance of Crude Oil Transmission Pipelines in the Great Lakes-St. Lawrence River Region*, URL: <http://glslcrudeoiltransport.org/wp-content/uploads/2017/03/GLSLR-Oil-pipeline-inspection-maintenance-Sept2017.pdf> (27.7.2020.)
14. PXHERE. URL: <https://pxhere.com/en/photo/1081470> (29.5.2021.)
15. RONALD LANE INC., Hydrostatic Pipeline Testing. URL: <https://www.rli3.com/services/hydrostatic-pipeline-testing/> (7.6.2021.)
16. SOUTHERN CALIFORNIA GAS COMPANY. Hydrostatic Pressure Testing. URL: <https://www.socalgas.com/stay-safe/pipeline-and-storage-safety/hydrostatic-pressure-testing> (10.8.2020.)

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno temeljem znanja stečenog na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenim referencama.



Edis Sušić



KLASA: 402-04/21-01/61
URBROJ: 251-70-03-21-2
U Zagrebu, 07.06.2021.

Edis Sušić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 402-04/21-01/61, UR.BR. 251-70-12-21-1 od 13.04.2021. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

HIDROSTATSKO ISPITIVANJE CJEVOVODA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica

(potpis)

Prof. dr. sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)