

# MATERIJALI ZA IZRADU CJEVOVODA ZA TEHNIČKE PLINOVE

---

**Salopek, Sandi**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:338501>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PROIZVODNO STROJARSTVO

SANDI SALOPEK

**MATERIJALI ZA IZRADU CJEVOVODA  
ZA TEHNIČKE PLINOVE**

ZAVRŠNI RAD

**KARLOVAC, 2019.**

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PROIZVODNO STROJARSTVO

SANDI SALOPEK

**MATERIJALI ZA IZRADU CJEVOVODA  
ZA TEHNIČKE PLINOVE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Viši predavač:

Dr.sc. Tihana Kostadin

**KARLOVAC, 2019.**

	<b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> Trg J.J.Strossmayera 9 HR - 47000, Karlovac, Croatia Tel. +385 - (0)47 – 843-500 Fax. +385 - (0)47 – 843-503 e-mail: dekanat @ vuka.hr	Klasa: 602-11/18-01/____  Ur.broj: 2133-61-04-18-01	
	<b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA</b>	Datum:	

Ime i prezime	SANDI SALOPEK		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail	---		
Matični broj studenta			
JMBAG			
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<b>Xpreddiplomski</b>	specijalistički diplomski	
Naziv studija	STROJARSTVO		
Godina upisa	2013.		
Datum podnošenja molbe	16.09.2019.		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: MATERIJALI ZA IZRADU CJEVOVODA ZA TEHNIČKE PLINOVE	
Naslov teme na engleskom: TECHNICAL GAS PIPELINE MATERIALS	
<p>Opis zadatka: Nakon uvoda, u teorijskom dijelu rada opisati cjevovode za tehničke plinove, s posebnim naglaskom na materijale od kojih se izrađuju, konkretno bakar i nehrđajući čelik.</p> <p>U praktičnom dijelu rada, u suradnji sa tvrtkom GTG – PLIN Karlovac, napraviti analizu kemijskog sastava i mehaničkih svojstava bakra i nehrđajućeg čelika u konkretnoj primjeni, te ultrazvučno mjerenje debljine stjenke cijevi iz oba materijala. Napraviti analizu i zaključak. Rad urediti sukladno pravilima VUK.</p>	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **IZJAVA:**

Izjavljujem da sam ja – student Sandi Salopek, OIB: 87402483714, matični broj: 0110613080, upisan kao absolvent akademske godine 2019./2020., radio ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice Dr.sc.Tihane Kostadin i suradnji sa firmom GTG – plin Karlovac.

Karlovac, 13.12.2019,

Sandi Salopek

---

# **MATERIJALI ZA IZRADU CJEVOVODA ZA TEHNIČKE PLINOVE**

## **SAŽETAK:**

U ovom radu opisuju se cjevovodi za tehničke plinove. Opisuje se njihova primjena, način izrade te materijali od kojih se izrađuju. Objasnjeno je u kojim granama industrije se koriste cjevovodi za tehničke plinove i čemu oni služe. Ukratko su objašnjeni mediji, odnosno plinovi koji se transportiraju u cjevovodima za tehničke plinove. Opisan je način transporta, odnosno dijelovi koji su u sklopu samog cjevovoda da bi transport tehničkih plinova bio moguć. Izbor materijala se svodi na bakrene cijevi ili cijevi od nehrđajućeg čelika.

Napravljena je analiza bakrene cijevi promjera 18 mm te cijevi od nehrđajućeg čelika također promjera 18 mm, svojstva bakrenih cijevi i cijevi od nehrđajućeg čelika i ultrazvučno ispitivanje debljine stijenke na komadu bakrene cijevi kao i na komadu cijevi nehrđajućeg čelika. Na temelju ispitivanja i prakse donesen je zaključak o izboru određenog materijala za izradu cjevovoda u određenom slučaju koji se susreću u praksi.

**Ključne riječi :** *cjevovodi, tehnički plinovi, nehrđajući čelik, bakar.*

# ***TECHNICAL GAS PIPELINE MATERIALS***

## **SUMMARY:**

This paper describes pipelines for technical gases. It describes their application, the method of manufacture and the materials from which they are made. It is explained in which industries we meet the pipelines for technical gases and what purpose they serve. The media and gases transported in the pipelines for technical gases are briefly explained. The mode of transport, or parts that are within the pipeline itself, is described to make the transportation of technical gases possible. The choice of material comes down to copper pipes or stainless steel pipes.

An analysis was made of copper tubes with a diameter of 18mm and stainless steel tubes also with a diameter of 18mm, characteristics of copper tubes and tubes of stainless steel, and ultrasonic testing of wall thickness on a piece of copper tube as well as on a piece of stainless steel tube. On the basis of testing and practice, a conclusion was reached on the selection of particular pipeline design material in the particular case encountered in practice.

**Keywords :** *pipelines, technical gases, stainless steel, copper.*

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA I KRATICA .....	IV
1.UVOD .....	1
2.OPĆI DIO .....	2
2.1.Općenito o cijevima .....	2
2.1.1.Općenito o cjevovodima .....	2
3.CJEVOVODI ZA TEHNIČKE PLINOVE.....	4
3.1.Cjevovodi za prehrambene pogone.....	4
3.2.Cjevovodi za neprehrambene pogone.....	6
3.3.Tehnički plinovi .....	7
3.4.Način transporta tehničkih plinova unutar cjevovoda.....	8
4.PRAKTIČNI DIO .....	9
4.1.Izbor materijala za izradu cjevovoda.....	9
4.1.1.Bakrene cijevi .....	9
4.1.2.Podjela bakrenih cijevi .....	12
4.1.3.Analiza bakrene cijevi 18mm x 1,00mm .....	13
4.2.Cijevi od nehrđajućeg čelika .....	15
4.2.1.Analiza cijevi od nehrđajućeg čelika 18mm x 1,5mm.....	19
5.ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE DEBLJINE STIJENKE .....	21
5.1.Osnove ispitivanja ultrazvukom .....	21
5.1.1.Ultrazvučno ispitivanje debljine stijenke cijevi.....	23
5.1.2.Ultrazvučni uređaj General Electric DM 5 E.....	23
5.1.3.Sonda General Electric DA 501 EN.....	24
5.2.Rezultati mjerenja debljine stijenke ultrazvukom.....	24



5.3. Rezultati mjerenja debljine stijenke pomičnim mjerilom.....	25
6. ANALIZA REZULTATA.....	28
7.ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA .....	31

## POPIS SLIKA:

Slika 1. Regulator tlaka.....	4
Slika 2. Cjevovod od nehrđajućeg čelika .....	5
Slika 3. Izlazni regulator tlaka .....	5
Slika 4. Bakar cjevovod sa priključenim snopom boca dušika .....	6
Slika 5. Cjevovod od bakra .....	7
Slika 6. Tehnički plinovi u bocama.....	7
Slika 7. Bakrene cijevi.....	10
Slika 8. Cijevi od nehrđajućeg čelika .....	15
Slika 9. Najčešće veličine cijevi od nehrđajućeg čelika.....	18
Slika 10. Shematski prikaz ispitivanja ultrazvukom.....	22
Slika 11. Uređaj za ispitivanje debljine stijenke ultrazvukom.....	23
Slika 12. Pomično mjerilo.....	25
Slika 13. Komadi cijevi.....	27

## POPIS TABLICA:

Tablica 1. Prikaz karakteristika bakrenih cijevi .....	11
Tablica 2. Vlačna čvrstoća za bakrene cijevi .....	12
Tablica 3. Polumjeri savijanja R 290 (tvrdih) i R 250 (polutvrdih) cijevi .....	13
Tablica 4. Kemijski sastav bakar cijevi.....	14
Tablica 5. Analiza mehaničkih svojstava bakar cijevi .....	14
Tablica 6. Kemijski sastav cijevi od nehrđajućeg čelika.....	19
Tablica 7. Rezultati mehaničkih ispitivanja cijev od nehrđajućeg čelika .....	20
Tablica 8. Rezultati mjerenja bakrenih cijevi.....	24
Tablica 9. Rezultati mjerenja cijevi od nehrđajućeg čelika.....	25
Tablica 10. Rezultati mjerenja bakrenih cijevi pomičnim mjerilom.....	26
Tablica 11. Rezultati mjerenja debljine stijenke cijevi od nehrđajućeg čelika pomičnim mjerilom.....	26
Tablica 12. Rezultati mjerenja debljine stijenke ultrazvukom.....	28
Tablica 13. Rezultati mjerenja debljine stijenke pomičnim mjerilom.....	28
Tablica 14. Usporedba rezultata mjerenja ultrazvukom i pomičnim mjerilom.....	29

## POPIS OZNAKA I KRATICA:

<u>Oznaka i kratice</u>	<u>Jedinica</u>	<u>Opis</u>
$D$	mm	Promjer cijevi
$R_e$	N/mm <sup>2</sup>	Granica elastičnosti
$R_{p\ 0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	Granica razvlačenja
$R_{p\ 0,5}$	N/mm <sup>2</sup>	Granica razvlačenja
$R_{p\ 1,0}$	N/mm <sup>2</sup>	Granica razvlačenja
$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća
$A$	%	Produljenje
$s$		Standardna devijacija

# 1. UVOD

Cjevovod je skup cijevi povezan u cjelinu, odnosno sustav cijevi koji služi za transport robe, odnosno kapljevina i plinova, pa i sitnih čvrstih tvari. Postoje različite vrste cjevovoda kao što su cjevovodi za transport nafte, zemnog plina, vodovodni cjevovodi, cjevovodi za otpadne vode, cjevovodi za tehničke plinove i drugo. Za izradu cjevovoda koristi se širok spektar materijala od čelika različitog sastava i kvalitete, pa do betona, bakra i raznovrsnih polimera. Veličina cjevovoda može varirati od jako malih cjevovoda sa manjim promjerima i duljinama samog cjevovoda pa do cjevovoda velikih promjera i duljina koje se protežu kroz nekoliko država. U ovom će radu biti naglasak na cjevovode za tehničke plinove izrađene od nehrđajućeg čelika, te cjevovode izrađene od bakra.

U svrhu što kvalitetnijeg istraživanja problematike rada korišteni su različiti izvori podataka, od stručnih knjiga do internet stranica s područja strojarstva. Ovaj rad istražuje, proučava i analizira već postojeće podatke i napravljena mjerenja. Pri prezentaciji prikupljenih podataka korištene su znanstvene metode klasifikacije, indukcije, dedukcije, analize, deskripcije i kompilacije.

Ovaj završni rad čini sedam poglavlja. Prvo poglavlje rada je uvod. Drugo poglavlje rada se odnosi na opći dio o cijevima i cjevovodima, dok se treće poglavlje rada odnosi na cjevovode za tehničke plinove. Četvrto se poglavlje rada odnosi na izbor materijala za izradu cjevovoda, a peto se poglavlje odnosi na ultrazvučno ispitivanje debljine stijenke. Rad završava zaključkom i popisom korištene literature.

## 2. OPĆI DIO

### 2.1. Općenito o cijevima

Cijev je izduženo šuplje i na obje strane otvoreno cilindrično tijelo čija je duljina većinom puno veća od njegovog promjera. Najčešće služi za transport tekućina, para, plinova, te sitnih čvrstih tvari (žita, piljevine, pijeska, sitnog ugljena), a upotrebljavaju se i za izradu različitih konstrukcija. Upotrebljava se u djelatnosti brodogradnje, strojogradnje, građevinarstvu, industriji vozila i slično. [1]

U industriji koja se bavi tehničkim plinovima uglavnom se koriste cijevi izrađene od bakra i nehrđajućeg čelika. Različite industrije zahtijevaju različite materijale za izradu cjevovoda. Tako se primjerice u prehrani kao i u medicini zbog čistoće koristi nehrđajući čelik, dok se cjevovodi od bakra više koriste u metaloprerađivačkoj industriji.

#### 2.1.1. Općenito o cjevovodima

Prema namjeni se razlikuju sljedeće vrste cjevovoda :

1. Magistralni cjevovodi - većih su dimenzija te se koriste za transport sirovine na veće udaljenosti. Sastoje se od primopredajnih mjerno - regulacijskih stanica i potrošačke stanice. [2]
2. Razvodni cjevovodi - o kojima će biti riječ u ovom radu jer se u najvećem broju slučajeva transporta tehničkih plinova upotrebljavaju upravo razvodni cjevovodi. [2]

Prema najvećem dopuštenom tlaku razlikuju se sljedeće vrste mreža :

1. Niskotlačne mreže :
  - do maksimalno 0,1 bar
2. Srednjetačne mreže :
  - područje A od 0,1 bar do 1,0 bar

- područje B od 1,0 bar do 4,0 bar

3. Visokotlačne mreže :

- područje A od 4,0 bar do 16,0 bar
- područje B od 16,0 bar do 63,0 bar
- područje C od 63,0 bar do 100, bar

### 3. CJEVOVODI ZA TEHNIČKE PLINOVE

Cjevovodi za tehničke plinove obuhvaćaju skup cijevi, spojnice, ventila i regulatora u jednu cjelinu. Cjevovodi za tehničke plinove koje montira tvrtka GTG-plin spadaju u skupinu visokotlačnih cjevovoda, a izrađeni su od nehrđajućeg čelika ili od bakra. Promjeri cjevovoda se kreću u rasponu  $\varnothing$  8mm pa do  $\varnothing$  35mm. Slika 1 prikazuje regulator tlaka.



Slika 1. Regulator tlaka [16]

Kod izrade cjevovoda prvenstveno se gledaju zahtjevi koje on mora ispuniti, odnosno koji medij će transportirati, koju količinu medija te koliko će cjevovod imati izlaznih odnosno potrošnih mjesta. Primjena cjevovoda koje izrađuje GTG-plin varira od industrije do prehrane.

#### 3.1. Cjevovodi za prehrambene pogone

U prehrambenoj industriji se najčešće upotrebljavaju cjevovodi za transport ugljikovog dioksida (punionice gaziranih pića i slično). Također se koriste neke mješavine poput mješavine dušika i ugljikovog dioksida koja služi kod pakiranja različitih proizvoda kako bi se očuvala njegova svježina, odnosno spriječilo propadanje proizvoda. Cjevovodi u prehrani izrađuju su od nehrđajućeg čelika (slika 2).





Slika 2. Cjevovod od nehrđajućeg čelika [16]

Slika 3 prikazuje izlazni regulator tlaka. Cijevi se spajaju ili spojnicama sa dva prstena koja obuhvate cijev te se stezanjem uhvate oko cijevi i naprave nepropusan



Slika 3. Izlazni regulatori tlaka [16]

spoj. Druga mogućnost spajanja cijevi je da se TIG zavarivanjem na krajevima cijevi zavaruju konusne spojnice sa O-ringom pri čemu O-ring služi za brtvljenje.

### **3.2. Cjevovodi za neprehrambene pogone**

Kada su u pitanju cjevovodi kod neprehrambenih pogona uglavnom se radi o bravarskim radionicama gdje se rade cjevovodi za transport plinova koji služe za raznorazna rezanja, inertizaciju atmosfere i slično. Veliki broj kupaca koriste dušik i kisik kao medij za rezanje laserskim rezačicama. Prilikom projektiranja samog cjevovoda mora se uzeti u obzir potrošnja plina koju će korisnik imati. Po potrošnji se zatim određuje promjer cijevi koje će biti korištene u izradi, te se gleda hoće li se izvesti jednostruki cjevovod odnosno cjevovod koji nema zatvoreni tok ili će se izrađivati tzv. „kružni vod“ zatvoren u obliku „prstena“. Cjevovodi se uglavnom se izrađuju od bakra, dok je nešto manje cjevovoda od nehrđajućeg čelika. Slika 4 prikazuje bakar cjevovod sa priključenim snopom boca dušika.



Slika 4. Bakar cjevovod sa priključenim snopom boca dušika [16]

Slika 5 prikazuje cjevovod od bakra.



Slika 5. Cjevovod od bakra

Bakrene cijevi spajaju se tehnikom tvrdog lema.

### 3.3. Tehnički plinovi

Tehnički plinovi važan su dio gotovo svake industrije. Koriste se kod zavarivanja, inertizacije, konzerviranja, gorenja, pospješivanje gorenja, hlađenje, rezanje (laseri, plazme) i drugo. Slika 6 prikazuje tehničke plinove u bocama.



Slika 6. Tehnički plinovi u bocama [3]

Najčešći plinovi koji se transportiraju u cjevovodima za tehničke plinove su :

1. Argon (Ar)
2. Dušik (N<sub>2</sub>)
3. Kisik (O<sub>2</sub>)
4. Acetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)
5. Helij (He)
6. Vodik (H<sub>2</sub>)
7. Amonijak (NH<sub>3</sub>)
8. Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)

### **3.4. Način transporta tehničkih plinova unutar cjevovoda**

Cjevovodi rade na način da regulatori koji se stavljaju na početku, odnosno ulazu u cjevovod služe za podešavanje radnog tlaka plina, onog tlaka koji će biti prisutan u cjevovodu. Na regulator se priključuje posuda pod tlakom u kojoj je plin stlačen pod tlakom od 150, 200 ili 300 bara. Radni tlakovi se određuju prema potrebi potrošača, ali oni rijetko prelaze 30 bara. Također se koriste i regulatori na izlazima iz cjevovoda, odnosno na potrošnim mjestima, a čija je svrha precizno podešavanje izlaznog tlaka iz cjevovoda.

## **4. PRAKTIČNI DIO**

## 4.1 Izbor materijala za izradu cjevovoda

Prilikom izbora materijala za cjevovode tehničkih plinova potrebno je odrediti koji plinoviti medij će prolaziti cjevovodom, koji radni tlak je potreban, te samu primjenu plina, bilo da se radi o prehrani ili metaloprerađivačkoj industriji. Za tehničke plinove to su najčešće nehrđajući čelik i bakar.

### 4.1.1. Bakrene cijevi

Bakar je kemijski element koji u periodnom sustavu elemenata nosi simbol Cu, atomski (redni) broj mu je 29, a atomska masa mu iznosi 63,546. Gustoća bakra je  $8,92 \text{ g/cm}^3$ , a talište  $1083^\circ\text{C}$ . Bakar je materijal male tvrdoće, vrlo dobre toplinske vodljivosti i vrlo otporan na utjecaj korozije. Ne podnosi visoke temperature, jer mu se tada čvrstoća naglo smanjuje. [4]

Visoka električna vodljivost bakra i veća zastupljenost u Zemljinoj kori od srebra, čini idealnim za električne instalacije i elektroniku, što mu je i najvažnija komercijalna upotreba. Zbog pozitivnoga redoks potencijala bakar se ne otapa u razrijeđenim kiselinama (samo ga  $\text{HNO}_3$  nagriza) i kiselinama koje nemaju oksidacijsko djelovanje. Premda je redukcijski elektrodni potencijal bakra pozitivniji od vodika, on reagira samo s kiselinama koje imaju oksidacijsko djelovanje, odnosno s kiselinama koje uz vodik sadrže i element koji bakar može reducirati. [4]

Prednosti bakrenih cijevi su sljedeće :

1. Bakar je prirodan materijal koji se preporučuje čak i za transport pitke vode,
2. Cijevi od bakra imaju visoku toplinsku provodljivost i elektroprovodljivost,
3. Visoka otpornost na koroziju,
4. Otpornost na UV zračenje → nisu podložne utjecaju ultraljubičastog zračenja,
5. Sigurnost u upotrebi, ne stagneraju i ne gube svojstva,
6. Antibakterijsko svojstvo → svojim biološkim svojstvima dodatno štite kvalitetu pitke vode od razvoja i širenja raznih bakterija,
7. Bakrene cijevi podnose niske/visoke temperature → temperaturni raspon:  $- 200^\circ\text{C} / + 200^\circ\text{C}$ ,

8. Niski koeficijent trenja jer je unutarnja površina bakrenih cijevi vrlo glatka,
9. Visoka otpornost na unutrašnje tlakove i hidrodinamičke udare,
10. Bakrene cijevi nisu podložne prodiranju hidrokarbonata i kisika → nepropusnost na kisik,
11. Dugi vijek trajanja (donja granica postojanosti iznosi 50 godina),
12. Bakar je ekološki materijal koji se lako može reciklirati (100%),
13. Cijevi se lako i sigurno montiraju → mogu se savijati i oblikovati ručno ili pomoću alata, u hladnom i toplom stanju,
14. Atraktivnog su izgleda crveno-smeđe boje → bakar je danas popularan dekorativni element u sklopu industrijskog i rustikalnog stila,
15. Bakar ima izvrsnu otpornost na vatru i ne stvara otrovne pare kada je izložen vatri.

Bakrene cijevi proizvode se kao šavne ili bešavne. Slika 7 prikazuje bakrene cijevi.



Slika 7. Bakrene cijevi [5]

Šavne bakrene cijevi izrađuju se savijanjem bakrenog lima i tvrdim lemljenjem, dok bešavne bakrene cijevi izrađuju izvlačenjem. Debljina stijenke bakrene cijevi iznosi 0,8 do 2,5 mm. Bakrene cijevi su skuplje od čeličnih, ali je njihova ugradnja jednostavnija zbog njihove velike savitljivosti i time jednostavne prilagodbe oblika cijevi prostoru ugradnje. Za izradu cjevovoda tehničkih plinova tvrka GTG-plin upotrebljava odmašćene bakrene cijevi. Cijevi koje se koriste moraju biti u skladu sa normom EN1057 te moraju imati oznaku sukladnosti CE.

U praktičnoj primjeni prilikom montaže tvrtke GTG-plin najčešće se koristi bakrena cijev 18mm x 1,00mm i 22mm x 1,00mm. Tablica 1 prikazuje karakteristike bakrenih cijevi.

Tablica 1. Prikaz karakteristika bakrenih cijevi [6]

Promjer X stijenka d x s (mm)	Unutarnji promjer (mm)	Nominalna težina bakra (kg/m)	Vanjska površina plašta (m <sup>2</sup> /m)	Volumen (l/m)	Pakiranje		Radni tlak (bar)
					Duljina	Komada u pakiranju	
10 x 0,80	8,4	0,206	0,031	0,055	5m	500	96
10 x 1,00	8,0	0,252	0,031	0,050	5m	400	118
12 x 0,80	10,4	0,251	0,038	0,085	5m	400	79
12 x 1,00	10,0	0,308	0,038	0,079	5m	300	97
14 x 0,80	12,4	0,295	0,044	0,121	5m	300	67
14 x 1,00	12,0	0,363	0,044	0,113	5m	300	82
15 x 0,80	13,4	0,318	0,047	0,141	5m	300	63
15 x 1,00	13,0	0,391	0,047	0,133	3m & 5m	260	76
16 x 1,00	14,0	0,419	0,050	0,154	5m	240	71
18 x 0,80	16,4	0,385	0,057	0,211	3m	450	52
18 x 1,00	16,0	0,475	0,057	0,201	5m	200	62
22 x 0,90	20,2	0,531	0,069	0,320	5m	200	48
22 x 1,00	20,0	0,587	0,069	0,314	5m	150	50
28 x 0,90	26,2	0,682	0,088	0,539	3m	200	37
28 x 1,00	26,0	0,755	0,088	0,531	4m	200	39
28 x 1,50	25,0	1,111	0,088	0,491	4m	60	59
35 x 1,00	33,0	0,950	0,110	0,855	3m	100	31
35 x 1,50	32,0	1,405	0,110	0,804	4m	50	47
35 x 2,00	31,0	1,844	0,110	0,755	4m	50	64
42 x 1,00	40,0	1,146	0,132	1,257	3m	90	26
42 x 1,20	39,6	1,368	0,132	1,232	3m & 4m	90	31
42 x 1,50	39,0	1,700	0,132	1,195	4m	40	39
54 x 1,00	52,0	1,484	0,170	2,124	3m	60	20
54 x 1,20	51,6	1,771	0,170	2,091	3m & 4m	60	24
54 x 1,50	51,0	2,202	0,170	2,043	4m	60	30
54 x 2,00	50,0	2,908	0,170	1,963	4m	30	41
64 x 2,00	60,0	3,467	0,201	2,827	3m	25	34
66,7 x 1,20	64,3	2,198	0,210	3,247	5,8m	25	19
66,7 x 2,00	62,7	3,618	0,210	3,088	3m	25	33
76,1 x 1,50	73,1	3,129	0,239	4,197	5m	20	21
76,1 x 2,00	72,1	4,144	0,239	4,083	3m	20	29
88,9 x 2,00	84,9	4,859	0,279	5,661	4m	15	24
108 x 2,00	104,0	5,928	0,339	8,495	5m	10	20
108 x 2,50	103,0	7,375	0,339	8,332	4m	10	25

Navedeni promjeri i debljine stijenke bakrenih cijevi pokazali su se optimalnima za većinu instalacija koje tvrtka GTG-plin obavlja.

#### 4.1.2. Podjela bakrenih cijevi

Bakrene se cijevi dijele na (tablica 2) :

1. mekane,
2. polutvrde,
3. tvrde.

Tablica 2. Vlačna čvrstoća za bakrene cijevi [6]

<b>Podjela</b>	<b>EN1057 klasifikacija</b>	<b>Minimalna vlačna čvrstoća <math>R_m</math> (MPa)</b>	<b>Minimalno produljenje <math>A</math> (%)</b>
mekane	R-220	220	40
Polutvrde	R-250	250	20 do 30
tvrde	R-290	290	3

Bitno je odabrati bakrene cijevi koje ispunjavaju norme o kvaliteti. Oznakom CE dokazuje se da je proizvod ocijenjen i da ispunjava sve zahtjeve Europske unije u području sigurnosti, zdravlja i okoliša, dok oznaka oznaka EN 1057 jamči kvalitetu bakra propisanu od strane Europske Unije. Sadrži li cijev oznaku EU norme, ne morate brinuti oko debljine cijevi budući da je to jamstvo kvalitete. Ukoliko na cijevima nema oznaka koja potvrđuje ispunjavanje EU norme, treba birati cijevi s debljim stijenakama. U tom slučaju preporučljivo je kupiti cijevi koje na sebi imaju oznaku debljine otisnutu od strane proizvođača cijevi. [7]

Meku bakrenu cijev je vrlo lako savijati rukama, ali je visok rizik da će cijev biti pogrešno savijena, zato se često u tu svrhu upotrebljava savijačica za cijevi. Cijev treba saviti pažljivo, a zatim jednostavno ukloniti cijev pomoću metode rotacije. Cijev se može lagano saviti i koljenom pri čemu je veći radijus savijanja cijevi i manje vjerojatno da će cijev biti previše savijena.

Cijev se u manjem promjeru može saviti samo ručnim savijačem cijevi, pri čemu treba okretati ručke u smjeru od 180 stupnjeva, zatim umetnuti cijev i podignuti ručku da oblikuje pravi kut s drugom ručkom. Polumjer savijanja bez alata može biti 6 do 8



puta vanjski promjer, sa alatom za savijanje isporučenim od proizvođača, on se može smanjiti na 3 – 6 vanjskih promjera.

Osnovni je zahtjev kod mekih, polutvrđih i tvrdih ravnih bakernih cijevi da se u području savijanja ne stvaraju nedozvoljena suženja presjeka, gužvanja ili prelomi. Cijevi čija je tvrdoća R 250 (polutvrde) i R 290 (tvrde), mogu se savijati polumjerima savijanja kako je prikazano u tablici 3.

Tablica 3. Polumjeri savijanja R 290 (tvrdih) i R 250 (polutvrđih) cijevi [6]

Promjer cijevi (mm)	Polumjer neutralne osi R 290 (tvrde)	Polumjer neutralne osi R 250 (polutvrde)
15x1	55	55
18x1	70	70
22x1	-	77
28x1,5	-	114

Kod većih promjera cijevi trebaju se upotrebiti fitinzi.

#### 4.1.3. Analiza bakrene cijevi 18mm x 1,00mm

Prilikom dobave materijala proizvođač je dužan priložiti i pripadajuću dokumentaciju o materijalu. Dokumentacija sadrži ateste i certifikate dobavljene cijevi.

Kemijski sastav bakar cijevi prikazuje tablica 4. [8]

Tablica 4. Kemijski sastav bakrenih cijevi

Materijal	Cu-DHP
Klasifikacija	R-290
Dimenzije	18.00 – 1.00 – 5000
Sastav	Cu - 99,97%
	P - 0,0229%
Udio ugljika (mg/dm <sup>3</sup> )	0.05
Električna vodljivost (m/Ohm x mm <sup>2</sup> )	48.3 – 48.5

Tablica 5 prikazuje analizu mehaničkih svojstava bakrenih cijevi.

Tablica 5. Analiza mehaničkih svojstava bakrenih cijevi [8]

	Min	Max
Vanjski promjer (mm)	18.00	18.00
Ovalnost (mm+-)	0.04	0.04
Srednja debljina stijenke(mm)	0.90	0.90
Ekscentričnost (mm)	0.88	0.92
Unutarnji promjer (mm)	16.20	16.20
Granica razvlačenja $Rp_{0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	425	428
Granica razvlačenja $Rp_{0,5}$ (N/mm <sup>2</sup> )	429	431
Granica razvlačenja $Rp_{1,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	433	434
Vlačna čvrstoća $Rm$ (N/mm <sup>2</sup> )	436	438
Produljenje $A$ (%)	6	6

Prema pokazateljima u tablici 4 vidljivo je kako vanjski promjer bakrenih cijevi 18mm x 1,0mm iznosi 18mm, ovalnost iznosi 0.04mm, a srednja debljina 0.90mm. Ekscentričnost se kreće u rasponu od 0.88 do 0.92, dok unutarnji promjer iznosi 16.20mm. Granica razvlačenja  $Rp_{0,2}$  (N/mm<sup>2</sup>) kreće se u rasponu od 425 do 428, granica razvlačenja  $Rp_{0,5}$  (N/mm<sup>2</sup>) kreće se u rasponu od 429 do 431, dok se granica razvlačenja  $Rp_{1,0}$  (N/mm<sup>2</sup>) kreće u rasponu od 433 do 434. Vlačna čvrstoća kreće se u rasponu od 436 do 438 N/mm<sup>2</sup>, a produljenje je postojano i iznosi 6%. Ovaj se tip cijevi ubraja u tvrde bakrene cijevi.

## 4.2. Cijevi od nehrđajućeg čelika

Nehrđajući čelik ili korozijski postojani čelik je slitina željeza i najmanje 12% kroma, dok moderni nehrđajući čelici sadrže i do 30% kroma. Osim legiranja s najmanje 12% kroma, da bi čelik bio korozijski postojan (pasivan), mora biti ispunjen još jedan uvjet, a to je postojanje homogene monofazne feritne, austenitne ili martenzitne mikrostrukture s ciljem izbjegavanja opasnosti od nastanka područja s različitim elektropotencijalom od potencijala osnovne mase. [9]

Pored kroma, postojanost prema koroziji povećava se dodatkom nikla. Kombinacijom legiranja kromom i niklom razvijeni su čelici tipa 18/8 (18% Cr i 8% Ni), s austenitnom mikrostrukturom koji su otporni na djelovanje kiselina. Legiranje molibdenom omogućava lakše pasiviziranje, te poboljšava korozijsku postojanost i otpornost na jamičastu koroziju Cr-Ni čelika. Legiranjem jakim karbidotvorcima kao što je primjerice titanij ili niobij, omogućava se izbjegavanje pojave interkristalne korozije. Općenito vrijedi da skupina korozijski postojanih čelika mora sadržavati :

1. feritotvorce – Cr, Si, Al, Mo, Nb, Ti
2. austenitotvorce – Ni, Mn, (Co), Cu, N.

Cijevi od nehrđajućeg čelika visoke su tvrdoće i vrlo otporne na utjecaj korozije. Proizvode se šavne i bešavne. Cijevi od nehrđajućeg čelika legirane su kromom (Cr), niklom (Ni), molibdenom (Mo), a manje ostalim elementima pripadaju austenitnim nehrđajućim čelicima. Slika 8 prikazuje cijevi od nehrđajućeg čelika.



Slika 8. Cijevi od nehrđajućeg čelika [10]

Austenitni nehrđajući čelici uglavnom sadrže 0,02 - 0,15% ugljika, 16 - 24% kroma, 8 - 20% nikla, uz moguće dodavanje određene količine molibdena, titana, niobija, tantala, dušika. Glavna prednost ove skupine čelika je otpornost na

interkristalnu koroziju, a glavni nedostatak austenitnih čelika predstavlja sniženje granice razvlačenja zbog manjeg udjela ugljika. [11] Tablica 6 prikazuje najčešće korištene cijevi od nehrđajućeg čelika.

Svojstva austenitnih nehrđajućih čelika su sljedeća :

1. nemagnetični su,
2. nema mogućnosti usitnjavanja zrna,
3. veće su napetosti i deformacije tijekom zavarivanja nego kod feritnih čelika,
4. odlična plastičnost,
5. legiranjem s molibdenom, volframom i vanadijem postiže se dobra otpornost prema puzanju pri temperaturama iznad 600°C,
6. visoka žilavost, oksidacijska i korozijska otpornost,
7. visok odnos čvrstoća/masa,
8. dobra svojstva pri niskim temperaturama,
9. postojana austenitna struktura od "solidus" temperature do ispod sobne temperature,
10. kubično plošno centrirana kristalna rešetka osigurava visoku deformabilnost,
11. nisu skloni povećanju kristalnog zrna pod toplinom tijekom zavarivanja. [9]

Martenzitni nehrđajući čelici su legure temeljene na trojnom sustavu Fe-Cr-C. Martenzitni nehrđajući čelici, zbog potrebe zakaljivanja, imaju povišeni udio C (0,20 – 1,0%), te u pravilu iznad 13% Cr (do 18%). Mogu sadržavati i do 1,3% Mo i 2,5% Ni. Kod ovih čelika martenzitna mikrostruktura postiže se alotropskom modifikacijom austenita. Mikrostruktura se sastoji od ferita i karbida. Feromagnetični su i optimalna svojstva i korozijska postojanost postiže se kaljenjem na zraku ili u ulju naknadnim popuštanjem. Martenzitni čelici kristaliziraju iz taline u delta ferit, a zatim pri hlađenju prelaze u austenit, koji daljnim hlađenjem prelazi u martenzit.

Svojstva martenzitnih nehrđajućih čelika:

- osjetljivost prema vodikovoj krkosti posebno u sulfidnoj okolini,
- imaju lošu otpornost na udarni lom kod sniženih temperatura,
- u odnosu na feritne i austenitne nehrđajuće čelike imaju višu tvrdoću i čvrstoću te otpornost na trošenje,

- mogu se kaliti jer imaju transformaciju  $\gamma - \alpha$ ,
- imaju poboljšanu granicu razvlačenja i otpor puzanju pri povišenim temperaturama,
- obično se koriste u poboljšanom stanju.

Austenitno – feritni dupleks čelici se primjenjuju na mnogim mjestima zbog izvrsne korozijske postojanosti i vrlo dobrih mehaničkih svojstva. Zbog visokog udjela ferita oni su feromagnetični, imaju višu toplinsku vodljivost i nižu toplinsku rastezljivost od austenitnih čelika. Na mjestima gdje se traži visoka otpornost na napetosnu i rupičastu koroziju, bolji su izbor od austenitnih čelika. Od dupleks čelika se izrađuju konstrukcije koje su izložene koroziji jer posjeduju izvanrednu kombinaciju korozijske postojanosti i mehaničkih svojstava.

Svojstva austenitno-feritnih (dupleks) nehrđajućih čelika:

- povećana otpornost prema napetosnoj koroziji (poseban nedostatak austenitnih čelika) i utjecaju klorida,
- postojanost prema interkristalnoj koroziji je viša što je viši sadržaj ferita,
- bolja otpornost na opću i rupičastu koroziju u odnosu na austenitne nehrđajuće čelike,
- čvrstoća je također veća u odnosu na čvrstoću austenitnih čelika,
- teže se stvaraju karbidi  $Cr_{23}C_6$  (krom se otapa u feritu, a ugljik u austenitu),
- intermetalna sigma-faza može nastati u austenitu i feritu,
- primjena na povišenim temperaturama je moguća do maksimalno 250 – 350°C zbog pojave „krhkosti 475“ koja se javlja u dupleks čelicima u feritnoj fazi (po istom principu kao i kod feritnih čelika),
- magnetični su,
- temperatura primjene je između -50 i +350°C

Slika 9 prikazuje najčešće korištene cijevi od nehrđajućeg čelika, njihove promjere, debljine stijenke, te težinu cijevi po metru.

Promjer Diameter (mm)	DN	Promjer Diameter PLIN; GAS	Debljina u mm; Thickness in mm														
			0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,6	2	2,3	2,5	2,6	3		
2			-	0,019	0,021	0,024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5			-	<b>0,025</b>	0,029	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3			-	<b>0,032</b>	0,036	0,044	<b>0,050</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4			-	<b>0,045</b>	0,050	0,065	<b>0,075</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5			-	<b>0,060</b>	0,065	0,085	<b>0,100</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6			0,053	<b>0,069</b>	0,081	0,104	<b>0,125</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7			-	<b>0,085</b>	0,095	0,125	<b>0,150</b>	0,175	<b>0,210</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5			0,710	0,090	0,105	0,135	0,165	0,190	0,225	-	-	-	-	-	-	-	-
8			0,076	<b>0,094</b>	0,111	0,144	<b>0,175</b>	0,204	<b>0,244</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
9			-	0,110	0,125	0,165	0,200	0,220	0,285	-	-	-	-	-	-	-	-
9,5			0,910	0,115	0,135	0,175	0,215	0,250	0,300	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6	1/8"	0,096	<b>0,119</b>	0,141	0,184	<b>0,225</b>	0,264	<b>0,319</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
12			0,116	<b>0,147</b>	0,171	<b>0,224</b>	<b>0,275</b>	0,325	<b>0,394</b>	0,428	<b>0,501</b>	-	-	-	-	-	-
13			0,126	0,157	0,186	0,244	<b>0,300</b>	0,355	<b>0,432</b>	0,469	0,551	-	-	-	-	-	-
14	8	1/4"	0,136	0,169	0,201	0,264	<b>0,326</b>	0,385	<b>0,470</b>	0,510	<b>0,601</b>	-	-	-	-	-	-
15			0,146	<b>0,182</b>	0,216	0,284	<b>0,351</b>	0,415	<b>0,507</b>	0,552	<b>0,651</b>	-	-	-	-	-	-
16			0,156	<b>0,194</b>	0,231	0,304	<b>0,376</b>	0,445	<b>0,545</b>	0,577	<b>0,701</b>	-	-	-	-	-	-
17,2	10	3/8"	-	-	-	0,329	0,406	0,481	<b>0,590</b>	0,625	<b>0,761</b>	0,858	-	-	-	-	-
18			-	-	-	0,345	<b>0,426</b>	0,505	<b>0,620</b>	0,657	<b>0,801</b>	-	-	-	-	-	-
19,05			-	-	-	0,366	0,452	0,536	0,659	0,699	0,854	-	-	-	-	-	-
20			-	<b>0,250</b>	-	0,385	<b>0,476</b>	0,565	<b>0,695</b>	0,737	<b>0,901</b>	-	<b>1,095</b>	-	<b>1,277</b>	-	<b>1,277</b>
21,3	15	1/2"	-	-	-	0,411	0,508	<b>0,604</b>	<b>0,744</b>	0,789	<b>0,967</b>	1,094	<b>1,177</b>	1,217	<b>1,380</b>	-	<b>1,380</b>
22			-	-	-	0,425	<b>0,526</b>	<b>0,625</b>	<b>0,770</b>	0,817	<b>1,002</b>	-	-	-	-	-	-
24			-	-	-	0,465	0,576	0,685	0,845	0,897	1,102	-	-	-	-	-	-
25			-	-	-	0,485	<b>0,601</b>	0,715	<b>0,883</b>	0,937	<b>1,152</b>	1,307	<b>1,409</b>	1,458	<b>1,652</b>	-	<b>1,652</b>
25,4			-	-	-	0,493	0,611	0,727	0,898	0,954	1,172	1,330	1,434	1,484	1,682	-	1,682
26,9	20	3/4"	-	-	-	0,523	0,649	0,772	<b>0,954</b>	1,014	<b>1,247</b>	1,417	<b>1,527</b>	1,582	<b>1,795</b>	-	<b>1,795</b>
28			-	-	-	0,545	<b>0,676</b>	<b>0,805</b>	<b>0,995</b>	1,058	<b>1,302</b>	1,480	1,596	1,654	1,878	-	1,878

Slika 9. Najčešće veličine cijevi od nehrđajućeg čelika [13]

Cijevi od nehrđajućeg čelika imaju vrlo široku primjenu u praksi, pa se tako primjenjuju se u prehrambenoj, kemijskoj, farmaceutskoj, tekstilnoj, filmskoj i foto industriji, industriji celuloze i papira, za izradu kućanskih aparata, za izradu ugostiteljske opreme, za proizvodnju kirurških i medicinskih instrumenata i slično.

#### 4.2.1. Analiza cijevi od nehrđajućeg čelika 18mm x 1,5mm

Norma proizvoda: EN 10357

Način proizvodnje: Hladno valjano, šavna cijev zavarena longitudinalno

Tablica 6. Kemijski sastav nehrđajućeg čelika 316L (1.4404) X2CrNiMo17-12-2 [13]

Broj serije	Kemijski element	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Ti	%N
	Zahtjevano	0,000 - 0,030	0,000 - 2,000	0,000 - 0,045	0,000 - 0,015	0,000 - 1,000	16,500 - 18,500	10,000 - 13,000	2,000 - 2,500	0,000 - 0,000	0,000 - 0,110
0532812	Utvrđeno	<b>0,022</b>	<b>1,020</b>	<b>0,030</b>	<b>0,001</b>	<b>0,290</b>	<b>16,680</b>	<b>10,040</b>	<b>2,040</b>	/	<b>0,046</b>

Tablica 6 prikazuje kemijski sastav cijevi od nehrđajućeg čelika.

Analizom kemijskog sastava utvrđeno je da je materijal u zadanim granicama traženog sastava. Kemijski sastav uzet je iz certifikata koje je proizvođač cijevi prilikom isporuke dostavio tvrtki GTG-plin.

Čelik AISI 316L\* je austenitni krom-nikal (Cr-Ni) čelik, legiran s molibdenom (Mo) koji mu povećava otpornost na koroziju. Nizak sadržaj ugljika ovog čelika osigurava mu otpornost prema interkristalnoj koroziji, jer se bez ugljika (maksimalno 0,03 % C) ne mogu stvarati kromovi karbidi. Koristi se na temperaturama do najviše 400 °C. Primjenjuje se u kemijskoj, prehrambenoj (mljekarstvu), i farmaceutskoj industriji. [15]

Od ovog se materijala često rade cjevovodi, spremnici, crpke, kućišta filtara, kućišta membrana na jedinicama reverzne osmoze i ultrafiltracije, izmjenjivači topline, itd. DIN standard pod usporednom oznakom AISI 316L (AISI 316L\*) ima dva nehrajuća čelika i to W.Nr. 1.4404 i W.Nr. 1.4435 koji se razlikuju prema masenom udjelu Mo i sadržaju delta ferita. [15]

Tablica 7. Rezultati mehaničkih ispitivanja cijev od nehrđajućeg čelika [13]

Testni uzorak		Vlačna čvrstoća N/mm <sup>2</sup> = MPa			
		Granica razvlačenja		Vlačna čvrstoća	Produljenje
		<i>R<sub>p0,2</sub></i>	<i>R<sub>p1,0</sub></i>	<i>R<sub>m</sub></i>	<i>A</i> %
		Zahtjevano	Min. - 190	Min. - 225	490-760
<b>T19050276</b>	Utvrđeno	<b>275</b>	<b>358</b>	<b>664</b>	<b>44</b>
<b>T19050277</b>	Utvrđeno	<b>263</b>	<b>349</b>	<b>659</b>	<b>44</b>

Tablica 7 prikazuje rezultate mehaničkih ispitivanja cijevi od nehrđajućeg čelika. [13] U tablici 7 je vidljivo kako se za ispitni uzorak cijevi od nehrđajućeg čelika T19050276 granica razvlačenja  $R_{p0,2}$  iznosi 275 MPa, a  $R_{p1,0}$  iznosi 358 MPa, dok vlačna čvrstoća iznosi 664, a produljenje 44%. Za ispitni uzorak T19050277 se granica razvlačenja  $R_{p0,2}$  iznosi 263 Mpa, a  $R_{p1,0}$  iznosi 349 MPa, dok vlačna čvrstoća iznosi 659 MPa, a produljenje također 44% kao kod prethodnog ispitnog uzorka. Može se zaključiti kao je od dva ispitna uzorka mehanički povoljniji ispitni uzorak T19050276. Mjerenja mehaničkih svojstava izvršio je proizvođač cijevi, te su certifikati sa rezultatima ispitivanja dostavljeni tvrtki GTG-plin prilikom isporuke cijevi.



## 5. ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE DEBLJINE STIJENKE

Ultrazvučna kontrola kvalitete materijala zasniva se na svojstvu ultrazvuka da se širi kroz homogene materijale i da se odbija na granici materijala različitih akustičkih osobina (otpornosti), odnosno od nehomogenosti (grešaka) u materijalu. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni valovi kroz materijal koji se kontrolira. Ako u materijalu postoji greška, iza nje će, ovisno o vrsti greške, ultrazvučni valovi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške). [14]

Ultrazvuk je vrsta mehaničkih valova frekvencije 20 kHz do 10 GHz, a kod ispitivanja materijala najčešće se koriste frekvencije od 0,5 MHz do 10 MHz. Iako postoje različite tehnike ultrazvučnog ispitivanja, u praksi se najčešće koristi metoda impuls, odnosno odjek i metoda prozvučavanja, pri čemu se koriste ravne i kutne ultrazvučne glave. Iako je ultrazvučna metoda posebno prikladna za otkrivanje grešaka tipa pukotina (ravninske ili planarne greške), ovom je metodom moguće detektirati i druge greške (uključke troske, plinske mjehuriće, mjehuriće u nizu). [14]

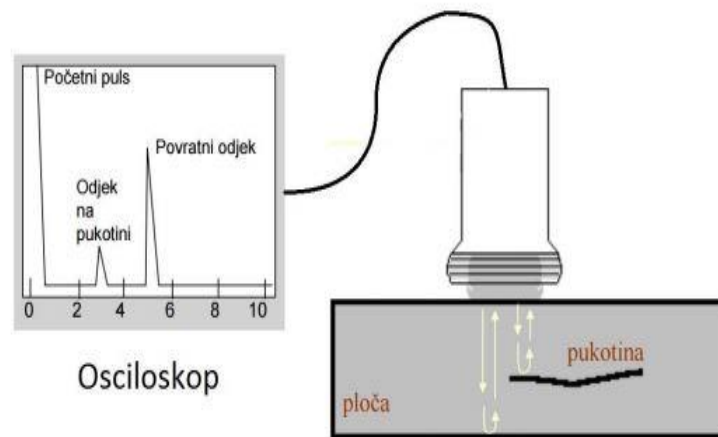
Prednosti ove metode su sljedeće :

1. područje debljina ispitivanog predmeta je neograničeno,
2. dovoljan je pristup predmetu kontrole samo s jedne strane,
3. provođenje kontrole je bezopasno i ne zahtijeva zaštitna sredstva,
4. osjetljivost metode je visoka,
5. pronalaženje pogrešaka jednostavno,
6. metoda je relativno neosjetljiva na uvjete okoline (temperatura, vlaga).

### 5.1. Osnove ispitivanja ultrazvukom

Ultrazvuk je zvuk s višim frekvencijama nego čujni zvuk. Kod čujnog zvuka broj titraja je ispod 16 000 titraja u sekundi, odnosno 16 kHz. To je granica između zvuka i ultrazvuka. Pod ultrazvukom se podrazumijeva mehaničko titranje s frekvencijom višom nego što je može čuti ljudsko uho. Zvučni valovi se šire pravocrtno i natraške (reflektiraju). U čujnom području se razlikuju titraji sinusnog tipa, a to su tonovi, i oni koji nisu sinusnog tipa, a to su šumovi. [14]

Materija je sastavljena od mnogo malih čestica koje su međusobno povezane silama (zamišljamo ih kao opruge), tako da se mogu gibati u svim pravcima oko prvobitnog položaja. Pomakne li se iz ravnoteže jedan od tih djelića materije, on se počinje gibati i predaje energiju susjednim djelićima. Energija se u materiji prenosi preko pojedinih čestica te materije. Broj titraja čestica materije u određenom vremenu govori da li se radi o čujnom ili o nečujnom zvuku. Slika 10 prikazuje shematski prikaz ispitivanja ultrazvukom. [14]



Slika 10. Shematski prikaz ispitivanja ultrazvukom [14]

U prirodi se razlikuju dva osnovna oblika valova :

1. elektromagnetski val,
2. zvučni (elastični) val.

Osnovna razlika između navedena dva osnovna oblika valova je ta što za širenje elektromagnetskih valova nisu potrebne molekule (mediji), dok je za širenje zvučnih valova medij potreban. Čovjek čuje zvučne valove niskih frekvencija od 16 do 16 000 titraja u sekundi (Hz). To je područje čujnog zvuka. Ispod i ispod (infrazvuk) ovog područja postoje titraji koji podliježu istim fizikalnim zakonima kao i čujni zvuk. [14]

### 5.1.1. Ultrazvučno ispitivanje debljine stijenke cijevi

Izvršeno je ultrazvučno ispitivanje stijenke na cijevima bakra i nehrđajućeg čelika. Mjerenja su izvršena uređajem GE Inspection Technologies DM5E. Mjerenja su izvršena na dvije različite cijevi od koje je jedna bakar promjera  $D=18$  mm debljine stijenke 1 mm dok je druga cijev od nehrđajućeg čelika također promjera  $D=18$  mm i debljine stijenke 1,5 mm.

Prilikom mjerenja na cijev je nanesen sloj gela koji je neophodan za provedbu ispitivanja ultrazvukom. Gel se koristi u svrhu lakšeg prijenosa ultrazvučnih valova sa sonde na ispitnu površinu, i obrnuto. Kontaktna sredstva imaju svrhu da strukturom i svojstvima što manje pridonose utjecaju na ultrazvučni impuls, a istodobno ne daju pristup nekom drugom mediju na kontaktnu površinu. Slika 11 prikazuje uređaj za ispitivanje debljine stijenke ultrazvukom.



Slika 11. Uređaj za ispitivanje debljine stijenke ultrazvukom

### 5.1.2. Ultrazvučni uređaj General Electric DM 5 E

Na slici 11 prikazan je ultrazvučni uređaj GE DM 5 E, s kojim su vršena mjerenja u debljine stijenke. Tehničke specifikacije uređaja:

- LCD zaslon sa mogućnosti B-prikaza
- raspon mjerenja debljina od 0.6 mm do 508 mm
- brzina ultrazvuka u materijalu od 0.508 mm/msec do 18.699 mm/msec.

### 5.1.3. Sonda General Electric DA 501 EN

Tehničke specifikacije sonde:

- dvostruka sonda
- frekvencija 5 MHz
- promjer kontaktne površine sonde 12 mm
- moguće mjerenje debljina od 1 mm do 200 mm.

### 5.2. Rezultati mjerenja debljine stijenke ultrazvukom

Tablica 8 i 9 prikazuju rezultate mjerenja. Na svakom od ispitnih uzoraka mjerilo se pet točaka na materijalu, odnosno cijevi.

Računata je standardna devijacija dobivenih rezultata.

$$s := \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Tablica 8. Rezultati mjerenja bakrenih cijevi

Materijal	Bakar Cu, D=18 mm
Mjerenje	Rezultat
1.	1,07 mm
2.	1,10 mm
3.	1,50 mm
4.	1,10 mm
5.	1,20 mm
Aritmetička sredina	1,27 mm
Standardna devijacija	± 0,1972 mm

Dobiveni rezultat nakon računanja standardne devijacije po formuli (1) iznosi 1,27 mm ± 0,1972 mm. Odstupanja u mjerenju vrlo su mala.

Tablica 9. Rezultati mjerenja cijevi od nehrđajućeg čelika

Materijal	Nehrđajući čelik 1.4404, $D=18$ mm
Mjerenje	Rezultat
1.	1,56 mm
2.	1,51 mm
3.	1,49 mm
4.	1,52 mm
5.	1,57 mm
Aritmetička sredina	1,53 mm
Standardna devijacija	$\pm 0,0339$ mm

Dobiveni rezultat nakon računanja standardne devijacije po formuli (1) iznosi 1,53 mm  $\pm$  0,0339 mm. Odstupanja u mjerenju vrlo su mala.

### 5.3. Rezultati mjerenja debljine stijenke pomičnim mjerilom

Pomično mjerilo korišteno za mjerenje je preciznosti 0,02mm. Slika 12. prikazuje pomično mjerilo korišteno za mjerenje.



Slika 12. Pomično mjerilo [16]

Tablica 10 prikazuje rezultate mjerenja debljine stijenke bakar cijevi sa pomičnim mjerilom.

Tablica 10. Rezultati mjerenja bakrenih cijevi pomičnim mjerilom

Materijal	Bakar Cu, $D=18$ mm
Mjerenje	Rezultat
1.	1,08 mm
2.	1,06 mm
3.	1,10 mm
4.	1,10 mm
5.	1,08 mm
Aritmetička sredina	1,08 mm
Standardna devijacija	$\pm 0,0173$ mm

Dobiveni rezultat nakon računanja standardne devijacije po formuli (1) iznosi 1,08 mm  $\pm 0,0173$  mm. Odstupanja u mjerenju vrlo su mala.

Tablica 11 pokazuje rezultate mjerenja debljine stijenke cijevi nehrđajućeg čelika pomičnim mjerilom.

Tablica 11. Rezultati mjerenja debljine stijenke cijevi od nehrđajućeg čelika pomičnim mjerilom

Materijal	Nehrđajući čelik 1.4404, $D=18$ mm
Mjerenje	Rezultat
1.	1,50 mm
2.	1,58 mm
3.	1,60 mm
4.	1,58 mm
5.	1,62 mm
Aritmetička sredina	1,57 mm
Standardna devijacija	$\pm 0,0461$ mm

Dobiveni rezultat nakon računanja standardne devijacije po formuli (1) iznosi 1,57 mm  $\pm 0,0461$  mm. Odstupanja u mjerenju vrlo su mala.

Mjerenja izvršena na istim komadima cijevi koji su korišteni za ispitivanje debljine stijenke ultrazvukom. Svaka od cijevi razrezana je na 5 mjesta te je na tim mjestima mjerena debljina stijenke. Slika 13 pokazuje izrezane komade cijevi.



Slika13. Komadi cijevi [16]

## 6. ANALIZA REZULTATA

Radi analize i usporedbe rezultata tablica 12 i tablica 13 prikazuju rezultate dobivene mjerenjem ultrazvukom (Tablica 12.) i rezultate mjerenja pomičnim mjerilom (Tablica 13.).

Tablica 12. Rezultati mjerenja debljine stijenke ultrazvukom

Materijal	Bakar Cu, $D=18$ mm	Nehrđajući čelik 1.4404, $D=18$ mm
Mjerenje	Rezultat	Rezultat
1.	1,07 mm	1,56 mm
2.	1,10 mm	1,51 mm
3.	1,50 mm	1,49 mm
4.	1,10 mm	1,52 mm
5.	1,20 mm	1,57 mm
Aritmetička sredina	1,27 mm	1,53 mm
Standardna devijacija	$\pm 0,1972$ mm	$\pm 0,0339$ mm
Rezultat	1,27 mm $\pm 0,1972$ mm	1,53 mm $\pm 0,0339$ mm

Tablica 13. Rezultati mjerenja debljine stijenke pomičnim mjerilom

Materijal	Bakar Cu, $D=18$ mm	Nehrđajući čelik 1.4404, $D=18$ mm
Mjerenje	Rezultat	Rezultat
1.	1,08 mm	1,50 mm
2.	1,06 mm	1,58 mm
3.	1,10 mm	1,60 mm
4.	1,10 mm	1,58 mm
5.	1,08 mm	1,62 mm
Aritmetička sredina	1,08 mm	1,57 mm
Standardna devijacija	$\pm 0,0173$ mm	$\pm 0,0461$ mm
Rezultat	1,08 mm $\pm 0,0173$ mm	1,57 mm $\pm 0,0461$ mm



Tablica 14. Usporedba rezultata mjerenja ultrazvukom i pomičnim mjerilom

Materijal	Bakar Cu, $D=18$ mm	Nehrđajući čelik 1.4404, $D=18$ mm
Mjerenje ultrazvukom	1,27 mm $\pm$ 0,1972 mm	1,53 mm $\pm$ 0,0339 mm
Mjerenje pomičnim mjerilom	1,08 mm $\pm$ 0,0173 mm	1,57 mm $\pm$ 0,0461 mm

Tablica 14 pokazuje usporedbu rezultata dobivenih mjerenjem debljine ultrazvukom i pomičnim mjerilom. Odstupanja u rezultatima su mala. Odstupanja kod mjerenja ultrazvukom dogodila su se zbog samog mjernog područja koje uređaj odnosno njegova sonda mjeri, a ono kreće od debljine 1 mm. Ispitni uzorci debljine su 1 mm i 1,5 mm. Odstupanje je dodatno pospješio i vrlo mali promjer cijevi koji iznosi 18 mm. Površina na koju naliže sonda ultrazvuka izrazito je zakrivljena. Radi provjere i usporedbe rezultata, izvršeno je i mjerenje pomičnim mjerilom kako bi se rezultati usporedili. Kemijski sastav i mehanička svojstva kod oba materijala su u granicama za koje garantira proizvođač cijevi.

## 7. ZAKLJUČAK

Ovisno o potrebama kupca odabire se način izrade cjevovoda, materijal za cjevovode te promjer cijevi s kojima će cjevovod biti izrađen. Ovisno o potrebi cjevovodi za tehničke plinove uglavnom su izrađeni od bakra ili nehrđajućeg čelika različitih promjera i debljine stijenke.

Izvršena je analiza bakrene cijevi promjera 18 mm gdje je naveden njen sastav i svojstva, također je izvršena analiza cijevi od nehrđajućeg čelika također promjera 18mm, mjerenje debljine stijenke na bakar cijevi promjera 18 mm i na cijevi od nehrđajućeg čelika također 18 mm, gdje je mjerena debljina stijenke u odnosu na debljinu koju proizvođač cijevi pri isporuci garantira. Kemijski sastav i mehanička svojstva također odgovaraju onim podacima koje daje i za koje garantira proizvođač.

Nakon analize rezultata zaključeno je da su odstupanja u mjerenjima vrlo mala, te su korišteni materijali pravi izbor za izradu cjevovoda za tehničke plinove.

## LITERATURA

- [1] "Cjevarski radovi u brodogradnji", Tehnički fakultet u Rijeci, [www.riteh.uniri.hr](http://www.riteh.uniri.hr), 2012.
- [2] "Plinarski priručnik 5. izdanje", Zagreb, 1995.
- [3] <https://salonavar.hr/kategorija-proizvoda/tehnicki-plinovi/>
- [4] <http://www.koval.hr/blogeky/minerali/minerali/bakar.html>
- [5] <https://www.exportersindia.com/yogi-metals/copper-pipe-4484450.htm>
- [6] HALCOR building-ENG-2018 katalog
- [7] <https://termometal.hr/blog/clanci/kvaliteta-bakrenih-cijevikoliko-je-bitna-i-kako-ju-prepoznati-31/>
- [8] Halcor metal works atesti
- [9] <http://www.serto-bel.hr/inox-opcenito/index.html>
- [10] <http://metalafrique.com/tubes-inox/>
- [11] "Specijalni čelici", skripta - Sveučilište u Zagrebu, [www.simet.unizg.hr](http://www.simet.unizg.hr), 2011.
- [12] <https://www.marinox.hr/media/1012/okrugle-savne-cijevi.pdf>
- [13] Siderinox INSPECTION CERTIFICATE EN 10204 3.1 N° 561292 of 30.05.2019
- [14] "Metode nerazornih ispitivanja" [www.fsb.unizg.hr](http://www.fsb.unizg.hr), 2012.
- [15] Brkić S., Priručnik: Nehrajući čelici u farmaceutskoj, prehrambenoj i kemijskoj industriji, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2007.
- [16] Interna dokumentacija GTG - plina