

# Ispitivanje stanja cjevovoda za transport vodika u rafineriji nafte

---

**Pokupčić, Tomislav**

**Professional thesis / Završni specijalistički**

**2012**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:851654>

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

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

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

**ISPITIVANJE STANJA CJEVOVODA ZA**  
**TRANSPORT VODIKA U RAFINERIJI NAFTE**

**ZAVRŠNI RAD**

**TOMISLAV POKUPČIĆ**

**ZAGREB, 2012**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**  
**POSLIJEDIPLOMSKI SPECIJALISTIČKI STUDIJ**  
**INŽENJERSTVA MATERIJALA**

**ISPITIVANJE STANJA CJEVOVODA ZA**  
**TRANSPORT VODIKA U RAFINERIJU NAFTE**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**  
**PROF. BOŽIDAR MATIJEVIĆ**  
**DR. SC. izv.**

**STUDENT:**  
**TOMISLAV POKUPČIĆ**  
**DIPL. KEM. INŽ.**

**ZAGREB, 2012**

**PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU:**

UDK: **622.6:665.7**

KLJUČNE RJEČI: **VODIKOVA KRHKOST,  
POLAZNI UZORAK, ŽARENI UZORAK,  
TVRDOĆA, ŽILAVOST**

ZNANSTVENO PODRUČJE: **TEHNIČKE ZNANOSTI**

ZNANSTVENO POLJE: **STROJARSTVO**

INST. U KOJOJ JE RAD IZRAĐEN: **INA D.D.,  
SEKTOR RAFINERIJA NAFTE SISAK**

MENTOR: **Prof. Dr.Sc. BOŽIDAR MATIJEVIĆ, izv.**

BROJ STRANICA: **81**

BROJ SLIKA: **21**

BROJ TABLICA: **19**

BROJ KORIŠTENIH  
BIBLIOGRAFSKIH JEDINICA: **19**

DATUM OBRANE: **27.06.2012.**

POVJERENSTVO:

- Prof. dr. sc. Frankica Kapor, izvanredni profesor,  
Zavod za kemiju, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Dr.sc. Milenko Stegić, redoviti profesor,  
Zavod za tehničku mehaniku, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- Dr.sc. Božidar Matijević, izvanredni profesor,  
Zavod za materijale, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

POSILIJEDIPLOMSKI STUDIJ: **INŽENJERSTVA MATERIJALA**

DATUM OBRANE: **27.06.2012.**

INSTITUCIJA U KOJOJ JE  
RAD POHRANJEN: **SVEUČILIŠTE U ZAGREBU,  
FAKULTET STROJARSTVA I  
BRODOGRADNJE, ZAGREB**

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se djelatnicima INA d.d. u Rafineriji nafte Sisak, a posebno Kontroli kvalitete i Proizvodnji na savjetima u izradi ovog stručnog rada. Također zahvala djelatnicima Zavoda za materijale na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu za provedena ispitivanja cjevovoda.

## **PREDGOVOR**

Zbog potrebe vodika kao sirovine izomerizacija benzina je povezana na proces katalitičkog reforminga. Vodik se kao sirovina za proizvodni proces izomerizacije benzina transportira u plinovitom stanju cjevovodom.

Vodik kao plinoviti medij zbog svoje najmanje molekulske mase najlakše difundira i, u reakciji sa zrakom, izaziva gorenje. Smjesa vodika i kisika, ako je dovoljno zagrijana spaja se i eksplodira uz oslobađanje velike količine topline. Također vodik kao medij spaja se i s ostalim spojevima, najčešće ugljikovodicima, koji su prisutni kod proizvodnog procesa u rafineriji nafte. Izlazak i izgaranje vodika u atmosferi koje se može pojaviti u ovom slučaju nije dopustivo i uvelike opasno za radno osoblje i opremu.

Zbog mogućnosti izlaska vodika iz cjevovoda u radu je opisano ispitivanje cjevovoda s kojim će se transportirati plinoviti vodik za proizvodni proces izomerizacije benzina u Rafineriji nafte Sisak.

## POPIS SLIKA

Slika 1.1 Prikaz oštećenja metala difuzijom vodika [1]	3
Slika 2.1. Grafički prikaz ovisnosti koeficijenta difuzije o temperaturi [2]	5
Slika 2.2 Dijagram promjene koeficijenta difuzije u ovisnosti o koncentraciji [2]	8
Slika 3.1 Dijagram promjene sadržaja legirajućih elemenata o graničnoj temperaturi [4]	15
Slika 3.2 Dijagram sadržaja legirajućih elemenata čelika u ovisnosti o graničnoj temperaturi i parcijalnom tlaku vodika [4]	16
Slika 3.3 Dijagram promjene lomne žilavosti čelika L290GA i L485GA o sastava medija [5]	18
Slika 3.4 Dijagram žarenja čelika [3]	20
Slika 3.5 Dijagram brzine propagacije pukotine u ovisnosti o amplitudi faktora intenziteta naprezanja pri dinamičkim opterećenjima za čelik L290GA i L485GA [6]	23
Slika 4.1 Izvještaj o tehničkoj kontroli cjevovoda	27
Slika 4.2 Slika cjevovoda u RNS [7]	28
Slika 4.3 Centrifugalni kompresor vodika 301-MC-1 [8]	29
Slika 4.4 Slika cjevovoda vodika [8]	31
Slika 4.5 Slika spoja postojećeg i novo izgrađenog cjevovoda [8]	32
Slika 4.6 Slika Foster Wheeler specifikacije cjevovoda	33
Slika 5.1 Slika uzorka cjevovoda	43
Slika 5.2 Mjerenje udarnog rada loma na Charpy-evom batu	44
Slika 6.1 Polazni uzorak uvećanje x50	46
Slika 6.2 Polazni uzorak uvećanje x100	46
Slika 6.3 Polazni uzorak uvećanje x200	47
Slika 6.4 Žareni uzorak uvećanje x50	48
Slika 6.5 Žareni uzorak uvećanje x100	48

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Vrijednosti koeficijenta difuzije, energije aktivacije i koeficijenta difuzije [2]	6
Tablica 2.2 Topljivost vodika u željezu kod različitih temperatura [3]	10
Tablica 2.3 Vrste oštećenja uslijed djelovanja vodika [3]	11
Tablica 3.1 Kemijski sastav čelika [5]	17
Tablica 3.2 Mehanička svojstva čelika pod povišenim tlakom vodika [5]	21
Tablica 3.3 Lomne žilavosti različitih kvaliteta čelika u ovisnosti o mediju i tlaku medija [5]	22
Tablica 3.4 Vrijednosti gornje granice temperature čelika kod parcijalnog tlaka vodika iznad 150 bara [4]	24
Tablica 4.1 Karakteristike kompresora 301-MC-1 [8]	30
Tablica 4.2 Karakteristike elektromotora [8]	31
Tablica 4.3 Usporedne oznake cjevovoda prema različitim standardima [10]	34
Tablica 4.4. Kemijski sastav čelika A53 Gr A [10]	34
Tablica 4.5. Mehaničke karakteristike čelika A53 Gr. A [10]	35
Tablica 4.6 Ispitni i projektni parametri cjevovoda [11]	36
Tablica 4.7 Radni ili pogonski uvjeti medija [11]	36
Tablica 4.8 Projektne vrijednosti sastava medija [11]	37
Tablica 4.9 Kemijska analiza sastava medija [11]	38
Tablica 5.1 Sastav tehničkog dušika [11]	42
Tablica 6.1 Rezultati ispitivanja tvrdoće	49
Tablica 6.2 Rezultati ispitivanja žilavosti	50

## POPIS PRILOGA

Prilog 1. Politika upravljanja zaštitom okoliša u Sektoru rafinerija nafte Sisak	54
Prilog 2. Politika upravljanja zaštite zdravlja i sigurnosti u Sektoru rafinerija nafte Sisak	56
Prilog 3. Norma upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti	58

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b>	<b>1</b>
<b>1. UVOD</b>	<b>3</b>
<b>2. PLINOVI I NEMETALNI UKLJUČCI U ČELICIMA</b>	<b>4</b>
2.1. Topljivost plinova u čelicima	5
3.2. Otapanje vodika	6
<b>3. ČELICI POSTOJANI PREMA VODIKU POD TLAKOM</b>	<b>12</b>
3.1. Fizikalne i kemijske osnove	12
3.1.1. Kemijski procesi i oštećenje uslijed prisustva vodika	12
3.1.2. Utjecaj kemijskog sastava	14
3.2. Mehaničke svojstva čelika za cjevovode za transport vodika	20
3.3. Razvoj i primjena čelika za izradu cjevovoda za transport vodika	24
<b>4. OPIS POSTROJENJA</b>	<b>26</b>
4.1. Opis cjevovoda vodika	26
4.1.1. Karakteristike cjevovoda	32
4.1.2. Karakteristike medija	36
4.2. Proračun naprezanja i stabilnosti cjevovoda	38
<b>5. EKSPERIMENTALNI DIO</b>	<b>41</b>
5.1. Ispitivanja cjevovoda vodika	41
5.1.1. Tlačno ispitivanje	41
5.1.2. Metalografsko ispitivanje	43
5.1.3. Ispitivanje žilavosti	44
5.1.4. Ispitivanje tvrdoće	45
<b>6. REZULTATI I DISKUSIJA</b>	<b>46</b>
6.1. Metalografski rezultati	46
6.2. Rezultati ispitivanja tvrdoće	49
6.3. Rezultati ispitivanja žilavosti	50
<b>7. ZAKLJUČAK</b>	<b>51</b>
<b>8. LITERATURA</b>	<b>52</b>
<b>9. ŽIVOTOPIS</b>	<b>53</b>



## SAŽETAK

U radu je opisan primjer primjene raznovrsnih ispitivanja radi procjene upotrebljivosti starog cjevovoda vodika koji se nakon dužeg perioda mirovanja stavlja u rad. Cjevovod je izgrađen i pušten u rad 1980 godine i kontinuirano se upotrebljavao do 1989 godine. U navedenom razdoblju rada cjevovod se rabio za transport plinovitog vodika s postrojenja katalitičkog reforminga KP-5 na postrojenje za proizvodnju aromatskih ugljikovodika (benzena, o-ksilena i p-ksilena) KP-7.

Osim prethodnog navedenog rada, cjevovod je ponovno stavljen u šestomjesečni rad s istom zadaćom u toku 1996. godine. Nakon toga cjevovod vodika nije se, do danas, upotrebljavao za transport nijedne vrste medija.

Tokom završetka 2010 godine cjevovod se ponovno stavlja u rad s istim zadatkom dobave plinovitog vodika kao sirovine za proizvodni proces izomerizacije na postrojenju KP-7.

Zbog navedene potrebe određivanja utjecaja vodika na mehanička svojstva materijala cjevovoda provedena su mehanička i tehnološka ispitivanjima a ispitana je i mikrostruktura.

Tlačnim ispitivanjem cjevovoda provedeno sa vodom ispitano je stanje cjevovoda vodika na mogućnost propuštanja plinovitog medija koji će se transportirati kroz cjevovod.

Metalografskim ispitivanjima ispitana je mikrostruktura materijala cjevovoda, na utjecaje erozije i korozije koji mogu dovesti do oštećenja cjevovoda.

Charpyevom metodom ispitana je žilavost materijala cjevovoda koja pokazuje da li je došlo do smanjenja žilavosti zbog difuzije vodika u unutrašnjost mikrostrukture tijekom ranijeg korištenja cjevovoda.

Također je provedeno ispitivanje tvrdoće materijala cjevovoda.

Krajem 2010. godine provedena su ispitivanja cjevovoda u:

- Rafineriji nafte Sisak, INA d.d. i
- u Zavodu za materijale, Laboratorij za mehanička ispitivanja materijala i Laboratoriju za metalografska ispitivanja Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Cilj stručnog rada bio je utvrditi postojeće stanje mehaničkih i tehnoloških svojstva materijala (žilavosti, tvrdoće, mikrostrukture itd.) cjevovoda u svrhu njegove ponovne sigurne i kvalitetne upotrebe za transport plinovitog vodika.

## SUMMARY

This paper describes the testing of pipelines for transport of hydrogen gas that is put into operation again after a long period of time. The pipeline was built and put into operation 1980 years and continued in use until 1989 year. In this period of the pipeline was used for the transport of gaseous hydrogen from catalytic reforming plant KP-5 on the plant for production of aromatic hydrocarbons (benzene, o-xylene and p-xylene) KP-7.

This pipeline put back in six months working with the same task during the 1996 year. After this pipeline has not, until now, used to transport any kind of media.

During the end of 2010 years the pipeline is put into operation again for supply of hydrogen gas as a feedstock for the production process of isomerization of plant KP-7.

Because of determining the influence of hydrogen on the mechanical properties of pipe materials were carried out mechanical and technological tests and test microstructures.

Pressure testing of hydrogen pipelines was done with water for the checking to the possibility of leakage of gaseous media outside of pipeline.

Metallographic test microstructure of the pipeline was done to see effects of erosion and corrosion that can damage the pipeline.

Charpyevom method was tested toughness of the material of the pipeline, decrease of toughness showing diffusion of hydrogen into the microstructure during the early use of the pipeline.

Also was done hardness testing piping materials.

Of the End 2010 year tests of pipelines were done:

- Refinery Sisak, INA dd and
- Department of Materials, Laboratory for Mechanical Testing and Materials Laboratory for metallographic examination of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb.

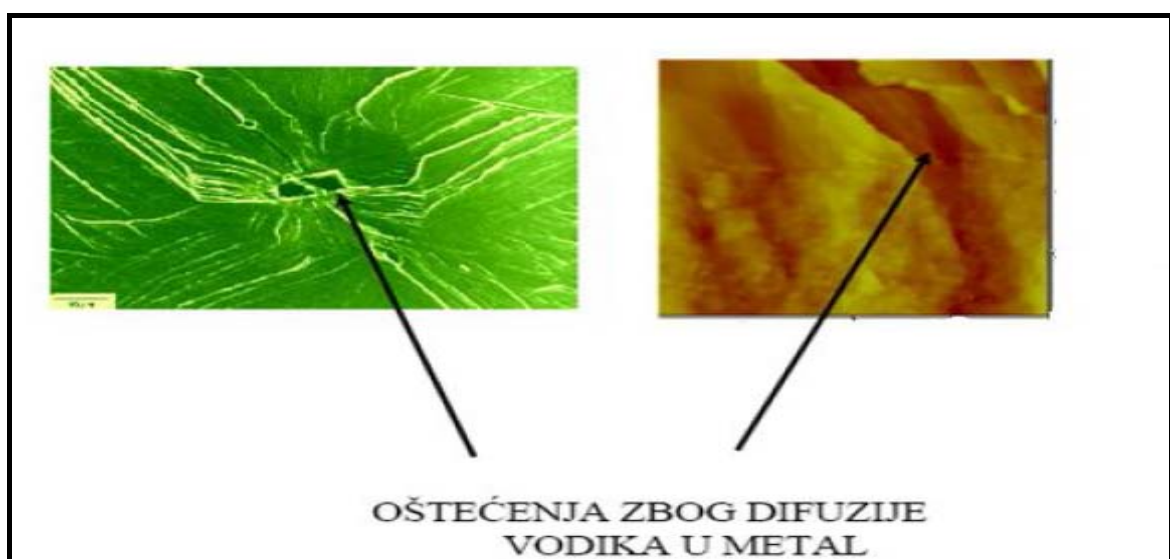
The aim of the expert study was to determine the current status of the mechanical and technological properties (toughness, hardness, microstructure, etc.) pipeline for quality and safe transport of gaseous hydrogen.

## 1. UVOD

Vodikova krhkost je specifična vrsta napetosne korozije čelika. Pojava je uzrokovana djelovanjem vodika koji može zaostati u kristalnoj rešetki materijala u tijeku proizvodnje, prerade, zavarivanja i naknadne apsorpcije iz plinovite ili tekuće faze. Oštećenja u materijalu koja nastaju zbog djelovanja atomarnog vodika nastaju kada koncentracija vodika dostigne kritičnu vrijednost u čeliku. Takva oštećenja u većini slučajeva uzrokovana su radnim naprežanjima i unutrašnjim napetostima u materijalu, a rezultiraju kao pojava krhkom loma, smanjenja žilavosti, pojave površinske mjehurićavosti, nastajanja hidrida itd.

Određivanje veličine oštećenja koje može jedino nastati ulaskom atomarnog vodika u strukturu materijala, provodi se iz uvjeta koji omogućavaju pristup atoma vodika površini materijala. Ti uvjeti su vodikova atmosfera prisustvo ili izdvajanja vodika koji je nastao korozijom, nagrivanjem ili elektrolizom [1].

Kod navedenih uvjeta, atomarni vodik s površine difundira u unutrašnjost materijala i zadržava se na mjestima grešaka u materijalu. Na mjestima grešaka dolazi do povećanja koncentracije što rezultira nastajanjem molekulskog vodika. Povećanje koncentracije molekulskog vodika rezultira povećanjem tlaka u unutrašnjosti materijala, što dovodi do pojave unutrašnjeg naprežanja i rezultira stvaranjem unutrašnjih mikropukotina (Slika 1).



Slika 1.1 Prikaz oštećenja čelika difuzijom vodika [1]

## 2. PLINOVI I NEMETALNI UKLJUČCI U ČELICIMA

### 2.1. Topljivost plinova u čelicima

Tijekom proizvodnje i upotrebe čelik dolazi u kontakt s topljivim plinovima. S obzirom na njihov utjecaj na kvalitetu čelika najvažniji plinovi koji se otapaju u rastaljenom i u krutom čeliku su kisik, vodik i dušik. Plinovi u čelicima mogu biti otopljeni u čvrstoj otopini ili u obliku različitih spojeva oksida, nitrída i drugih spojeva.

Otapanje plinova u čeliku višefazan je proces koji se sastoji od:

- a) prijenosa plina do površine,
- b) adsorpcije na površinu,
- c) prijenosa kroz površinu plin/čelik i
- d) unutarnje difuzije kroz čelik.

Topljivost plina predstavlja količinu plina koja kod normalnog parcijalnog tlaka ulazi u čelik. Topljivost raste s porastom temperature, a posebno iznad temperature taljenja čelika. Utjecaj temperature na topljivost plina izračunava se jednadžbom (2.1):

$$D = D_0 \times e^{-Q_d / RT} \quad (2.1)$$

gdje su:

$D$  -koeficijent difuzije u  $m^2/s$ ,

$D_0$  -koeficijent difuzije neovisan o temperaturi u  $m^2/s$ ,

$Q_d$  -energija aktivacije u  $J mol^{-1}$ ,

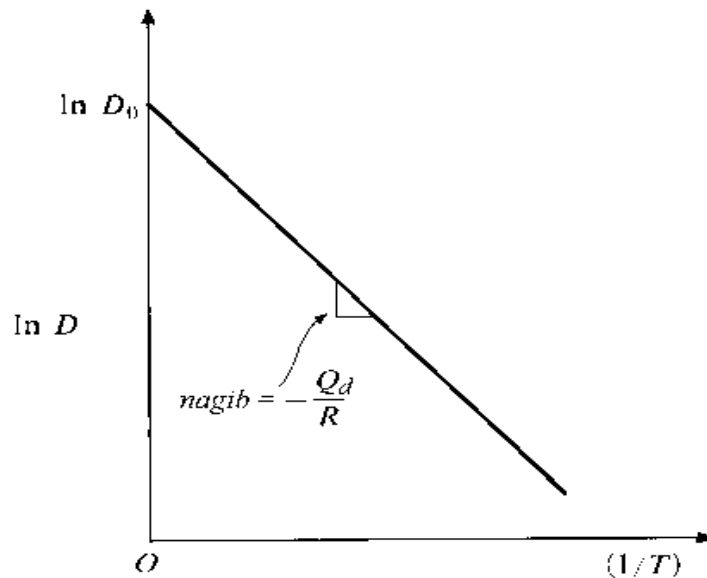
$R$  -opća plinska konstanta u  $J mol^{-1}K^{-1}$  i

$T$  -temperatura u K.

Logaritmiranjem jednadžbe (2.1) dobiva se:

$$\ln D = \ln D_0 - Q_d / R \times (1/T) \quad (2.2)$$

pošto su  $D_0$ ,  $Q_d$  i  $R$  konstante, jednadžba (2) se može pisati i kao jednadžba pravca  $y=ax+b$ , gdje su  $y$  i  $x$  jednaki varijablama  $\ln D$  i  $1/T$ . Grafički prikaz ovisnosti  $\ln D$  o  $1/T$  daje pravac čiji je odsječak na osi  $y$  jednak  $\ln D_0$ , a koeficijent smjera jednak  $-Q_d / R$  (Slika 2.1). To je način eksperimentalnog određivanja vrijednosti energije aktivacije  $Q_d$  i koeficijenta difuzije  $D_0$ .



Slika 2.1 Grafički prikaz ovisnosti koeficijenta difuzije o temperaturi [2]

Tablica 2.1 prikazuje koeficijente difuzije  $D_0$ , energije aktivacije  $Q_d$  i izračunati koeficijenti difuzije  $D$  za neke od važnijih osnovnih metala. Također možemo vidjeti da velika energija aktivacije rezultira malim koeficijentom difuzije i obrnuto.

Tablica 2.1 Vrijednosti koeficijenta difuzije, energije aktivacije i koeficijenta difuzije [2]

Tvar koja difundira	Osnovni metal	$D_0$ , $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	Energija aktivacije ( $Q_d$ ), $\text{kJ mol}^{-1}$	$\vartheta$ , $^{\circ}\text{C}$	Izračunate vrijednosti $D$ , $\text{m}^2\text{s}^{-1}$
Fe	$\alpha$ -Fe	$2 \cdot 10^{-4}$	241	500	$1,1 \cdot 10^{-20}$
				900	$3,9 \cdot 10^{-15}$
Fe	$\gamma$ -Fe	$5 \cdot 10^{-5}$	284	900	$1,1 \cdot 10^{-17}$
				1100	$7,8 \cdot 10^{-16}$
C	$\alpha$ -Fe	$6,2 \cdot 10^{-7}$	80	500	$2,3 \cdot 10^{-12}$
				900	$1,6 \cdot 10^{-10}$
C	$\gamma$ -Fe	$1,0 \cdot 10^{-5}$	136	900	$9,2 \cdot 10^{-12}$
				1100	$7,0 \cdot 10^{-11}$
Cu	Cu	$7,8 \cdot 10^{-5}$	211	500	$4,4 \cdot 10^{-19}$
Zn	Cu	$3,4 \cdot 10^{-5}$	191	500	$4,3 \cdot 10^{-18}$
Al	Al	$1,7 \cdot 10^{-4}$	142	500	$4,1 \cdot 10^{-14}$
Cu	Al	$6,5 \cdot 10^{-5}$	135	500	$4,8 \cdot 10^{-14}$
Mg	Al	$1,2 \cdot 10^{-4}$	131	500	$1,8 \cdot 10^{-13}$
Cu	Ni	$2,7 \cdot 10^{-5}$	255	500	$1,5 \cdot 10^{-22}$

Pernabilnost krutih metala prema plinovima određena je njihovom kristalnom strukturom. Npr. željezo- $\alpha$  ferit je propusnije za vodik nego željezo- $\gamma$  austenit jer prostorno centrirana kubična rešetka ferita ima veći razmak od površinsko centrirane kubične rešetke austenita. Praznine u željezo- $\gamma$  austenitu su šire što dovodi do veće topljivosti plinova nego kod željezo- $\alpha$  ferita. Zbog toga i legirajući kemijski elementi koji proširuju austenitno fazno područje (mangan, nikal, kobalt i dr.) povoljno utječu na topljivost plina. Legirajući kemijski elementi koji proširuju feritno područje (aluminij, silicij, krom, molibden i dr.) smanjuju topljivost plinova.

Dvoatomarni plinovi ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,) u tekućim i krutim metalima otapaju se u atomarnom obliku (2.3):



gdje je  $X$  -opći simbol za otopljeni plin.

Konstanta kemijske ravnoteže izračunava se omjerom (2.4):

$$K = [\%X]/(p_{x_2})^{0,5} \quad (2.4)$$

gdje je  $p_{x_2}$  - parcijalni tlak plina  $X$ .

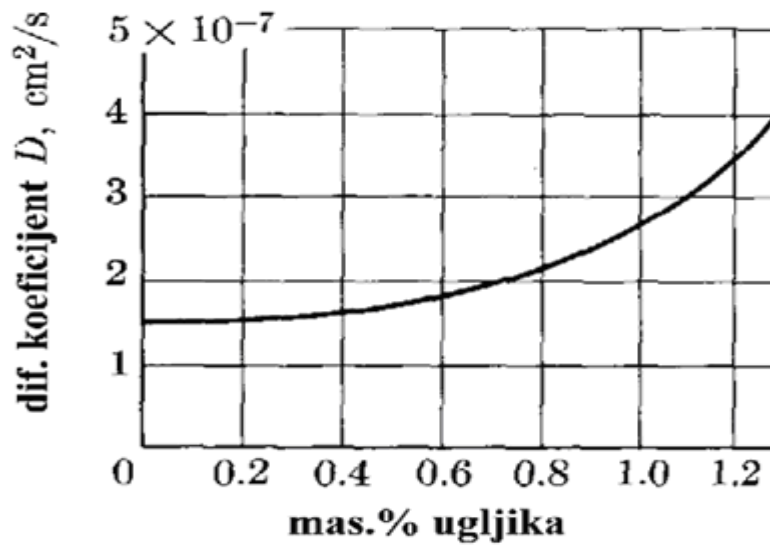
Za idealne otopine koncentracija plina  $X$  proporcionalna je drugom korijenu ravnotežnog tlaka plina (2.5):

$$[\%X] = k \times (p_{x_2})^{0,5} \quad (2.5)$$

gdje je  $k$  -konstanta.

Jednadžba (2.2) izražava promjenu difuzije samo o promjeni temperature, međutim eksperimentalnim ispitivanjem u praksi utvrđeno je da difuzija ovisio i o koncentraciji medija.

Slika 2.2 prikazuje promjenu koeficijenta difuzije ugljika kod temperature od 910 °C s promjenom njegove koncentracije u austenitnome čeliku [2]. Također iz dijagrama možemo vidjeti da se promjena koeficijenta difuzije smanjuje povećanjem masenog udjela ugljika u austenitnom čeliku. Koeficijent difuzije je značajno smanjen kod masenog udjela od 1,2 % C u austenitnom čeliku.



Slika 2.2 Dijagram promjene koeficijenta difuzije u ovisnosti o masenom udjelu ugljika [2]

Stalna prisutnost difuzije uvjetuje nam malu pogrešku u uzimanju konstantnog koeficijenta difuzije. Pogreška nastaje zbog razlike koncentracija tvari koju ne možemo isključiti jer se difuzija događa i u razrijeđenim otopinama s izrazito malim koncentracijama tvari. Bez obzira na činjenicu što kod pojedinih sustava koeficijent difuzije značajno ovisi o koncentraciji, eksperimentalno je dokazano da je pogreška u pretpostavci konstantnog koeficijenta difuzije izrazito mala te njegovo uzimanje kao konstantne vrijednosti ne dovodi do značajnih pogrešaka u matematičkom izračunavanju [2].

Promjena u kristalnoj strukturi, također može utjecati na promjenu brzine difuzije. Ova pojava posebno je izražena kod alotropske modifikacije željeza, gdje se difuzija atoma ugljika u feritnoj fazi približno sto puta brže odvija nego u austenitnoj fazi željeza. Također efekt koji utječe na brzinu difuzije je distorzija ili izduženje kristalne strukture, koje može nastati uslijed elastičnog ili plastičnog naprezanja u metalu. U većini slučajeva kod pojave izduženije kristalne strukture povećava se brzina difuzije [2].



Nečistoće ili prisutnost malih količina legirajućih elemenata obično ima relativno mali efekt na difuziju atoma otopljenih u osnovnom metalu. Zbog toga se može zaključiti, da jaki utjecaj legirajućih elemenata na povećanje tvrdoće čelika mora biti rezultat drugih faktora, a ne velikih promjena u brzini difuzije atoma ugljika [2].

Veličina zrna, s obzirom da je difuzija na granici zrna brža od one unutar zrna može se očekivati da će brzina difuzije biti veća kod fino zrnatog metala. Međutim, kod uobičajenih veličina zrna nije nužno da se kod računanja difuzijskih procesa uzme u obzir veličina zrna [2].

## 2.2. Otapanje vodika

Vodik u čeliku može biti u molekulskom i atomarnom obliku. Atom vodika ima najmanji promjer i najjednostavniju strukturu od svih kemijskih elemenata periodnog sustava. Zbog toga se unutar metala lako apsorbira kao intersticijski element ili kao disocirani  $H^+$ -ion. Vodik difundira 10 do 50 puta brže u strukturu metala od ostalih plinova, njegova topljivost u metalu raste porastom temperature i naglo se smanjuje pri prelasku metala iz tekućeg u kruto agregatno stanje kao i pri faznim promjenama.

Ovisnost topivosti vodika o temperaturi u rastaljenom željezu izražava se jednadžbom (2.6):

$$\ln[H] = -4348/T + 5,55 \quad (2.6)$$

Tablica 2.2 prikazuje promjenu topljivosti vodika u željezu promjenom temperature. Iz tablice se može vidjeti značajno povećanje topljivosti vodika promjenom iz krutog u tekuće agregatno stanje željeza.

Tablica 2.2 Topljivost vodika u željezu kod različitih temperatura [3]

Temperatura, °C	Topljivost vodika, cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /100 g Fe
20	10 <sup>-3</sup>
1536, kruto	6
1536, tekuće	27,5
1800	33
2500	42,5

Prisutnost primjesa (titan, cirkonij, cerij, lantal, volfram i dr.) u željezu povećava topljivost vodika jer se kod niskih temperatura zajedno s vodikom vežu u stabilne spojeve. Obrnuto ugljik, silicij i aluminij smanjuju topljivost vodika u željezu jer su njihove kemijske veze u željezu jače od veze željezo-vodik. Nikal, kobalt, mangan, molibden i krom kod malih koncentracija u željezu ne utječu značajno na topljivost vodika. Njihov je utjecaj na topljivost vodika u željezu značajan samo kod visokih koncentracija npr. kod visokolegiranih čelika [3].

Vodik je kao element u svim vrstama čelika nepoželjan jer može uzrokovati mnoga oštećenja čeličnih proizvoda. Tablica 2.3 prikazuje vrste oštećenja čelika pod danim navedenim uvjetima tlaka i temperature zbog djelovanja vodika.

Tablica 2.3 Vrste oštećenja uslijed djelovanja vodika [3]

Oblik oštećenja	Izvor vodika	Uvjeti	Početak oštećenja
Vodikova krhkost	Plinoviti vodik	Tlak vodika od $10^{-6}$ do $10^{-8}$ Pa	Na površini ili u unutrašnjosti
Vodikovo naponsko pucanje	Toplinski procesi, elektroliza, korozija	Sadržaj vodika od $(0,1-10) \times 10^{-4}$ %	Unutarnje pukotine
Gubitak plastičnosti pri razvlačenju	Plinoviti vodik,	Sadržaj vodika od $(0,1-10) \times 10^{-4}$ ovisno o tlaku vodika i temperature od $-100$ °C do $700$ °C	Na površini ili u unutrašnjosti ili samo unutrašnjosti
Mjhuričavost	H <sub>2</sub> S, korozija, plinoviti vodik	Ekvivalent aktiviteta vodika od 0,2 do $10^8$	Unutarnje greške
Vodikov napad	Plinoviti vodik	Tlak vodika do $10^8$ Pa	Na površini, međupovršina karbid/osnova
Pukotine	Para u kontaktu s rastaljenim željezom	Izlučivanje otopljenog vodika pri hlađenju	Unutarnje greške
Mikroperforacija	Plinoviti vodik	Tlak vodika od $(2-8) \times 10^8$ Pa i temperature od $20$ do $100$ °C	Nepoznat
Smanjenje plastičnosti	Plinoviti vodik	Sadržaj vodika od $(0,1-10) \times 10^{-4}$ % pri tlaku vodika od $10^8$ Pa, $T > T_{\text{tališta}}$	

Prekomjerna zasićenost čelika vodikom ili brzo skrućivanje čelika dovode do nastajanja manjih ili većih plinskih mjehura. Na greškama (praznine, nečistoće) unutar krutog čelika dolazi do rekombinacije vodika iz atomarnog stanja u molekularno stanje. Zbog velike brzine skrućivanja mjehuri vodika ne mogu brzo izaći iz taline i ostaju zarobljeni što ima za posljedicu nastajanje velikog unutarnjeg tlaka koji može biti veličine do  $10^5$  bara. Zbog pojave tako velikog unutarnjeg tlaka dolazi do nastajanja mikropukotina koje kasnije srašću u makropukotine u materijalu.

### 3. ČELICI POSTOJANI PREMA VODIKU

Postojanost čelika prema vodikom pod povišenim i visokim tlakovima je svojstvo koje omogućuje čeliku da u dodiru s medijem koji sadrži vodik pod povišenim i visokim tlakovima i temperaturama ne pokazuje sklonost razugljičenju i pucanju po granicama zrna. Od čelika ovo svojstvo najbolje pokazuju feritni čelici koji zadržavaju čvrstoću na povišenim i visokim temperaturama. Također njihov sadržaj ugljika je vezan kemijskim elementima kroma, molibdena i volframa koji poboljšavaju stvaranje karbida. Ukoliko postoji zahtjev za postojanost prema visoko temperaturnoj koroziji, mogu se upotrebiti visoko legirani čelici s više od 12 % Cr ili austenitni čelici [3].

#### 3.1. Fizikalne i kemijske osnove

##### 3.1.1. Kemijski procesi i oštećenje uslijed prisustva vodika

Vodik se otapa u čeliku u atomarnom stanju. Difuzija njegovog atoma u metal vrlo je brza u odnosu na ostale reakcije (adsorpcija, prijenos i dr.) i određena je količinom vodika na granici faza plin/čelik. Cijepanje molekule vodika kod vrlo visokih tlakova (viših od 2000 bara) u plinovima kod niskih temperatura je otežano. Zato u tom slučaju dolazi do oštećenja materijala vodikom. Obrnuto pri plastičnom oblikovanju čelika difuzija vodika je olakšana i nastaje kod malih tlakova. Zaluživanje i korozija u kiselinama kao i kod katodne zaštite, a posebno kod prisutnosti materijala koji sprječava rekombinaciju atoma vodika rezultira visokom koncentracijom vodikovih atoma na površini čelika.

Difuzijom vodika pri niskom konstantnom tlaku nakon prelaska granične temperature dolazi do razugljičenja čelika uz nastanjenje metana što ima za posljedicu difuziju ugljika zbog reakcije s vodikom (3.1) na graničnu površinu faze plin/čelik. Difuzija se izračunava iz jednadžbe kemijske ravnoteže (3.2):



$$K_1 = p(CH_4) / p^2(H_2) \times a_c \quad (3.2)$$

gdje je

$P_{CH_4}$  - parcijalni tlak metana,

$P_{H_2}$  – parcijalni tlak vodika i

$a_c$  – termodinamička aktivnost ugljika.

Također za razugljičenje dvofazne mikrostrukture (3.3) difuzija je dana jednadžbom kemijske ravnoteže (3.4):



$$K_2 = p(CH_4) / p^2(H_2) \quad (3.4)$$

gdje nam je termodinamička aktivnost  $a_{Fe} = 1$ , a aktivitet karbida konstanta.

U navedenim uvjetima difuzija se događa samo na površini, a nije prisutna u unutrašnjosti čelika.

Difuzija vodika u čelik može imati za posljedicu:

- a) porast krhkosti i
- b) poroznost mikrostrukture.

Porast krhkosti smatramo zatezanje kristalne rešetke uslijed djelovanja otopljenog atomarnog vodika, slično kao i u željezu otopljenog ugljika. Povećanjem poroznosti mikrostrukture dolazi zbog porasta tlaka koji nastaje radi rekombinacije atomarnog vodika u molekulski vodik u šupljinama u kristalnoj rešeci.

Poroznost mikrostrukture uzrokuje smanjenje čvrstoće zbog porasta tlaka smjese plinova atomarnog i molekulskog vodika. Navedena poroznost koja nastaje, vidljiva je samo svjetlosnim mikroskopom, a ovisi o čvrstoći materijala i o tlaku vanjske faze plina.

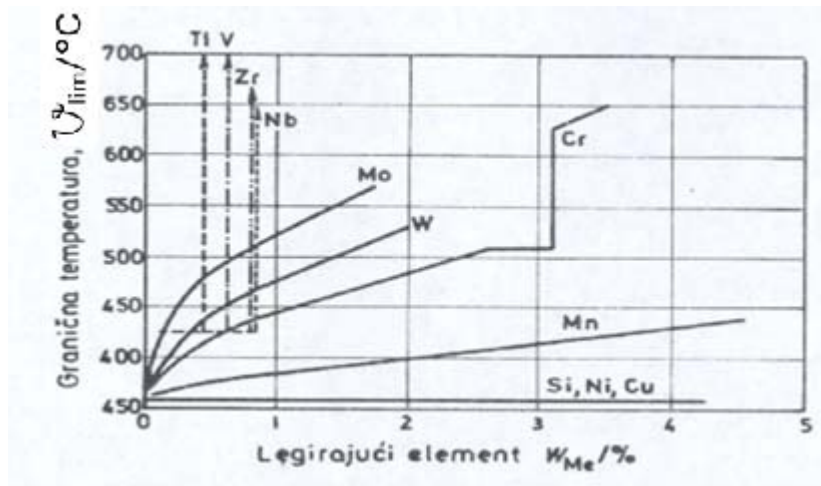
Poroznost mikrostrukture nastaje kod povišenja tlaka vodika što dovodi do pomicanja kemijske reakcije razugličenja s površine u unutrašnjosti čelika. Razugličenje koje se događa u unutrašnjosti čelika zbog nemogućnosti difuzije plinovitih produkata kemijske reakcije na površinu, rezultira njihovim nakupljanjem u mikrošupljinama, granicama zrna i sl. U unutrašnjosti materijala zbog nastajanja plinovitih produkata kemijske reakcije (vodik, metan) dolazi do povećanja tlaka. U slučaju kada tlak smjese plinova naraste iznad vrijednosti čvrstoće materijala i tlaka vanjske faze plina dolazi do nastajanja mikropukotina u materijalu. Nastale mikropukotine imaju za posljedicu smanjenje čvrstoće materijala.

### 3.1.2. Utjecaj kemijskog sastava

#### a) Čelika

Već spomenuti utjecaj vodika pri povišenim i visokim tlakovima na čelik rezultira oštećenjem čelika razugličenjem. Razugličenje dovodi do sniženja aktivnosti ugljika ili aktivnosti karbida u samome materijalu. To nam pokazuje da se oštećenja materijala može spriječiti upotrebom željeza s malim sadržajem ugljika ili legiranjem željeza s kemijskim elementima koji stvaraju karbide.

Slika 3.1 prikazuje dijagram čelika s različitim sadržajem legirajućih kemijskih elemenata (Mn,Cr,W,Zr,Si,Ni,Cu i Nb) koji su postojani na djelovanje vodika kod tlaka od 13,8 MPa ili 138 bara.

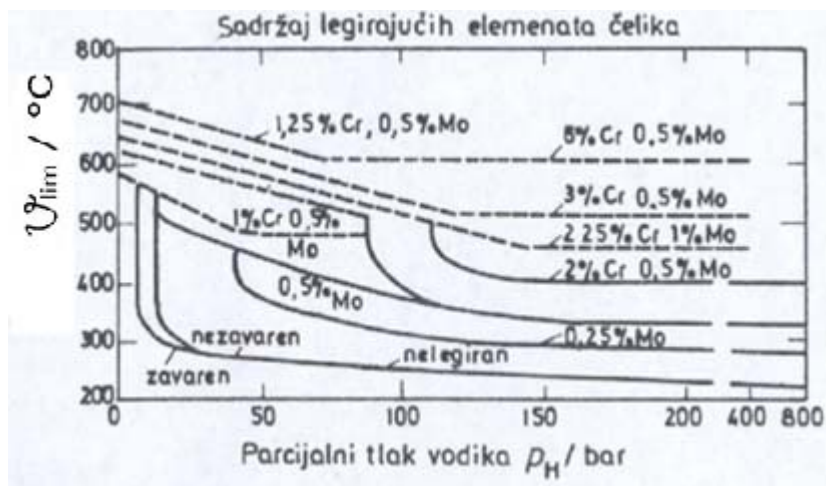


Slika 3.1 Dijagram promjene sadržaja legirajućih elemenata o graničnoj temperaturi [4]

Iz dijagrama možemo vidjeti da porastom udjela legirajućih elemenata (mangana, kroma, volframa i molibdena) koji sa željezom stvaraju miješane karbide različitog kemijskog sastava, stalno raste granična temperatura ispod koje ne nastaje unutrašnje razugljičenje. Također vidimo da legirajući kemijski elementi titan, vanadij, cirkonij i niobij značajno povisuju otpornost prema unutrašnjom razugljičenju čelika. U suprotnosti su nam legirajući kemijski elementi silicij, nikal i bakar koji ne vežu ugljik u karbide te zbog toga nemaju utjecaj na povećanje granične temperature. U proučavanju i ponašanju u pogonskim uvjetima prije svega materijala koji su razvijeni za upotrebu pri visokim temperaturama vodika pod tlakom, možemo saznati samo provođenjem dugoročnih ispitivanja.

Na slici 3.2 dijagram koji prikazuje rezultate takve vrste ispitivanja. Pune krivulje pokazuju granicu početka unutrašnjeg razugljičenja pri odgovarajućem parcijalnom tlaku vodika i graničnoj temperaturi.

U području prikazanih tlakova i temperatura koje nam obuhvaća gotovo cijelo područje primjene materijala, pune krivulje predstavljaju gornju granicu parcijalnih tlakova i temperatura materijala ispod kojih se ne događa oštećenje zbog djelovanja vodika.



Slika 3.2 Dijagram sadržaja legirajućih elemenata čelika u ovisnosti o graničnoj temperaturi i parcijalnom tlaku vodika [4]

Iscrtane krivulje na dijagramu prikazuju ograničene uvjete razugljičenja površine. Za niskolegirane čelike gornja dopuštena temperatura materijala može značajno ovisiti o tlaku vodika, a visoko legirani čelici postojani su pod svim pogonskim uvjetima. Iz dijagrama možemo zaključiti da je postojanost na vodik manja kod nelegiranog čelika sa zavarenim spojevima, od postojanosti nelegiranog čelika s nezavarenim spojevima. Čelik sa zavarenim spojevima ima manju postojanost, jer radi zavara sadrži greške vezanja, pore i uključke koji predstavljaju pogodna mjesta za napad vodika pod tlakom. Također iz dijagrama možemo zaključiti da u području visokih tlakova iznad 150 bara, promjena postojanosti razugljičenjem veoma malo ovisi o promjeni tlaka.

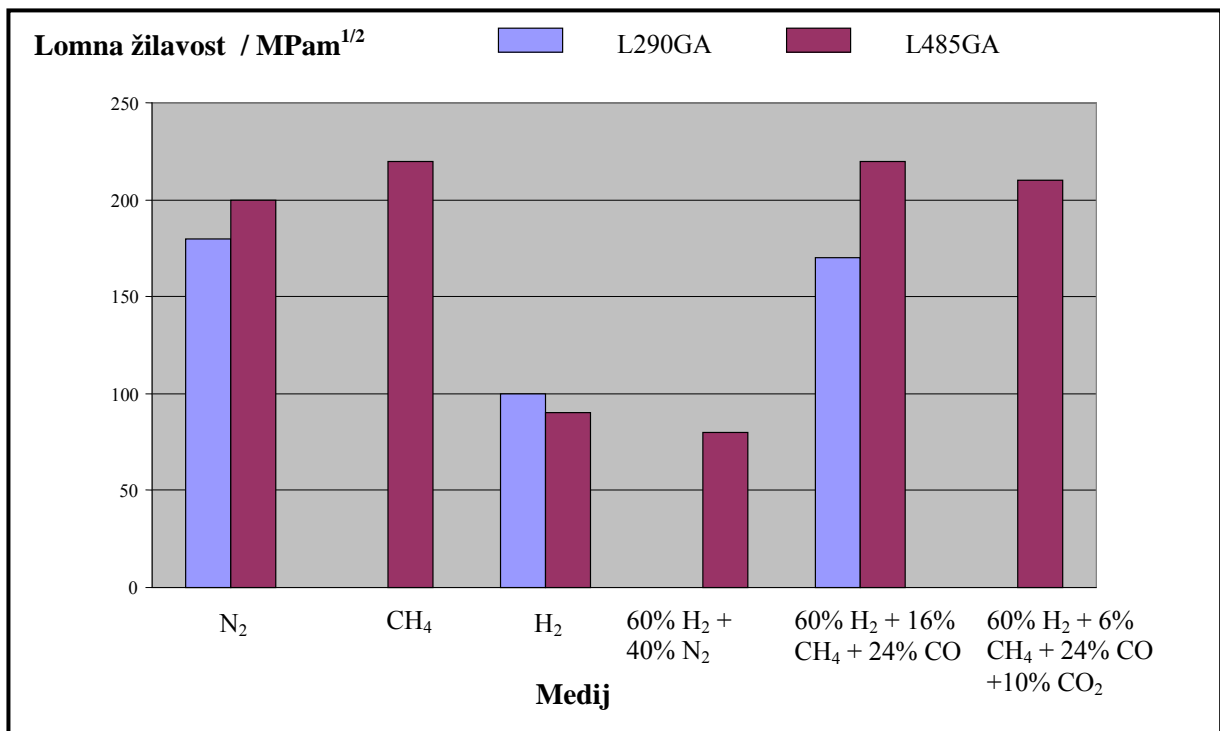
## b) Medij

Utjecaj kemijskog sastava plinovitog medija na oštećenje čelika razugljičenjem provedeno je ispitivanjem na čelicima L210GA i L485GA oznake standarda po HRN EN10208-1 normi. Kemijski sastavi čelika na kojima su provedena spomenuta ispitivanja navedeni su u tablici 3.1. Mehaničko svojstvo koje karakterizira žilavost čelika, a koja nam je glavni pokazatelj mogućnosti propagacije pukotina i nastanka loma zbog razugljičenja pod utjecajem plinovitog medija, izražava se kritičnim faktorom intenziteta naprezanja ili lomnom žilavošću  $K_{IC}$ .



Tablica 3.1 Kemijski sastav čelika [5]

ČELIK	C	Mn	P	S	Si
HRN EN 10028-2 P355GH	0,31	0,90	0,035	0,040	0,13
HRN EN 10016-4 C86D2	0,75-0,88	0,60-0,90	0,030	0,050	-
HRN EN 10208-1 L210GA	0,10	1,30	0,025	0,015	-
HRN EN 10208-1 L360GA	0,14	0,98	0,015	0,012	0,29
HRN EN 10208-1 L415GA	0,26	1,39	0,006	0,022	0,03
HRN EN 10208-1 L450GA	0,22	1,23	-	-	0,11
HRN EN 10208-1 L485GA	0,11	1,44	0,013	0,002	0,27
HRN EN 10016-4 C42D2	0,44	0,76	0,008	0,020	0,20
HRN EN 10028-2 P295GH	0,27	0,71	0,011	0,018	0,19



Slika 3.3. Dijagram promjene lomne žilavosti čelika X42 i X70 o sastava medija [5]

Slika 3.3 prikazuje utjecaj kemijskog sastava medija na lomnu žilavost  $K_{Ic}$  čelika L290GA i L485GA. Iz slike se može zaključiti da najveći utjecaj na smanjenje lomne žilavosti ima vodik ili smjesa vodika i dušika kod obje kvalitete čelika. Ovim primjerom zaključujemo da plin ugljik (II) oksid sprječava smanjenje žilavosti zbog utjecaja vodika jer onemogućuje ulazak vodika u čelik L290GA i L485GA. Također možemo zaključiti da sastav plinovitog medija ima značajan utjecaj na smanjenje mehaničkih svojstava čelika.

## C) Žarenje

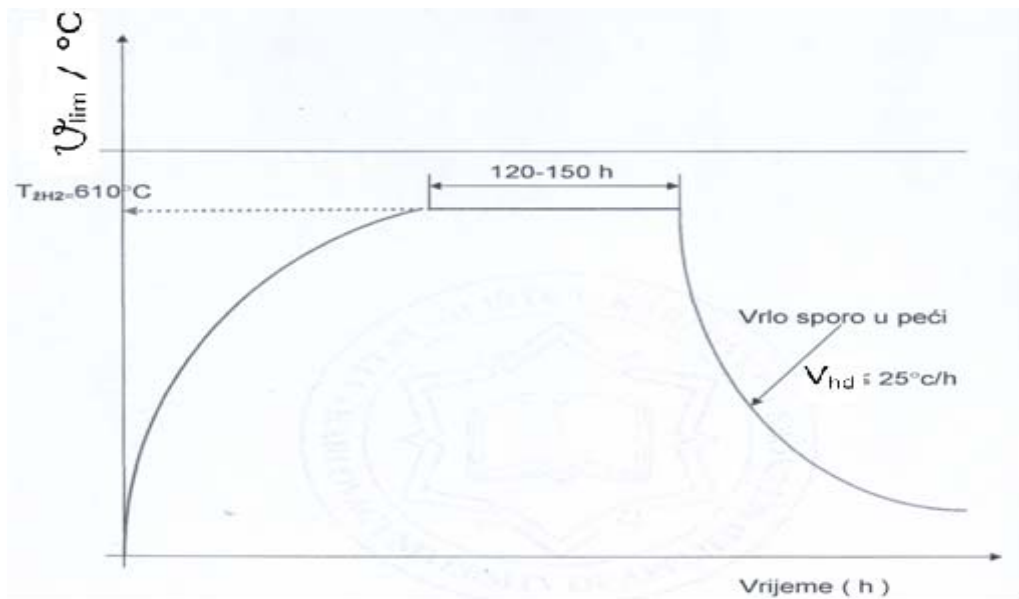
Vodiku se pripisuje pojava vrlo neugodnog defekta poznatog kao mikropukotine ili površinski blisteri. U proizvodnji čelika u fazi ohlađivanja dolazi do smanjenja topljivosti vodika u čeliku. Atomi vodika se spajaju u molekule koje nisu sposobne za difuziju i ostaju zatvorene na mjestu nastajanja u čeliku. Kako istovremeno imamo strukturna i toplinska naprezanja tim više prisutnost molekula vodika ukazuje na štetnost.

Naprezanja tako vezanog vodika su izuzetno visoka tako da mogu iznositi više od granice tečenja ili vlačne čvrstoće čelika, a to ima za posljedicu plastičnu deformaciju i nastanak loma čelika.

Šupljine ili mikropukotine najčešće se javljaju kod čelika koji sadrži krom i nikal, ali i kod ugljičnih čelika sa smanjenjima sadržajem ugljika [6].

Mjere za sprječavanje mikropukotina:

- a) držanje čelika poslije vruće prerade na temperaturi 350 °C (smatra se kritičnom temperaturom za stvaranje mikropukotina),
- b) vrlo sporo ohlađivanje u peći nakon vruće prerade,
- c) njihajuće žarenje oko  $A_1$  nakon vruće prerade,
- d) prekrivanje čelika izolacijskim pijeskom umjesto hlađenja na zraku,
- e) izotermno žarenje odmah iza kovanja,
- f) brzo hlađenje poslije kovanja do temperature oko 400 °C, a zatim izuzetno sporo ohlađivanje 1,5 °C/h do ispod 100 °C,
- g) žarenje da bi se omogućila difuzija vodika prema površini (Slika 7) i
- h) proizvodnja čelika u vakuumu.



Slika 3.4 Dijagram žarenja čelika [6]

Na slici 3.4 prikazan je postupak žarenja čelika za reakciju uklanjanja ili eliminacije vodika. Postupak se sastoji od zagrijavanja do temperature  $610^\circ C$ , zadržavanja na temperaturi  $610^\circ C$  u trajanju od 120-150 sati te vrlo sporog ohlađivanja u peći brzinom manjom od  $v_h < 25^\circ C/h$ .

### 3.2. Mehanička svojstva čelika za cjevovode za transport vodika

Istraživanja mehaničkih svojstava provedena pod povišenim i visokim tlakovima do 34,5 MPa ili 345 bara u atmosferi vodika na niskolegiranim i ugljičnim čelicima pokazuju koji čelici imaju veću otpornost na propagaciju pukotina i otpornost difuziji vodika [7].

Brzina deformacije je značajan parametar za osjetljivost na deformaciju i lom čelika. Tablica 3.2 prikazuje mehanička svojstva (tenzor brzine deformacije  $D_{ij}$ , granica razvlačenja  $R_e$ , vlačna čvrstoća  $R_m$ , istežljivost  $A$  i smanjenje površine  $Z$ ) za ugljične čelike određenog kemijskog sastava pod povišenim tlakom u atmosferi vodika.

Tablica 3.2 Mehanička svojstva čelika pod povišenim tlakom vodika [7]

Oznaka čelika	$D_{ij}, s^{-1}$	$R_e, MPa$	$R_m, MPa$	$A, \%$	$Z, \%$
HRN EN 10028-2 P355GH	$3 \times 10^{-4}$	364	551	19	43
HRN EN 10016-4 C86D2	$1 \times 10^{-4}$	421	794	7,5	7,2
HRN EN 10208-1 L210GA	$1 \times 10^{-4}$	331	483	20	44
HRN EN 10208-1 L360GA	$3 \times 10^{-4}$	429	597	15	37
HRN EN 10208-1 L415GA	$3 \times 10^{-4}$	422	590	10	27
HRN EN 10208-1 L450GA	$3 \times 10^{-4}$	506	611	15	36
HRN EN 10208-1 L485GA	$1 \times 10^{-4}$	566	653	14	37
HRN EN 10016-4 C42D2	$3,3 \times 10^{-5}$	276	614	22	27
HRN EN 10028-2 P295GH	$3,3 \times 10^{-5}$	297	442	29	35

Navedena ispitivanja vlačnih svojstva čelika provedena su pri sobnoj temperaturi i pod tlakom od 6,9 MPa u atmosferi vodika.

Tablica 3.3 prikazuje vrijednosti tenzora brzine naprezanja  $\varepsilon$ , lomne žilavosti  $K_{IC}$ , faktora intenziteta naprezanja  $K_{IH}$  za nelinearan lom. Ispitivanja lomne žilavosti su provedena na sobnoj temperaturi i pod tlakovima od 6,9 MPa u atmosferi vodika za navedene čelike.

Tablica 3.3 Lomne žilavosti različitih kvaliteta čelika u ovisnosti o mediju i tlaku medija [7]

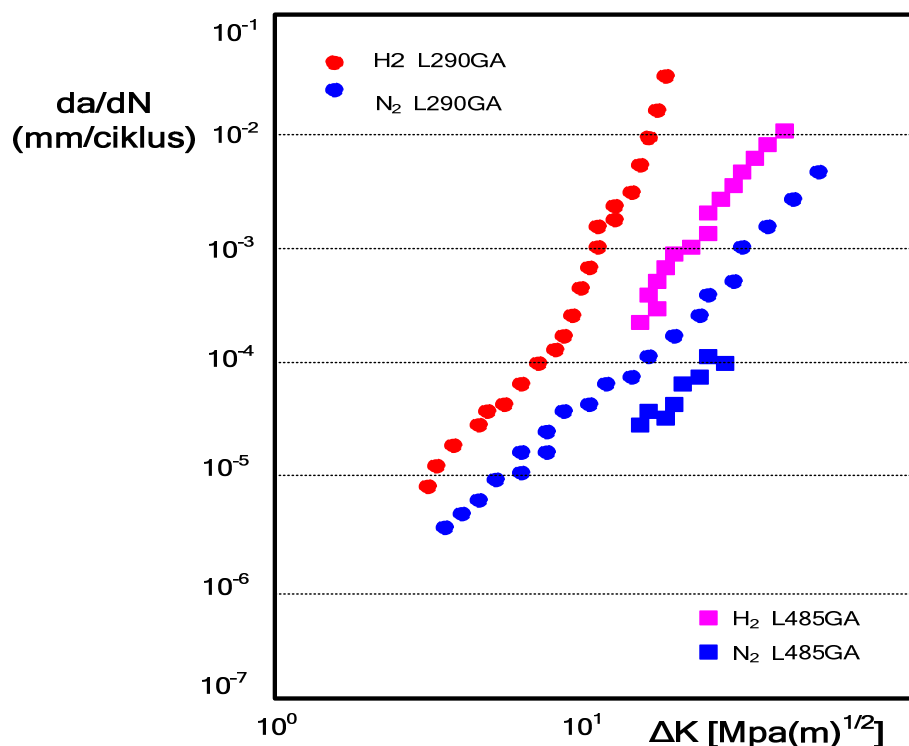
Oznaka čelika	Tlak medija, MPa	$\varepsilon$ , s <sup>-1</sup>	$K_{IC}$ , MPam <sup>0,5</sup>	$K_{IH}$ , MPam <sup>0,5</sup>
HRN EN 10028-2 P355GH	Zrak	8,5 X 10 <sup>-3</sup>	166	-
	3,5 H <sub>2</sub>			131
	6,9 H <sub>2</sub>			113
	20,7 H <sub>2</sub>			98
	34,5 H <sub>2</sub>			90
HRN EN 10016-4 C86D2	N <sub>2</sub>	2,5 X 10 <sup>-4</sup>	111	-
	6,9 H <sub>2</sub>	2,5 X 10 <sup>-3</sup>	-	81
HRN EN 10208-1 L210GA	Zrak	≤ 3,3 X 10 <sup>-4</sup>	147	-
	2 H <sub>2</sub>		-	101-128
	4 H <sub>2</sub>		-	85
	6,5 H <sub>2</sub>		-	69
	7,0 H <sub>2</sub>		-	73
	8,0 H <sub>2</sub>		-	59
	10,0 H <sub>2</sub>		-	53
	12,2 H <sub>2</sub>		-	57
	16,0 H <sub>2</sub>		-	46
HRN EN 10208-1 L415GA	6,9 He	8,5 X 10 <sup>-3</sup>	142	-
	6,9 H <sub>2</sub>		-	104
HRN EN 10208-1 L485GA	6,9 N <sub>2</sub>	2,5 X 10 <sup>-4</sup>	197	-
	6,9 H <sub>2</sub>	2,5 X 10 <sup>-3</sup>	-	95

Iz prikazanih rezultata za navedene čelike u atmosferi vodika:

- vrijednosti  $\varepsilon$  su povećane u odnosu na vrijednosti u inertnome plinu,
- vrijednosti  $K_{IH}$  smanjuju se povećanjem tlaka u odnosu na vrijednosti u inertnome plinu i umanjene su do 50 % vrijednosti,
- vrijednost  $K_{IC}$  povećanjem tlaka zadržavaju konstantnu vrijednost.

Vodik ima izražen efekt na umor površine koji se događa radi promjene lomne žilavosti  $K_{IC}$ . Umor površine ima za posljedicu smanjenje lomne žilavost čelika što može rezultirati većom brzinom propagacije pukotina i nastankom loma čelika.

Slika 3.5 prikazuje utjecaj amplitude faktora intenziteta naprezanja na brzinu rasta pukotine po jednom ciklusu dinamičkog opterećenja za čelike L290GA i L485GA po HRN normi. Ispitivanja su provedena u atmosferi vodika i dušika kod tlaka 70 bara, omjera naprezanja  $R=0,1$ .



Slika 3.5 Dijagram brzine propagacije pukotine u ovisnosti o amplitudi faktora intenziteta naprezanja pri dinamičkim opterećenjima za čelike L290GA i L485GA [7]

Iz dijagrama se može zaključiti sljedeće:

- a) da povećanjem vrijednosti amplitude faktora intenziteta naprezanja  $\Delta K$  dolazi do znatnog povećanja brzine propagacije ili rasta pukotina,
- b) da kod istih vrijednosti amplituda faktora intenziteta naprezanja  $\Delta K$  brzina propagacije ili rasta pukotina u čeliku L290GA je znatno veća nego u čeliku L485GA,
- c) da kod velikih amplitudnih faktora intenziteta naprezanja  $\Delta K$  vrijednosti brzina propagacije ili rasta pukotina je značajno veća u vodiku nego u dušiku.

### 3.3. Razvoj i primjena čelika za izradu cjevovoda za transport vodika

Za primjenu čelika koji su postojani prema vodiku pod povišenim i visokim tlakovima potrebni su nam podaci o njegovoj čvrstoći pri povišenim i visokim temperaturama. Tablica 3.4 prikazuje dopuštene temperature čelika za područje povišenih i visokih tlakova vodika iznad 15 MPa.

Tablica 3.4 Vrijednosti gornje granice temperature čelika kod parcijalnog tlaka vodika iznad 150 bara [7]

Oznaka po DIN-u	Gornja granica primjene, °C
25 CrMo 4	300
16 CrMo 9 3	400
26 CrMo 7	360
24 CrMo 10	400
20 CrMo 9	380
10 CrMo 11	400
17 CrMoV 10	400
20 CrMoV13 5	540
X 20 CrMoV 12 1	650
X 8 CrNiMoVNb 16 13	Postojan u svim uobičajenim uvjetima



Za čelike s još većom postojanošću na vodik mora se, za osnovu proračuna uzimati vrijednost za vlačnu čvrstoću. Za odabir određene vrste čelika koji su postojani prema vodikom pod povišenim i visokim tlakovima mora se uzeti utjecaj oligoelemenata i postojanost zavarenih spojeva u materijalu.

Jedna od zadaća razvoja ima za cilj povećanja postojanosti zavarenih spojeva koje se postiže toplinskom obradom. Martezitna struktura koja se može pojaviti u feritno-perlitnim čelicima pod utjecajem topline od zavarivanja uz zavarene spojeve ima sklonost mnogo lakšem razugljičenju. Najjednostavnija toplinska obrada materijala se postiže predgrijavanjem materijala, a ima rezultat njegovo teže razugljičenje. Ovaj način obrade, u nekim slučajevima je teško ili nije uopće izvediv, zbog toga pa je kod visokih mehaničkih naprezanja nužno upotrebljavati visoko legirane čelike.

Kod razvoja materijala postojanih prema vodikom pod tlakom teži se, što je moguće više, upotrebi nelegiranih i niskolegiranih čelika [7].

U praktičnoj primjeni to znači:

- a) da se dopusti "dopušteno oštećenje" materijala i
- b) da se primjeni vrijeme trajanja "inkubacije " koje počinje raspoznatljivim početkom oštećenja vodikom pod tlakom.

Dopušteno oštećenje materijala istovjetno je kao kod mehaničkog naprezanja metalnih materijala u području puzanja na povišenim temperaturama. Takvo naprezanje stvara početno unutrašnje razugljičenje na gornjoj granici postojanosti prema vodikom pod tlakom u zadanim pogonskim uvjetima. Vrijeme trajanja "inkubacije " je do nekoliko stotina sati prema parcijalnom tlaku vodika i temperaturi vodika. U najvećem broju slučajeva inkubacija nema utjecaj na pogonski rad postrojenja.

## 4. OPIS POSTROJENJA

### 4.1. Opis cjevovoda vodika

U sklopu izgradnje Aromatskog kompleksa pod nazivom KP-7 u Rafineriji nafte Sisak izgrađen je cjevovod za transport plinovitog vodika. Projektну dokumentaciju za cjevovod izradila je engleska firma FOSTER WHEELER na temelju bazne dokumentacije firme UOP iz SAD-a. Cjevovod je izgrađen početkom 1980 godine, tehnički pregledan od strane Instituta za strojarstvo " Đuro Đaković " iz Slavenskog Broda i Zavoda za razvoj nuklearne i procesne opreme iz Zagreba (Slika 4.1). Izvođač projekta izgradnje cjevovoda bila je firma Đuro Đaković iz Slavenskog Broda, a materijal za izgradnju ili čelične cijevi osigurala je Željezara Sisak.

Cjevovod vodika kao i svi ostali cjevovodi za aromatsko postrojenje koji su pod povišenim i visokim tlakovima projektirani su prema propisima ASTM ( American Society for Testing and Materials). Ti propisi obuhvaćaju sva područja koja su potrebna kod projektiranja, izrade, kontrole i ispitivanja cjevovoda za rafinerijska i petrokemijska postrojenja u mnogim zemljama svijeta.

<b>INSTITUT</b> za naučnoistraživački rad »ĐURO ĐAKOVIĆ« SLAVONSKI BROD	<b>INA-RAFINERIJA NAFTE SISAK</b> <b>KOMPLEKS AROMATA,</b>	RN 1136/79 Stranica 1
--	---	--------------------------

**IZVJEŠTAJ O TEHNIČKOJ KONTROLI**

U smislu člana 53 i 55 "Zakona o izgradnji objekata"  
 /"Narodne novine SRH br. 20/75. od 2.VI 1975. godine/  
 izvršena je kontrola dokumentacije za:

**INA-RAFINERIJA NAFTE SISAK**  
 Projektnu dokumentaciju za:  
 izradila je firma FOSTER WHEELER iz Engleske na temelju  
 procesne dokumentacije američke firme UOP.  
 Na temelju kontrole je utvrđeno da je dokumentacija izrađena  
 u skladu s odredbama Zakona o izgradnji objekata, propisima  
 o tehničkim normativima i jugoslavenskim standardima, te  
 drugim propisima koji se odnose na izgradnju i eksploataciju  
 ove vrste objekata, te da je osigurana i dokazana stabilnost  
 objekta.

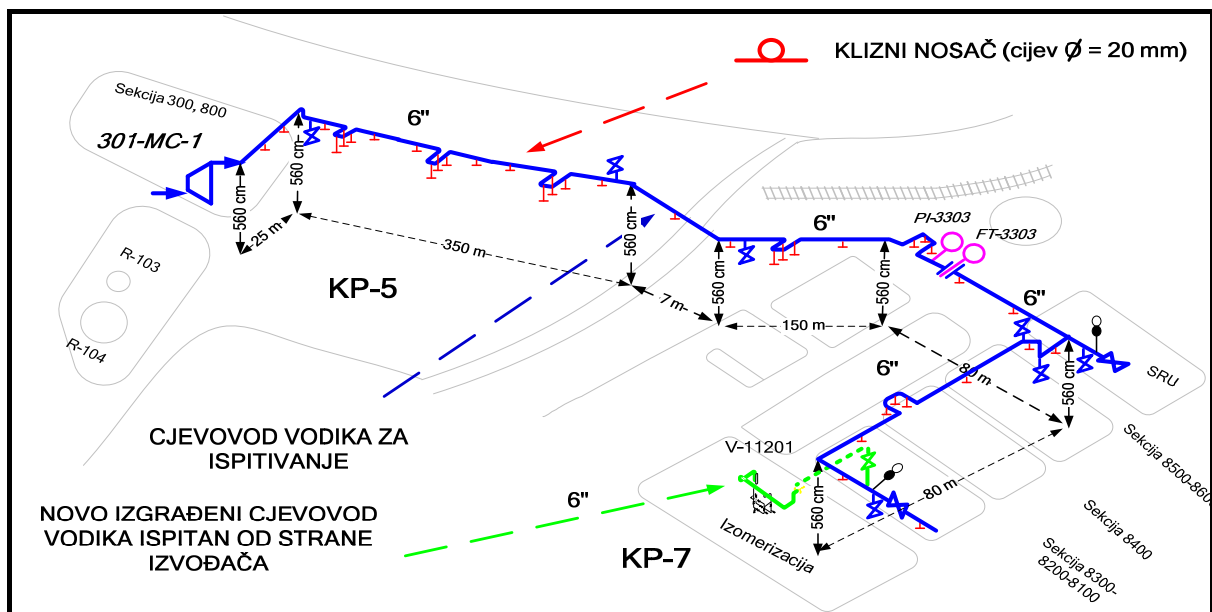
Zagreb, 15. siječnja 1980. godine

Izvršilac kontrole:  
*Zelimir Vranić*  
 Želimir Vranić, dipl.ing.stroj.

INSTITUT ZA STROJARSTVO  
 "ĐURO ĐAKOVIĆ"  
 Zavod za razvoj nuklearne  
 i procesne opreme  
 V.d. DIREKTOR  
*V. J. Nastasić*  
 Vladimir Nastasić, dipl.ing.stroj.

Slika 4.1 Izvještaj o tehničkoj kontroli cjevovoda

Slika 4.2 prikazuje kompletan cjevovod kroz Rafineriju nafte Sisak. Cjevovod vodika, označen plavom bojom, povezuje postrojenje katalitičkog reforminga (KP-5) i postrojenje izomerizacije (KP-7). Također na slici 10 prikazan je, zelenom bojom, novo izgrađeni cjevovod vodika koji se nadovezuje na postojeći cjevovod.



Slika 4.2 Slika cjevovoda u RNS [8]

Iz slike 4.2 vidi se da postojeći cjevovod (plava boja) ima ugrađene ventile s gornje i donje strane. Ventili na donjoj strani cjevovoda nazivaju se drenaže i koriste se za uklanjanje tekućeg medija iz cjevovoda. Ventili na gornjoj strani cjevovoda nazivaju se odušci i koriste se za uklanjanje plinovitog medija iz cjevovoda. Cjevovod ima na sebi ugrađen mjerni instrument pod oznakom FI-3303 koji mjeri količinu medija u granicama od 0 - 5000 Nm<sup>3</sup>/h koji se transportira kroz cjevovod. Također osim mjerenja količine medija koji se transportira, cjevovod ima ugrađen mjerni instrument pod oznakom PI-3303 koji mjeri tlak medija u granicama od 0-50 bara koji se nalazi u cjevovodu.

Slika 4.3 prikazuje centrifugalni kompresor 301-MC-1 na koji je spojen cjevovod, kompresor povećava tlak i transportira plinoviti medij kroz cjevovod.



Slika 4.3 Centrifugalni kompresor za transport vodika 301-MC-1 [8]

Projektne i radne karakteristike kompresora 301-MC-1 navedene su u tablica 4.1, a određuju radne uvjete plinovitog medija koji se transportira cjevovodom.

Hlađenje, podmazivanje i brtvljenje kompresora u radu odrađuje ulje koje preko centrifugalne pumpe cirkulira iz zasebnog spremnika ulja. Ulju se konstantno mjeri tlak mjernim instrumentom 301-PI-2168. Tlak medija na ulazu u kompresor mjeri se mjernim instrumentom 301-PI-2178, a tlak medija na izlazu iz kompresora mjernim instrumentom 31-PI-2180.

Kompresor 301-MC-1 u sebi ima ugrađen sigurnosni uređaj koji automatski zaustavlja kompresor u slučaju pojave prekoračenja vibracija u radu. Osim protiv vibracija kompresor 301-MC-1 je zaštićen protiv prekoračenja temperature medija mjernim instrumentima za alarm TAH-2209 i za blokadu TSH-2209 kompresora. Na ove načine riješena je zaštita kompresora i cjevovoda od mogućeg oštećenja u radu.

Također cjevovod je protiv vibracija zaštićen oprugama, koje se nalaze na početku cjevovoda ili na samom izlazu iz kompresora. Opruge imaju zadatak primanja vibracija koje nastaju u radu kompresora i sprečavanja pojave vibracija na cjevovodu.

Tablica 4.1 Karakteristike kompresora 301-MC-1 [8]

Veličina	Vrijednost
Proizvođač	Pignone
Tip	BCL454
Serijski broj	9321
Projektni tlak	68,5 bar
Projektna temperatura	150 °C
Snaga	810 kW
Normalni kapacitet	4 240 Nm <sup>3</sup> /h
Normalna brzina	8 950 min <sup>-1</sup>
Prva kritična brzina	4 150 min <sup>-1</sup>
Tlak ulaza	23 bar
Tlak izlaza	34,5 bar
Temperatura ulaza medija	20 °C
Temperatura izlaza medija	70-75 °C

Kompresor vodika 301-MC-1 je preko osovine spojen na elektromotor oznake MC-1 koji služi kao pogonski stroj koji pokreće kompresor. Karakteristike elektromotora prikazane su u tablici 4.2

Tablica 4.2 Karakteristike elektromotora [8]

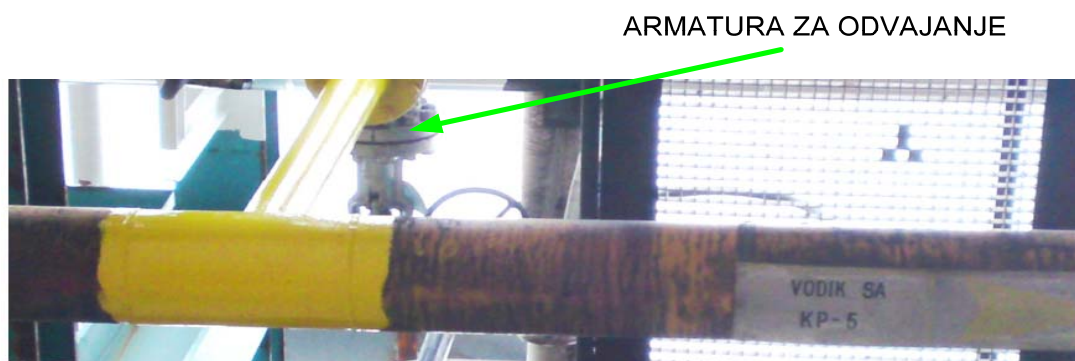
Veličina	Vrijednost
Proizvođač	Siemens
Struja	405 A
Napon	6 000 V
Snaga	3 600 kW
cos φ	0,88
Brzina vrtnje	1 491 min <sup>-1</sup>

Slika 4.4 prikazuje postojeći cjevovod vodika i njegov novo izgrađeni nastavak prema postrojenju KP-7. Ovaj dio novoizgrađenog cjevovoda vodika je potpuno novi sa svijetlo žutim premazom i izrađen je od strane vanjskog izvođača radova. Postojeći cjevovod koji je potrebno ispitati obilježen je žutim premazom s crvenim prstenom u odnosu na ostale cjevovode u Rafineriji nafte Sisak. Također na postojećem cjevovodu nalazi se armatura koja je stavljena u zatvoreni položaj, a služi za odvajanje aromatskog postrojenja od postrojenja izomerizacije.



Slika 4.4 Slika cjevovoda vodika [8]

Slika 4.5 prikazuje novoizgrađenom cjevovodu armatura koja će imati za funkciju odvajanja novoizgrađenog cjevovoda od postojećeg cjevovoda. Također na postojećem cjevovodu prikazana je natpisna pločica koja označava medij (vodik) koji se transportira cjevovodom.



Slika 4.5 Slika spoja postojećeg i novo izgrađenog cjevovoda [8]

Cjevovod je smješten nadzemo, na cijevnom mostu ili nosaču cjevovoda. Visina na kojoj se nalazi cjevovod iznosi 560 cm. Cijevi cjevovoda su elektrolučno poprečno zavarivane i izvedene su bešavno. Cjevovod nije izoliran i izložen je promjeni temperature, vlage, vjetra i ostalim vanjskim utjecajima iz atmosfere. Cjevovod je konstrukcijski izveden s pomičnim osloncima ili kliznim nosačima koji imaju zadatak omogućiti pomake ili dilatacije cjevovoda uslijed vanjske promjene temperature u atmosferi. Cjevovod je zaštićen od utjecaja vjetra na način da je smješten u donjem dijelu i u sredini cijevnoga mosta.

#### 4.1.1. Karakteristike cjevovoda

##### a) Karakteristike i kemijski sastav čelika cjevovoda

Cjevovod po Foster Wheeler specifikaciji nosi oznaku 6"-H-0602-8-201-NI. Slika 4.6 prikazuje navedenu specifikaciju koja potvrđuje da je cjevovod izgrađen od čelika A 53 Gr.A po ASTM normi.



*Foster Wheeler*

P R O C E S S

POS.	SPECIFICA SPEC.	REVISIONI - REVISIONS				IMPIEGO - SERVICE	MATERIALE TUBO PIPE MATERIAL
A	F 11 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 39	ASTM A 53 Gr. A
		1		5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
B	F 31 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 11	ASTM A 53 Gr. A
		1		5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
C	F 31 02 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 201 ✓	ASTM A 53 Gr. A ✓
		1	16.5.68	5	9		
		2	17.4.79	6	10		
		3		7	11		
D	F 33 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP INA 1	ASTM A 335 P 11
		1		5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
E	F 61 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 271	ASTM A 53 Gr. A
		1		5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
F	J 51 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 17	ASTM A 53 Gr. A
		1	16.5.68	5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
G	J 63 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 36	ASTM A 335 P 11
		1	16.5.68	5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
H	J 91 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 23 ✓	ASTM A 53 Gr. A
		1	16.5.68	5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
I	J 53 01 Fg. _____	0	20.3.68	4	8	PROCESS UOP 124	ASTM A 335 P 11
		1	16.5.68	5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
L	Fg. _____	0		4	8		
		1		5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		
M	Fg. _____	0		4	8		
		1		5	9		
		2		6	10		
		3		7	11		

Slika 4.6 Foster Wheeler specifikacija cjevovoda [9]

U tablici 4.3 prikazane su usporedne oznake standarda za istu vrstu čelika od kojeg je izgrađen cjevovod vodika prema različitim standardima.

Tablica 4.3 Usporedne oznake cjevovoda prema različitim standardima [10]

Standard	ISO	DIN	ASTM	British	Japan/ Koreja, JIS/KS
Broj	2604/2	1629	A53	3601	SPPS38/ STPG370
Gradacija	TS4	St35	Gr A	360	D3562/G3454
Tip, Broj	-	1.0308	S	S	16

U katalogu mehaničkih svojstava [10] naveden je kemijski sastav i mehaničke karakteristike čelika oznake A 53 Gr. A po ASTM normi. U tablica 4.4 za čelik oznake A 53 Gr. A naveden je kemijski sastav, a prema kemijskom sastavu vidi da je to ugljični i nisko legirani čelik. Također čelik sadrži kemijske elemente kao što su nikal, mangan, molibden i vanadij. Nizak sadržaj ugljika čeliku povisuje žilavost i zavarljivost, a smanjuje tvrdoću, vlačnu čvrstoću i granicu razvlačenja.

Tablica 4.4 Kemijski sastav čelika A 53 Grade A [10]

Kemijski element	% maseni
C	0,25 max
Mn	0,95 max
P	0,06 max
S	0,045 max
Ni	0,4 max
Cr	0,4 max
Cu	0,4 max
V	0,15 max

Također vidimo da navedeni čelik ima zadane ograničavajuće vrijednosti štetnih elemenata fosfora i sumpora. Također smanjeni maseni udio ugljika smanjuje razugličenje i smanjuje prokaljivost ili spontano zakaljivanje, a povišeni maseni udio mangana čeliku povisuje prokaljivost i otpornost od zakaljivanja kod zavarivanja.

Tablica 4.5 prikazuje vrijednosti mehaničkih svojstva za čelik A53.

Tablica 4.5 Mehaničke karakteristike čelika A53 Gr. A [10]

Veličina	Vrijednosti
Gustoća, $\rho$	$7,86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Module elastičnosti, E	210 GPa
Tvrdoća, HV	174 V
Granica razvlačenja, Re	205 MPa
Vlačna čvrstoća, Rm	330 MPa
Elogancija ili izduženje, A	20 %
Koeficijent toplinskog širenja, $\alpha$	$11,9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Specifični toplinski kapacitet, c	486 J/kg K
Toplinska vodljivost, $\Lambda$	51,9 W/ m*K

U tablici 4.6 navedeni su ispitni i projektni parametri cjevovoda. Cjevovod po ASTM normi ima vanjski promjer od 168,3 mm i debljinu stjenke od 10,97 mm. Za cjevovod je naveden podatak za njegov ispitni tlak po ASTM normi, projektni tlak i projektna temperatura. Ispitni tlak je tlak koji može izdržati cjevovod da ne dođe do njegova oštećenja i da se ne dogodi propuštanje medija u atmosferu, a ujedno i tlak pod kojim se ispituju mehanička svojstva cjevovoda. Projektne vrijednosti tlaka i temperature su maksimalne vrijednosti koje se smiju pojaviti prilikom upotrebe cjevovoda.

Tablica 4.6 Ispitni i projektni parametri cjevovoda [11]

Ispitni tlak	140,6 bar
Projektni tlak	48,3 bar
Projektna temperatura	121 °C
Vanjski promjer	168,3 mm
Debljina stjenke	10,97 mm

## b) Karakteristike medija

Tablica 4.7 prikazuje pogonske uvjete plinovitog medija koji se transportira kroz cjevovod u svakodnevnom radu. Navedena je radna temperatura i radni tlak plinovitog medija pod kojima se odvija njegov transport u cjevovodu. Također navedeni su podaci koji su bitni za transport medija kroz cjevovod, a to su: gustoća medija, molarna masa medija i dinamička viskoznost medija. Maseni protok od 1 100 kg/h odnosi se na maksimalni protok plinovitog medija koji će biti potrebno transportirati cjevovodom.

Tablica 4.7 Radni ili pogonski uvjeti medija [12]

Temperatura, T	311,15 K
Tlak, p	37,2 bar
Maseni protok, m	1 100 kg/h
Gustoća, $\rho$	8,77 kg/m <sup>3</sup>
Molarna masa, M	9,38 kg kmol <sup>-1</sup>
Dinamička viskoznost, $\mu$	0,011 mPas

Tablica 4.8 prikazuje zadane količinske sastave plinovitog medija od strane projektanta koji mora biti ispunjen u proizvodnome procesu izomerizacije. Iz prikazanog vidimo da se plinoviti medij sastoji od smjese plinova koju u najvećem postotku čini vodik, a zatim plinoviti ugljikovodici kao što su metan, etan, propan i butan. Za ove navedene komponente dat je njihov minimalni volumni sastav svake pojedine komponente koji mora biti zadovoljen u smjesi plinova.

Tablica 4.8 Projektne vrijednosti sastava medija [12]

Komponenta	% Vol
Vodik, H	65,0
Metan, CH <sub>4</sub>	18,3
Etan, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	7,3
Propan, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3,1
Butan, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,9
<b>Otrovi</b>	
Ukupni sumpor, S	1,0 x 10 <sup>-4</sup> max
Ukupni dušik, N	1,0 x 10 <sup>-4</sup> max
Ugljik (II) oksid, CO	1,0 x 10 <sup>-4</sup> max
Ugljikov (II) oksid + Ugljikov (IV) oksid, CO+CO <sub>2</sub>	1,0 x 10 <sup>-3</sup> max
Klorovodik, HCl	5,0 x 10 <sup>-4</sup> max

Također su za smjesu plinova navedene od strane projektanta maksimalne projektne vrijednosti pojedinih komponenata koje smiju biti zastupljene u smjesi plinova. Ove navedene vrijednosti štetnih komponenata ili otrova u smjesi plinova koja će se transportirati cjevovodom, mogu nam poslužiti kao podatak za izbor čelika kod izrade novog cjevovoda.

Tablica 4.9 prikazuje kemijske analize sastava plinovitog medija koji nastaje kao produkt na postrojenju katalitičkog reforminga (KP-5). Iz kemijske analize sastava koja je izvršena u laboratoriju za kontrolu kvalitete u Rafineriji nafte Sisak može se vidjeti da smjesa plinova sadrži volumni postotak vodika više od 65 % koliko je potrebno prema projektnoj vrijednosti (Tablica 15.) za plinoviti medij. Također ostale komponente u smjesi plinova ispunjavaju tražene projektne vrijednosti sastava za proizvodni proces izomerizacije na postrojenju KP-7.

Tablica 4.9. Kemijska analiza sastava medija [13]

Komponenta	% Volumni
Vodik, H	67,27
Metan, CH <sub>4</sub>	19,48
Etan, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	7,63
Propan, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	4,15
izo-Butan, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,62
n-Butan, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,53
izo-Pentan, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,19
n-Pentan, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,1
Kisik, O <sub>2</sub>	0
Dušik, N <sub>2</sub>	0
Ugljikov (II) oksid, CO	0
Ugljikov (IV) oksid, CO <sub>2</sub>	0
Sumporovodik, H <sub>2</sub> S	0
Ukupno	100,0

#### 4.2. Proračun naprežanja i stabilnosti cjevovoda

Za potrebu stavljanja u upotrebu postojećeg cjevovoda za transport plinovitog medija koji se u najvećem postotku sastoji od vodika izrađen je kontrolni proračun stabilnosti cjevovoda.

Kontrolnim proračunom se na temelju poznatih opterećenja geometrijskih karakteristika cjevovoda uzima u obzir:

- a) utjecaj vjetra,
- b) utjecaj vibracija i
- c) utjecaj snijega i leda.

Izračun stvarnog naprezanja cjevovoda, izračun utjecaja vjetra, izračun utjecaj vibracija i izračun utjecaja snijega i leda ima za cilj:

- a) osiguranja elastične stabilnosti cjevovoda u radu i
- b) mogućeg nastanka loma cjevovodu tijekom vremena.

Izračun naprezanja:

maksimalno naprezanje ( $\sigma_{\max}$ ), iz Hookov zakona [14] iznosi

$$\sigma_{\max} = E \times \Delta l / l_0 = 199,3 \times 0,159 / 707 = 0,045 \text{ GPa} \quad (4.1)$$

gdje je:

$E$  / GPa- modul elastičnosti,  $\Delta l$  / mm – dilatacija cjevovoda u ovisnosti o promjeni atmosferske temperature i  $l_0$  / mm– duljina cjevovoda.

ASTM normom u tablici 12, dopušteno naprezanje iznosi  $\sigma_{dop} = 0,24$  GPa, a usporedbom naprezanja vidi se da je  $\sigma_{\max} < \sigma_{dop}$  prema tome je ispunjen kriterij za maksimalno normalno naprezanje cjevovoda.

Utjecaj vjetra

Visinski faktor [14]

$$K_z = 2,01 \times (h / 274,3)^{0,210} = 2,01 \times (5,60 / 274,3)^{0,210} = 0,000145 \quad (4.2)$$

Tlak brzine vjetra [14]

$$Q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \times I = 0,613 \times 0,000145 \times 0,95 \times 1 \times 4,52 \times 1,15 = 1,96 \text{ Pa} \quad (4.3)$$

gdje su:

$K_{zt}$  – topografski faktor,  $V$  /  $\text{ms}^{-1}$  – brzina vjetra,  $h$  / m – visina cjevovoda i  $I$  – faktor za cjevovoda postrojenja koji iznosi 1,15.

Iz literature [15] tlak brzine vjetra iznosi 10,3 kPa, a usporedbom tlakova brzine vjetra vidi se da je  $Q_z < Q_d$  prema tome je ispunjen kriterij za maksimalni tlak koji nastaje utjecajem vjetra na cjevovod.

#### Utjecaj snijega

Visinski faktor [14]

$$f = (h/10)^{0,1} = (5,60/10)^{0,1} = 0,056 \text{ m} \quad (4.4)$$

Površina [12]

$$A_i = \pi \times t_d \times (D + t_d) = 3,14 \times 0,45 \times (15,24 + 0,45) = 22,16 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

Sigurnosni faktor [14]

$$P = 0,7 \times C_e \times C_t \times C_s \times P_g = 0,7 \times 0,9 \times 1,1 \times 1,2 \times 88 = 73,2 \text{ kg/m}^2 \quad (4.6)$$

gdje su:

$t_d / \text{m}$  – topografski faktor, dodatak za žilavost zbog utjecaja snijega i leda,

$A_i / \text{m}^2$  - površine popriječnog presjeka zbog utjecaj snijega i leda i

$P / \text{kgm}^{-2}$  – opterećenje uslijed djelovanja snijega i leda.

Iz literature [15] dopušteno opterećenje uslijed utjecaja snijega i leda iznosi  $347 \text{ kg/m}^2$ , a usporedbom sigurnosnih faktora ili dopuštenih opterećenja vidi se da je  $P < P_d$  prema tome je ispunjen kriterij koji nastaje utjecajem snijega i leda na cjevovod.

#### Utjecaj vibracija

Koncentrirana masa ventila [14]

$$M = 55 / 32,2 = 1,7 \quad (4.7)$$

Površina popriječnog presjeka cijevi je

$$A = 3600,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (4.8)$$

Moment inercije popriječnog presjeka cijevi je

$$I = 1685,7 \text{ m}^4 \quad (4.9)$$



gdje su:  $I, m^4$  – moment inercije i  $L, m$  – duljina cjevovoda od koljena do ventila.

Vlastita frekvencija cjevovoda od koljena do ventila na kraju je [14]

$$f = \sqrt{\frac{3 \times E \times I / L^3}{M + 0,23 \times 7860 \times A \times L}} = \sqrt{\frac{3 \times 210 \times 10^9 \times 1685,7 \times 10^{-8} / 1,85^3}{1,7 + 0,23 \times 7860 \times 3600,7 \times 10^{-6} \times 1,85}} = 349,3 \text{ rad/s} \quad (4.9)$$

Uzbuđna frekvencija kompresora je [14]

$$\Omega = \frac{n}{60} \times 2\pi = \frac{8950}{60} \times 2\pi = 936,7 \text{ rad/s} \quad (4.10)$$

#

U radu kompresora postoji mogućnost pojave nepovoljnog vibriranja cjevovoda za duljinu cijevi od koljena do ventila 1,10 m. S obzirom da je u ovome slučaju duljina cijevi od koljena do ventila 1,85 m ne postoji mogućnost dolaska cjevovoda u rezonanciju.

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

### 5.1. Ispitivanje cjevovoda

#### 5.1.1. Tlačno ispitivanje

Tlačno ispitivanje provodi se radi provjere mogućnosti propuštanja medija zbog mogućeg oštećenja i ispitivanja mehaničkih karakteristika materijala cjevovoda. U ovom slučaju tlačno ispitivanje cjevovoda provedeno je prema normi ASME B 31.3, a kao medij za tlačno ispitivanje cjevovoda korištena je voda [16]. Cjevovod se tijekom neupotrebe bio pod tlakom dušika, a prije početka tlačnog ispitivanja cjevovod je zatvoren. Zatvaranje je izvršeno da se odvoji postojeći cjevovod koji je potrebno tlačno ispitati od novo izgrađenog cjevovoda.

Završetkom provedbe zatvaranja postojećeg cjevovoda pristupilo se otvaranju odušaka cjevovoda zbog uklanjanja zaostalog zraka koji se može nalaziti u cjevovodu. Nakon otvaranja odušaka na cjevovodu pristupilo se punjenju cjevovoda s vodom.

Cjevovod je u cijelosti napunjen vodom u trenutku izlaska vode kroz njegove oduške, a samim time iz njega je uklonjen sav zaostali zrak. Nakon uklanjanja zraka iz cjevovoda provedeno je zatvaranje odušaka na cjevovodu i njegovo vizualno pregledavanje na moguće propuštanje vode.

Tlačno ispitivanje provedeno je s visokotlačnom pumpom koja na sebi ima ugrađen manometar za mjerenje tlaka. Visokotlačna pumpa za vodu je pumpa koja stvara visoki tlak vode u cjevovodu koji je potreban za tlačno ispitivanje. Ovom visokotlačnom pumpom podignut je tlak vode u cjevovodu na iznos od 60 bara.

Nakon podizanja tlaka vode cjevovod je zadržan 60 minuta pod navedenim tlakom vode. Nakon tlačnog ispitivanja s vodom od 60 minuta, cjevovod je zadovoljio tlačno ispitivanje jer nije došlo do pojave smanjenja ili pada tlaka ispod 60 bara i pojave propuštanja vode iz cjevovoda. Nakon završetka tlačnog ispitivanja preko drenažnih ventila ili drenaža, voda je ispuštena iz cjevovoda. Radi uklanjanja zaostale vode i nečistoća cjevovod je propuhan servisnim zrakom, tlaka 4 bara, koji je doveden na oduške cjevovoda. Nakon propuhivanja servisnim zrakom cjevovod je napunjen s tehničkim dušikom tlaka 8 bara i kemijskog sastava prikazanog u tablici 5.1.

Tablica 5.1 Sastav tehničkog dušika [17]

Komponenta	% maseni
Dušik	99,8 min
Voda	5 max
Kisik	0,2 max
Vodik	20 max
Kloridi	5 max
Ugljik (II) oksid + Ugljik (IV) oksid	20 max
$C_nH_m$	5 max

### 5.1.2. Metalografsko ispitivanje

Iz cjevovoda za transport vodika izrezan je uzorak na kojemu su provedena ispitivanja žilavosti, ispitivanja tvrdoće i metalografska ispitivanja. Iz uzorak je izrezano 12 ispitnih epruveta. Šest ispitnih epruveta podvrgnut je žarenju. Žarenje je postupak termičke obrade kod koje se čelik izlaže povišenoj temperaturi u dužem vremenskom periodu nakon čega čelik se sporo hladi. Žarenje u našem slučaju provedeno je zbog oslobađanja mogućeg zaostalog vodika iz materijala cjevovoda. Šest ispitnih epruveta je žareno pri temperaturi od 610 °C u vremenskom trajanju od 150 sati. Na temelju metalografske analize, koja nam daje informacije o mikrostrukturim, na ispitivanom uzorku cjevovoda, ako oštećenje uzorka cjevovoda postoji može se zaključiti što je uzrok njegova nastanka [18].

Slika 5.1 prikazuje uzorak cjevovoda iz kojeg je izrezan uzorak za metalografsko ispitivanje. Uzorak je pripremljen za metalografsku analizu sljedećim redoslijedom:

- a) izrezivanje reprezentativnog uzorka iz cjevovoda,
- b) brušenje uzorka, radi dobivanja ravne površine,
- c) poliranje uzorka,
- d) nagrivanje uzorka, a kao sredstvo korišten je NITAl (1 ml-HNO<sub>3</sub> u 99 ml metanola),
- e) ispiranje i sušenje površine uzorka.

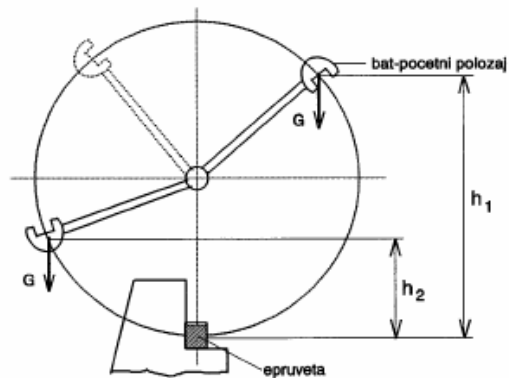


Slika 5.1 Reprezentativni uzorak cjevovoda za izradu epruveta za ispitivanje žilavosti i za metalografska ispitivanja

Toplinski neobrađeni i žareni uzorci su, nakon izvršene metalografske pripreme ispitani mikroskopski. Mikroskopska ispitivanja omogućuju da se odredi tip mikrostrukture, udio pojedinih struktura, veličina zrna, orijentacija zrna, raspodjela i veličina uključaka. Također mogu se odrediti greške koje narušavaju homogenost mikrostrukture, a koje su nastale pri raznim tehnološkim procesima kao što su lijevanje, termička obrada, kovanje i dr [18].

### 5.1.3. Ispitivanje žilavosti

Žilavost je svojstvo koje pokazuje ponašanje materijal pri udarnom opterećenju. U ovome slučaju žilavost je ispitana metodom udarne radnje loma s ciljem ponašanja materijala u uvjetima udarnog opterećenja [19]. Udarne žilavost se izražava kao utrošena energija (energija loma,  $E = m \times g \times \Delta h$ ,  $m$  -masa udarnog bata,  $\Delta h = (h_1 - h_2)$  -visinska razlika između početne visine bata  $h_1$  i visine bata nakon udara  $h_2$ ) za deformaciju i lom zarezane epruvete. Slika 5.2 prikazuje uređaju na kojemu se provodi ispitivanje koji se zove Charpyjev bat. Charpyjev bat ima zadaću da prenese energiju udara na uzorak. Količina utrošene energije na lom uzorka prikazuje se na mjernom području 0-300 J [19]. Dimenzije ispitanih uzoraka s karakterističnim utorima definirane su standardom DIN 3141.



Slika 5.2. Mjerenje udarnog rada loma na Charpy-evom batu

#### 5.1.4. Ispitivanje tvrdoće

Tvrdoća je mjerena Vickers metodom po kojoj je moguće mjeriti i najtvrde materijale, a tvrdoća nije ovisna o primijenjenom opterećenju. Penetrator je istostrana četverostrana piramida s kutem od 136 stupnjeva. Ovim kutem moguće je dobiti vrijednosti tvrdoće koje nisu ovisne o primijenjenom opterećenju. Kod upotrebe malog opterećenja potrebno je uzorak fino izbrusiti i polirati kao i u metalografiji [19].

Prednosti Vickers metode u odnosu na druge metode kojima se ispituje tvrdoća su [19]:

- a) tvrdoća je neovisna o primijenjenoj sili,
- b) moguće je mjeriti tvrdoću najtvrđih materijala,
- c) moguće je mjerenje tvrdoće tankih uzoraka te čak tvrdoće pojedinih zrna,
- d) otisak je vrlo malen pa ne oštećuje površinu.

Tvrdoća se izračunava pomoću:

$$HV = F(\text{sila}) / S(\text{površina}) = F \times 0,189 / d^2 \quad (5.1)$$

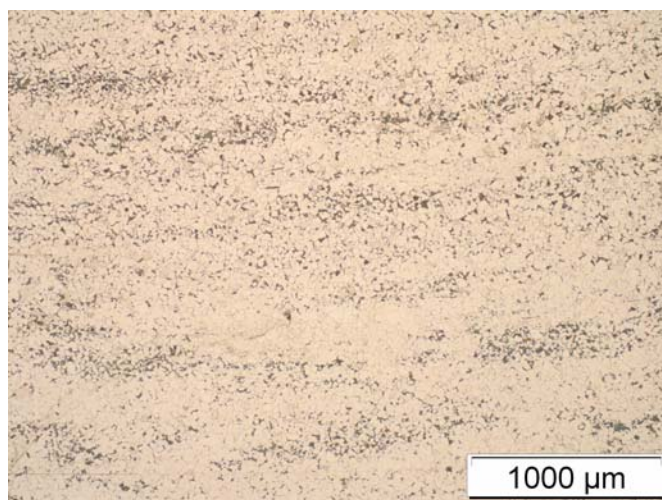
gdje je  $d$  – srednja vrijednost promjera otiska u mm.

U ovom ispitivanju tvrdoća uzorka cjevovoda mjerena na uređaju INSTRON TUCON 1000 B uz opterećenje od 1000 N tj HV1.

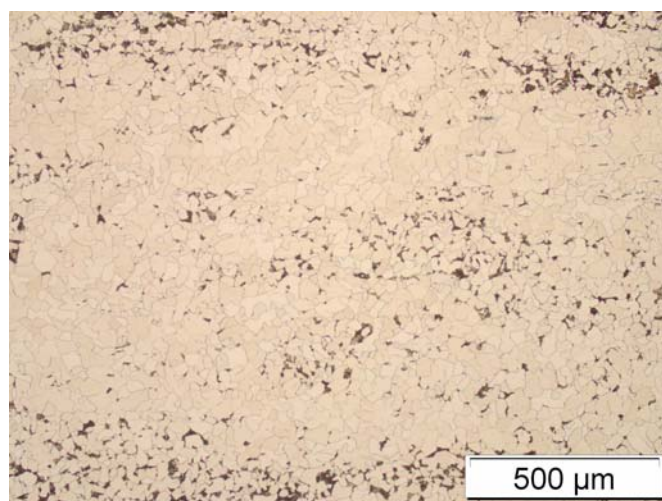
## 6. REZULTATI i DISKUSIJA

### 6.1. Metalografski rezultati

Slike 6.1, 6.2 i 6.3 prikazuju polazne uzorke cjevovoda snimljene sa optičkim mikroskopom Olympus GX51. Na slikama se vidi uobičajena mikrostruktura koja se sastoji od feritne i perlitne faze. Također na slikama se vidi da u mikrostrukтури nije prisutna pojava nečistoća, pukotina, mikro šupljina, korozije i loma.



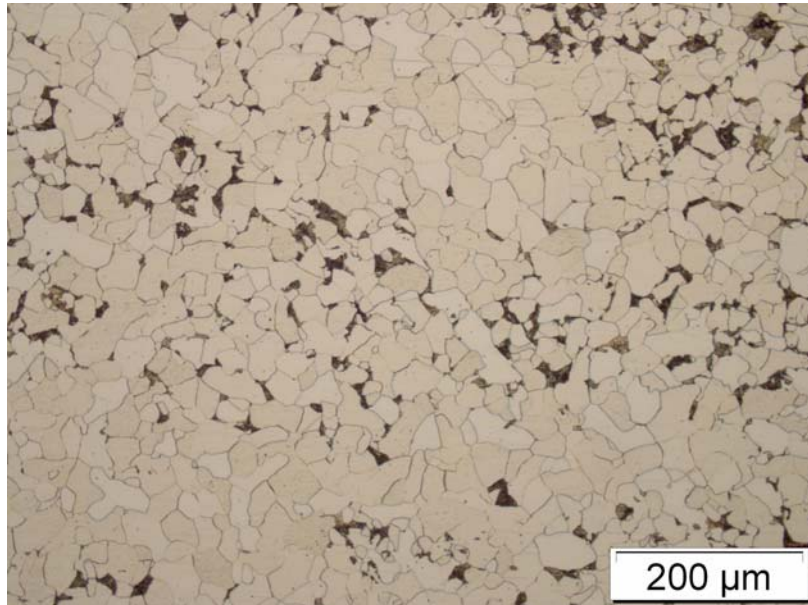
Slika 6.1 Polazni uzorak uvećanje x50, nagriženo u NITAL-u



Slika 6.2 Polazni uzorak uvećanje x100, nagriženo u NITAL-u

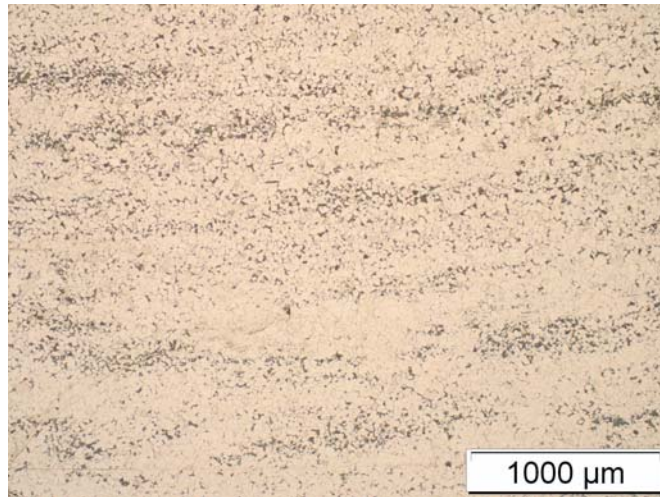
Slika 6.2 prikazuje povećanje uzorka sto puta na optičkom mikroskopu Olympus GX51. Na slici se vidi mikrostruktura ferita i perlita. Također iz slike se vidi da nema prisutnih pukotina, mikrošupljina ili loma.

Slika 6.3 pokazuje povećanje uzorka dvjesto puta na optičkom mikroskopu Olympus GX51.



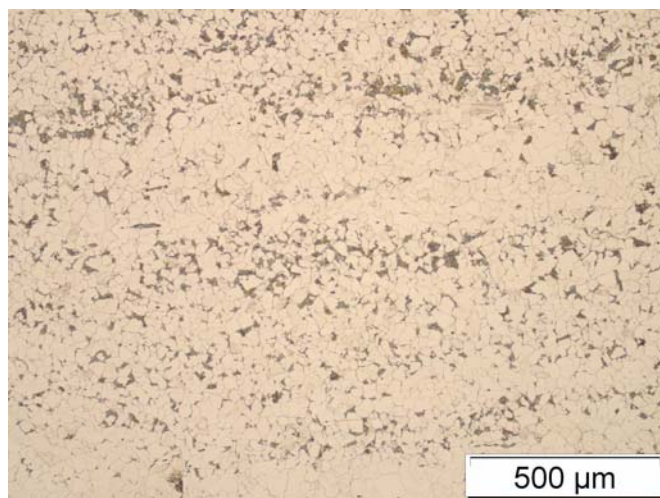
Slika 6.3 Polazni uzorak uvećanje x200, nagriženo u NITAL-u

Slike 6.4 i 6.5 prikazuju žarene uzorke cjevovoda snimljene s optičkim mikroskopom Olympus G651. Žarenjem uzoraka vidi se karakteristični mikrostrukture žarenog stanja. Također na slikama se vidi da na površini mikrostrukture nije prisutna pojava nečistoća, pukotina, mikrošupljina i loma.



Slika 6.4 Žareni uzorak uvećanje x50, nagriženo u NITAL-u

Slika 6.4 prikazuje žareni uzorak uz povećanje pedeset puta na optičkom svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51. Na slici se vidi da na površini mikrostrukture uzorka nije prisutna pojava nečistoća, pukotina, mikrošupljina i loma.



Slika 6.5 Žareni uzorak uvećanje x100, nagriženo u NITAL-u

Slika 6.5 pokazuje mikrostrukturu uzorka žarene mikrostrukture uz povećanje sto puta na optičkom mikroskopu Olympus GX51. Na slici se vidi da na površini mikrostrukture nema prisutnih pukotina, mikrošupljina ili loma.



## 6.2. Rezultati ispitivanja tvrdoće

Tablica 6.1 prikazuje rezultate ispitivanja žarenih i polaznih stanja uzoraka cjevovoda koji su provedeni u Laboratoriju za ispitivanje mehaničkih svojstava na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Iz rezultata ispitivanja vidi se razlika u tvrdoći između polaznih i žarenih uzoraka cjevovoda. Polazni uzorci imaju veće vrijednosti ispitivanih tvrdoća od žarenih uzoraka.

Tablica 6.1 Rezultati ispitivanja tvrdoće

Stanje	Tvrdoća HV	Srednja vrijednost HV	Srednja vrijednost HRB	Srednja vrijednost HB
polazno	161, 165, 165, 161, 173	165	87	165
žareno	128, 133, 129, 123, 128	128	73	128

ASTM norma propisuje tvrdoću čelika A 53 Gr. A od 174. Polazni uzorci imaju srednju vrijednost izmjerenih tvrdoća od 165, a žareni uzorci imaju srednju vrijednost izmjerenih tvrdoća od 128. Usporedbom srednjih vrijednosti tvrdoća polaznih i žarenih uzoraka sa ASTM normom vidi se da polazni uzorci imaju srednju vrijednost tvrdoće manju za 5 % od tvrdoće norme, a žareni uzorci imaju manju srednju vrijednost tvrdoće 26,4 % od tvrdoće propisane ASTM normom.

Smanjenja tvrdoće žarenih uzoraka od 22,4 % u odnosu na polazne uzorke pokazuje da žareni uzorci imaju manju vlačnu čvrstoću i otpornost prema nastanku plastične deformacije od polaznih uzoraka. Također tvrdoća polaznih uzoraka je smanjena u odnosu na tvrdoću čelika A 53 Gr. A po ASTM normi i pokazuje da polazni uzorci imaju smanjenu otpornost na plastičnu deformaciju koja se može pojaviti djelovanjem vanjskog opterećenja na cjevovod.

### 6.3. Rezultati ispitivanja žilavosti

Tablica 6.2 prikazuje rezultate izmjerene žilavosti polaznih i žarenih uzoraka cjevovoda koji su provedeni u Laboratorij za ispitivanje mehaničkih svojstava na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Ispitivanje žilavosti uzoraka cjevovoda je provedeno na Charpyevom batu. Iz rezultat ispitivanja vidi se razlika u žilavosti između polaznih i žarenih uzoraka cjevovoda. Žareni uzorci imaju veće vrijednosti žilavosti od polaznih uzoraka.

Tablica 6.2 Rezultati ispitivanja žilavosti

STANJE	BROJ	DIMENZIJE/mm	DIMENZIJE/mm	KV
POLAZNO	1	10,03*10,15	8,17	183
	2	10,00*10,15	8,21	200
	3	10,01*10,12	8,14	178
	4	10,06*10,14	8,17	167
	5	10,07*10,14	8,15	154
	6	10,00*10,13	8,18	153
ŽARENO	1	10,04*9,92	8,25	243
	2	10,09*10,26	8,15	296
	3	10,00*9,93	8,20	299
	4	10,08*10,20	8,24	299
	5	10,13*9,97	8,27	300
	6	10,12*10,02	8,28	297

ASTM norma propisuje žilavost čelika A 53 Gr. A od 295 J. Žareni uzorci imaju srednju vrijednost izmjerenih žilavosti iznosi od 289 J, a polazni uzorci imaju srednju vrijednost izmjerenih žilavosti od 172,5 J. Usporedbom srednjih vrijednosti žilavosti polaznih i žarenih uzorka s ASTM normom vidi se da žareni uzorci imaju srednju vrijednost žilavosti manju 5,2 % od žilavosti norme, a polazni uzorci imaju srednju žilavosti manju 43,4 % od žilavosti koja je propisana ASTM normom.

Smanjena žilavost polaznih uzoraka govori da je korištenjem cjevovoda za transport vodika došlo do smanjenja žilavosti uslijed difuzije vodika u čelik. Vodik je u unutrašnjosti mikrostrukture uzrokovao smanjenju otpornost čelika na nastanak krhkog loma. Također žilavost žarenih uzoraka koja je praktični identična sa žilavošću po ASTM normi govori da žareni uzorci čelika A 53 Gr. A imaju znatno veću otpornost na krhki lom.

## 7. ZAKLJUČAK

Iz rezultata dobivenih metalografskim ispitivanjem, ispitivanjem žilavosti i mjerenjem tvrdoće uzoraka cjevovoda može se zaključiti:

- A) čelik A 53 Gr. A po kemijskom sastavu je srednje ugljičan i niskolegirani čelik, a prema mikrostrukтури čelik se sastoji od feritne i perlitne faze,
- B) čelik A 53 Gr.A u svojoj mikrostrukтури nema prisutnost pukotina, mikro šupljina i loma,
- C) čelik A 53 Gr. A izvedenim proračunom naprežanja i stabilnosti cjevovoda osigurava mehaničku stabilnost u primjeni,
- D) čelik A 53 Gr. A ima smanjenu žilavost u odnosu na propisanu žilavost po ASTM normi što pokazuje da je vodik difundirao u unutrašnjost mikro strukture čelika i uzrokovao smanjenje otpornosti čelika na nastanak krhkog loma,
- E) čelik A 53 Gr. A ima smanjene tvrdoće u odnosu na propisanu tvrdoću po ASTM normi što pokazuje da čelika je vodik uzrokovao abrazijsko trošenje čelika cjevovoda,

Konstatacijom gore navedenih zaključaka možemo utvrditi da postoji opravdana mogućnost upotrebe cjevovoda za transport plinovitog vodika zbog toga jer je cjevovod prošao tlačno ispitivanje i metalografsko ispitivanje kojim je dokazano da u mikrostrukтури materijala nema pojave pukotina, mikro šupljina i loma. Međutim smanjene vrijednosti rezultata ispitivanja žilavosti i tvrdoće opovrgavaju sigurnu upotrebu cjevovoda. Također uzorkovanje je provedeno na mogućem mjestu uzimanja uzorka cjevovoda, a nije provedeno na više raznih mjesta na cjevovodu tako da uzorak ima sva obilježja kompletnog cjevovoda.

Zbog toga je za potpunu sigurnost upotrebe cjevovoda za transport plinovitog vodika potrebno provesti: metalografska ispitivanja, ispitivanja tvrdoće, ispitivanja žilavosti i ostala potrebna ispitivanja na reprezentativnim uzorcima cjevovoda.

## 8. LITERATURA

- [1] S. Martinez: Predavanje iz elektrokemijske korozije metala, Lokalizirana korozija II dio, FKIT, Zagreb, 2006 g.
- [2] P. Matković, P. Matković: Fizikalna metalurgija (skripta), Metalurški fakultet u Sisku, Sveučilište Zagreb, Sisak, 2009 g.
- [3] Mirko Gojić: Metalurgija čelika, Metalurški fakultet u Sisku, Sveučilište Zagrebu, 2005 g.
- [4] Pavle Pavlović: Materijal čelik, SKTH, Kemija u industriji, Zagreb, 1990 g.
- [5] INA d.d., Sektor Rafinerije nafte Sisak, Dokumentacija o suglasnosti aromatskog postrojenja, Sisak, 1979 g.
- [6] N. Haračić: Zagrijavanje i hlađenje čelika (skripta), Mašinski fakultet Zenica, 2007 g.
- [7] C.San Marchi, B.P. Somerday: Technical reference on hydrogen compatibility of materials, Sandia National Laboratories, USA, 2008 g.
- [8] INA d.d., Sektor Rafinerije nafte Sisak, Pogonske upute za KP-5, Sisak, 2010 g.
- [9] INA d.d., Sektor Rafinerije nafte Sisak, Foster Wheeler Mechanical Catalogue for Aromatics complex, Volume 1 (Pipeline), 1977 g.
- [10] ASTM: Standard Specification for Carbon Steel pipe, 2000/2001
- [11] INA d.d., Sektor Rafinerije nafte Sisak, Pogonske upute za KP-7, Sisak, 2008 g.
- [12] UOP: Penex process unit, Des Plaines, East Algonquin Road 25, Illinois, USA, 2004 g.
- [13] INA d.d., Sektor Rafinerije nafte Sisak, Plan pregleda i testiranja proizvoda u sektoru RNS, Sisak, 2010 g.
- [14] J. Phillip Ellenberger: Piping and Pipeline Calculations Manual, Burlington MA 01803 USA, 2010 g.
- [15] McGraw Hill: Handbook Of Mechanical Engineering Calculations; New York, 1998 g.
- [16] ASME: Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping Code Standard, B 31.3, 2007/08 g.
- [17] SOL grupa, Kisikana d.o.o.: Industrijski, medicinski i specijalni plinovi, Stjepana i Antuna Radića 17, 44 000 Sisak, 2011 g.
- [18] H. Šuman: Metalografija, Tehnološko–Metalurški fakultet, Beograd, 1981 g.
- [19] S. Rešković: Ispitivanje materijala (skripta), Metalurški fakultet u Sisku, Sveučilište Zagreb, Sisak, 2007/08 g.

## 9: ŽIVOTOPIS

Zovem s Tomislav Pokupčić, rođen sam 05. 09. 1980 godine u Zagrebu. Osnovnu školu Vladimir Nazor završio sam 1994 godine u Pisarovini (Zagrebačka županija), a srednju Elektrotehničku školu 1998 godine u Zagrebu. Na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije usmjeravam se na područje Procesi i Proizvodi i obranom diplomskog rada pod nazivom Polianilin kao materijal za sekundarne izvore struje diplomiram 2007 godine.

## SHORT BIOGRAPHY

My name is Tomislav Pokupčić, I was born on 05. 09. 1980 year in Zagreb. Elementary school Vladimir Nazor I finished in 1994 year in Pisarovina, and secondary school (electrician) I finished in 1998 year in Zagreb. On Faculty of chemical engineering and technology in Zagreb I was focuses on the area of processes and products, with theme Polyaniline as cathodic material for electrochemical energy sources I graduated in 2007 year.

INA d.d. Sektor Rafinerija nafte Sisak	PRIRUČNIK SUSTAVA UPRAVLJANJA POSLOVANJEM SEKTORA RAFINERIJA NAFTE SISAK	Oznaka: 50001178-052-04	
		Izdanje: 10	Stranica 13/54
		Oznaka procesa:	

MM INDUSTRIJA NAFTE d.d. ZAGREB  
 SD RAFINERIJE I MARKETING  
 SEKTOR RAFINERIJA NAFTE SISAK

Ured direktora

Sisak, 12.10.2009.

REVIZIJA BROJ 7

POLITIKA UPRAVLJANJA ZAŠTITOM OKOLIŠA U SEKTORU  
 RAFINERIJA NAFTE SISAK

Rafinerija nafte Sisak smještena je u industrijskoj zoni grada Siska u kontinentalnom dijelu Hrvatske, na raskrižju cestovnih, željezničkih i riječnih puteva uz rijeke Kupu i Savu. Kao vodeća kompanija u Sisačko-moslavačkoj regiji opredijelila se za provedbu trajne i sustavne aktivnosti zaštite okoliša na načelima održivog razvitka. Kroz bliske i kooperativne odnose s organima nadzora, te pravodobnu komunikaciju osiguran je protok informacija s Gradom Siskom, lokalnom upravom i samoupravom te javnošću, što omogućava lakše upravljanje i nadzor nad zaštitom okoliša Rafinerije. Upravljanje aktivnostima zaštite okoliša provodit ćemo kroz Sustav upravljanja zaštitom okoliša prema normi ISO 14001. Primjenom ovog sustava uspostavlja se stalna kontrola i nadzor te neprekidno smanjivanje štetnih utjecaja na okoliš kroz sve faze djelatnosti, od izgradnje tehnoloških procesa i razvoja proizvoda, preko primjene tehnologije do korištenja proizvoda i davanja usluga.

U postupanju prema okolišu Rafinerija nafte Sisak će primijeniti sljedeća načela:

- konstantno usklađivati svoje dokumente i provoditi legislativu iz područja zaštite okoliša,
- raditi redovite analize utjecaja na okoliš i provjere utvrđene liste značajnih aspekata okoliša,

- *poduzimati odgovarajuće mjere za smanjenje onečišćenja vodotoka rijeka Kupe i Save,*
- *poduzimati odgovarajuće mjere za smanjenje onečišćenje zraka i tla,*
- *nastojati proizvoditi što manje tehnološkog otpada,*
- *preventivno djelovati u cilju sprječavanja onečišćenja kroz odabir kvalitetnijih sirovina i procesa,*
- *biti otvorena za dobru komunikaciju s javnošću.*

U ostvarenju zaštite okoliša Rafinerija nafte Sisak uložiti će napore na:

- *proizvodnju rafinerijskih derivata sa što manje štetnih utjecaja na okoliš,*
- *unapređenju postojećih i primjeni novih tehnologija u cilju smanjenja onečišćenja,*
- *redovitom i pravilnom održavanju opreme, instalacija i sredstava rada na kojima može doći do ispuštanja štetnih tvari u okoliš,*
- *racionalnom korištenju prirodnih resursa uz optimalno korištenje energije,*
- *obrazovanju i razvoju svijesti svih zaposlenih u cilju provođenja definiranih mjera zaštite okoliša,*
- *ekološki prihvatljivom načinu zbrinjavanja proizvedenog otpada,*
- *razvijanju partnerskih odnosa s lokalnom zajednicom, dobavljačima i kupcima u cilju očuvanja okoliša,*
- *kontinuiranom poboljšanju upravljanja okolišem i sprječavanju onečišćenja bilo koje vrste sukladno principima održivog razvoja*

*Kvalitetan proizvod i čišći okoliš još bolji poslovni ugled!*

Direktor Sektora Rafinerija nafte Sisak  
Damir Butković, dipl. ing.

INA.d.d. Sektor Rafinerija nafte Sisak	PRIRUČNIK SUSTAVA UPRAVLJANJA POSLOVANJEM SEKTORA RAFINERIJA NAFTE SISAK	Oznaka: 50001178-052-	
		Izdanje : 10	Stranica 14/54
		Oznaka procesa:	

INDUSTRIJA NAFTE d.d. ZAGREB SD  
 RAFINERIJE I MARKETING SEKTOR  
 RAFINERIJA NAFTE SISAK Ured direktora  
 Slsak.12.10 2009.

REVIZIJA BROJ 6

POLITIKA UPRAVLJANJA SUSTAVOM ZAŠTITE  
 ZDRAVLJA I SIGURNOSTI u SEKTORU  
 RAFINERIJA NAFTE SISAK

Sektor Rafinerija nafte Sisak odlučna je stalno unapređivati upravljanje sustavom zaštite zdravlja i sigurnosti s ciljem poboljšanja razine sigurnosti na radu i zaštite zdravlja zaposlenika, kako bi se trajno smanjila vjerojatnost nastanka ozljeda i oboljenja pri radu.

Upravljanje i kontinuirano unapređenje zaštite zdravlja i sigurnosti provodit će se prema osnovnim RšćelilTIS Zaštite ha radu usklađenim sa smjernicama standarda OHSAS 18001.

1. ISO 9001:2008, IS014001:2004 i OHSAS 18001:2007 čine integralnu cjelinu sa zajedničkim ciljem ukupnog poboljšavanja sustava osiguranja kvalitete, sustava upravljanja zaštitom okoliša i sustava zaštite na radu i 2aštite zdravlja radnika.
2. Politika sigurnosti i zaštite zdravlja sastavni je i nedjeljivi dio poslovne politike Sektora Rafinerija nafte Sisak.
3. Za utvrđivanje razine rizika nastanka ozljeda na radu, profesionalnih bolesti radom primjenjuje se SME metoda, Pri izradi procjene opasnosti za postrojenja, pogone i skladištenje opasnih radnih tvari primjenjuje se metoda "ŠTO-AKO".



4. Temeljem procjene opasnosti primjenjuju se pravila ZNR kojima se uklanjaju ili na najmanju moguću mjeru smanjuju opasnosti i štetnosti koje nastaju u procesu rada.
5. Dokumentacija za ustroj, efikasnost i procjenu stanja zaštite na radu i zaštite zdravlja smatra se:

procjena opasnosti	. zapisnici o periodičkom ispitivanju
opći akt odluke	- upute
atesti-certifikati	- planovi, programi
knjiga nadzora	- izvješća
6. Svaki rukovoditelj odgovoran je za stvaranje sigurnog radnog okruženja s ispravnom opremom,  
za odgovarajuće osposobljavanje, kako bi se osiguralo da svaki zaposlenik bude spreman i sposoban raditi na siguran način, te za poštivanje i provođenje određenih pravila i postupaka.
7. Svaki rukovoditelj osobnim primjerom i uključivanjem svih zaposlenika stvara klimu u kojoj svatko skrbi za svoju osobnu sigurnost i za sigurnost kolega na poslu.
8. Zaštita zdravlja i sigurnost radnika pod izravnom su odgovornošću Uprave INA - Sektor Rafinerija nafte Sisak i važna su mjera kvalitete i uspješnosti obavljanja rukovodnih aktivnosti i ukupne poslovne politike Sektora Rafinerija nafte Sisak.

Direktor Sektora Rafinerija nafte Sisak

Damir Butković, dipl. ing.

OHSAS 18001:2007

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ASSESSMENT SERIES

NORMA UPRAVLJANJA  
ZAŠTITOM ZDRAVLJA I SIGURNOSTI



iaaniBai

*Move Fonvarć v/tth C&nfidence*

*U nastavku se nalazi prijevod norme OHSAS 18001:2007 koji ne predstavlja službenu verziju. Dozvoljeno gaje koristiti samo za potrebe osposobljavanja interni auditora sustava upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti. Prijevod je vlasništvo Bureau Veritas Croatia i bez pisane dozvole autora ne može se koristiti u druge svrhe. Sve pogreške i nejasnoće ide na teret prevoditelja.*

Preveo: Ivan Boršo, BVC OHSAS auditor

Zagreb, rujan 2008

## SADRŽAJ

1. Područje primjene
2. Upućivanje na druge norme
3. Definicije
4. Elementi sustava upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti
  - 4.1 Opći zahtjevi
  - 4.2 Politika zaštite zdravlja i sigurnosti
  - 4.3 Planiranje
  - 4.4 Primjena i provedba
  - 4.5 Provjera, korektivna aktivnost i preventivna aktivnost
  - 4.6 Poslovodna ocjena sustava

## 1. PODRUČJE PRIMJENE

Ova OHSAS norma specificira zahtjeve za sustav upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti te omogućuje organizaciji kontrolirati vlastite OH&S rizike i poboljšati performanse OH&S sustava. Norma ne utvrđuje kriterije uspješnosti OH&S sustava niti daje detaljne specifikacije za uspostavljanje sustava upravljanja.

Ova OHSAS norme se može primijeniti na svaku organizaciji koja želi:

- a) uspostaviti sustav upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti (OH&S) kako bi eliminirala ili smanjila rizike za zaposlene i ostale zainteresirane strane koji mogu biti izloženi opasnostima vezanim uz aktivnosti organizacije,
- b) implementirati, održavati i trajno poboljšavati OH&S sustav,
- c) osigurati usklađenost sa svojom OH&S politikom,
- d) demonstrirati usklađenost sa dvom OHSAS normom putem:
  - vlastite izjave o sukladnosti s ovom normom,
  - traženja potvrde o vlastitoj izjavi o sukladnosti od zainteresirane strane, na primjer kupca, ili
  - traženja potvrde o vlastitoj izjavi o sukladnosti od neke vanjske organizacije, ili
  - traženja certifikacije / registracije vlastitog OH&S sustava od vanjske organizacije.

Svi zahtjevi ove OHSAS norme pisani su s namjerom da budu uključeni u bilo koji OH&S sustav.

Stupanj primjene će zavisiti o faktorima kao što su OH&S politika organizacije, priroda njenih aktivnosti, te rizici i složenost njenih radnih operacija. Ova OHSAS norma ima namjeru obraditi zaštitu zdravlja i sigurnosti, a ne želi dirati druga područja zaštite zdravlja i sigurnosti, kao što su sportski i ostali programi za poboljšanje stanja zaposlenih, zaštita proizvoda, imovine ili utjecaja na okoliš.

## 2. UPUĆIVANJE NA DRUGE NORME

Druge publikacije koje donose informacije ili služe kao vodiči, nalaze se u bibliografiji. Savjetuje se da se uvijek konzultiraju posljednje edicije, a posebno: OHSAS 18002, *Occupational health and safety management system - Guidelines for the implementation of OHSAS 18001 i*

International Labour Organization: 2001, *Guidelines on Occupational Health and Safety Management Sv.stem (OSH-MS)*

## 3. DEFINICIJE

### 3.1 Prihvatljivi rizik

Rizik koji je smanjen na razinu koja može biti tolerirana po organizaciji uzimajući u obzir vlastitu OH&S politiku (3.16).

### 3.2 Audit

Audit je sistematičan, neovisan i dokumentirani proces za probavljanje "audit činjenica" i njihovu

objektivnu procjenu zbog utvrđivanja do koje razine su ostvareni "audit kriteriji" (ISO 9000:2005,

3.9.1)

*Napomena 1.*

*Nezavisnost audita ne znači automatski da ga obavlja vanjska kuća. U mnogim slučajevima, posebno*

*u manjim organizacijama, neovisnost se može demonstrirati kroz oslobođenje od odgovornosti u auditiranom području.*

*Napomena 2.*

*Za daljnje upute o "audit činjenicama" i "audit kriterijima" vidi ISO 19011.*

### 3.3 Kontinuirano poboljšavanje

Repetitivni proces unapređivanja sustava upravljanja OH&S (3.13) s ciljem ostvarenja poboljšanja ukupnih performansi OH&S sustava (3.15) sukladno organizacijskoj (3.17) politici OH&S (3.16)

*Napomena 1.*

*Proces mora teći simultano u svim područjima djelatnosti organizacije.*

*Napomena 2.*

*Adaptirano iz norme ISO 14001:2004, 3.2*

### 3.4 Korektivne akcije

Akcije za eliminiranje uzroka utvrđene nesukladnosti (3.11) ili neke druge neželjene situacije.

*Napomena 1.*

*Može biti više uzroka nesukladnosti.*

*Napomena 2.*

*Korektivne akcije se pokreću za sprečavanje ponavljanja nesukladnosti, a preventivne zbog sprečavanja pojave.*

*(ISO 9000:2005, 3.6.5)*

### 3.5 Dokument

je informacija i njegov potporni medij.

*Napomena:*

*Medij može biti papir, magnetni, elektronički ili optički kompjuterski disk, fotografija ili "master uzorak, ili njihova kombinacija.*

### 3.6 Opasnost

Izvor, situacija ili djelo s potencijalom ozljeđivanja ili razvoja bolesti (3.8) ili njihova kombinacija.

### 3.7 Identifikacija opasnosti:

Proces prepoznavanja postojanja opasnosti (3.6) i definiranje njezinih karakteristika.

### 3.8 Oštećenje zdravlja

Prepoznatljivi, različiti fizički ili mentalni uvjeti stvoreni ili pogoršani radnom aktivnošću i/ili situacijama vezanim uz rad.

### 3.9 Incident

Događaj vezan uz rad pri kojem dolazi do ozljede ili bolesti (3.8)(bez obzira na težinu) ili do smrti.

ili može doći.

*Napomena 1.*

*Akcident je incident pri kojem je došlo do ozljede, razvoja bolesti ili smrti.*

*Napomena 2.*

*Incident u kojem nije bilo ozljede, bolesti ili smrtnog slučaja može se nazivati near miss. near-hit,*

*close call ili jednostavno opasna pojava.*

*Napomena 3.*

*Hitna/izvanredna situacija (emergency situation, 4.4.7) je poseban tip incidenta.*

### 3.10 Zainteresirane strane

Osoba ili grupa, unutar ili izvan radnog mjesta (3.18) kojih se tiču ili imaju utjecaj OH&S performanse (3.15) neke organizacije

### 1.11 Nesukladnost

neispunjavanje nekog zahtjeva (ISO 9000:2005, 3.6.2; ISO 14001, 3.15)

*Napomena 1*

*Nesukladnost može biti i svako odstupanje od radne norme, prakse, procedure, zakonskog zahtjeva i si.*

*Odstupanje od zahtjeva sustava upravljanja OH&S (3.13).*

### 3.12 Zaštita zdravlja i sigurnost (OH&S):

Uvjeti i faktori koji utječu, ili mogu utjecati na zdravlje i sigurnost zaposlenika, privremeno zaposlenih radnika, radnika pod-ugovarača, posjetilaca i bilo koje druge osobe u radnom prostoru (3-18).

*Napomena 1.*

*Organizacije su zakonom obvezane za osiguranje zaštite zdravlja i sigurnosti i osoba koje se nalaze pokraj radnog mjesta, ili koje su izložene aktivnostima ranog mjesta.*

### 3.13 Sustav upravljanja OH&S:

dio sustava upravljanja organizacije (3.17) koji se koristi za razvoj i implementaciju vlastite politike zaštite zdravlja i sigurnosti i za upravljanja vlastitim OH&S rizicima.

*Napomena 1.*

*Sustav upravljanja je skup međusobno povezanih elemenata koji se koriste za uspostavu politike i ciljeva, te za postizanje tih ciljeva.*



*Napomena 2.*

*Sustav upravljanja uključuje strukturu, planiranje, ( i procjenu rizika i postavljanje ciljeva), odgovornosti, dobru praksu, procedure (3.20), procese i resurse. Napomena 2. potječe iz ISO 14001:2004, 3.8*

### 3.14 OH&S ciljevi

OH&S težnje, u obliku OH&S performansi (3.15). koje organizacija (3.17) sebi postavlja kao zadatke za ostvarenje.

*Napomena 1. Ciljeve treba kvantificirati gdje god je to moguće. Napomena 2. Zahtjev 4.3.3 određuje da OH&S ciljevi budu konzistentni sa OH&S politikom.*

### 3.15 OH&S performanse

Mjerljivi rezultati upravljanja OH&S rizicima (3.22) organizacije (3.17).

*Napomena 1.*

*Mjerenje OH&S performansi uključuje mjerenje učinkovitosti kontrola koje provodi organizacija.*

*Napomena 2.*

*U kontekstu upravljanja OH&S sustavom (3.13), rezultati organizacije (3.17) se mogu mjeriti i u odnosu na OH&S politiku (3.16), ciljeve (3.14) i druge OII&S zahtjeve.*

### 3.16 OH&S Politika

Sveukupne intencije i usmjerenje neke organizacije (3.17) koje se odnose na vlastite OH&S performanse (3.15). a koje formalno donosi najviša uprava.

*Napomena 1.*

*OH&S politika donosi okvir za akcije i postavlja OH&S ciljeve (3.14).*

*Napomena 2 - definicija preuzela iz ISO 140012004, 3.11.*

### 3.17 Organizacija

Kompanija, korporacija, firma, poduzeće, organ ili institucija, ili dijelovi i njihove kombinacije, integrirani ili ne, javna ili privatna, koja ima vlastite funkcije i administraciju.

*Napomena:*

*Za organizaciju sa više od jedne jedinice, svaka jedinica može se definirati kao jedna organizacija. (ISO 14001:2004, 3.16).*

### 3.18 Preventivne akcije

Akcije za eliminaciju uzroka potencijalne nesukladnosti (3.11) ili druge neželjene potencijalne situacije.

*Napomena 1.*

*Uvijek može biti i više uzroka mogućoj nesukladnosti.*

*Napomena 2.*

*Preventivne akcije se poduzimaju da spriječe pojavu nesukladnosti, dok se korektivne akcijepoduzimaju zbog sprečavanja ponavljanja nesukladnosti.*

### 3.19 Procedura / postupak

Specificiran način za provođenje određene aktivnosti ili procesa.

*Napomena 1.*

*Procedura može biti dokumentirana ili ne. (ISO 9000:2005, 3.4.5)*

### 3.20 Zapis

Dokument (3.5) koji potvrđuje postignute rezultate ili daje dokaze o provedenim aktivnostima (ISO 14001:2004.3.20)

### 3.21 Rizik

Rizik je kombinacija vjerojatnosti pojave opasnog događaja (ili izloženosti) i težine ozljede ili bolesti koju ie mogao izazvati opasni događaj ili izloženost.

### 3.22 Procjena rizika

Procjena rizika je proces ocjene visine rizika koji potječe od opasnosti, uzimajući u obzir primjerenost bilo koje postojeće kontrole, pri kojem se odlučuje dali je ili nije rizik prihvatljiv.

### 3.23 Radno mjesto

Svaka fizička lokacija u kojoj se obavljaju aktivnosti vezane uz rad pod kontrolom organizacija.  
*Napomena: Pri uređivanju radnog mjesta, organizacija (3.17) mora uzeti u obzir i OH&S učinke za osoblje koje na primjer putuje na RM, radi kod klijenta ili kupca usluge, ili radi kod kuće.*

Opći zahtjevi sustava upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti

## 4.1 Opći zahtjevi

Organizacija će utvrditi, dokumentirati, implementirati, održavati i stalno poboljšavati sustav upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti sukladno zahtjevima ove OHSAS norme i odrediti kako će ispunjavati te zahtjeve. Organizacija će definirati i dokumentirati opseg upravljanja svoj OH&S sustava.

## 4.2 OH&S politika

Najviše poslovodstvo će definirati i ovjeriti OH&S politiku organizacije i osigurati daje ona unutar definiranog opsega upravljanja sustavom OH&S:

- a) primjerena prirodi i rasponu rizika u organizaciji;
- b) te da uključuje spremnost za prevenciju ozljeda i bolesti i kontinuirano poboljšavanjeupravljanja OH&S sustavom i performansi sustava ;
- c) da uključuje spremnost ostvariti, jednako ili bolje, sukladnost sa odgovarajućim zakonskim
- d) zahtjevima i drugim zahtjevima koje je organizacija prihvatila, a odnose se na njihove OH&S rizike, d) da daje okvir za postavljanje i revidiranje OH&S ciljeva;
- e) daje dokumentirana, implementirana i održavana;
- f) da je objavljena svim zaposlenicima koji rade pod nadzorom organizacije s namjerom da ih učini svjesnim njihovih osobnih OH&S obveza;
- g) da je dostupna zainteresiranim stranama;
- h) da se periodično provjerava da bi ostala odgovarajuće primjerena organizaciji.

## 4.3 Planiranje

### 4.3.1 Identifikacija opasnosti, procjena rizika i definiranje kontrola

Organizacija mora izraditi, implementirati i održavati proceduru(e) za trajnu identifikaciju opasnosti, procjenu rizika i definirati potrebne mjere kontrole.

Procedura(c) za identifikaciju opasnosti i procjenu rizika će uzeti u obzir:

- a) uobičajene i neuobičajene aktivnosti,
- b) aktivnosti svih osoba koje imaju pristup radnim prostorima (uključujući dobavljače i posjetioce),
- c) ponašanje ljudi, njihove sposobnosti i ostale ljudske faktore,

- d) identificirane rizike koji potječu izvan radnog mjesta a u stanju su na različite načine utjecati na zdravlje i sigurnost osoba koje rade pod nadzorom organizacije na svojoj RM.
- e) opasnosti stvorene u području radnog mjesta aktivnostima vezanim uz rad i pod kontrolom organizacije,

*Napomena: Ponekad se ta opasnost može procjenjivati i kao aspekt okoliša.*

- f) infrastruktura, oprema i materijali na RM, koje je osigurala organizacija ili netko drugi,
- g) izmjene ili predložene izmjene u organizaciju njenim aktivnostima ili materijalima,
- h) izmjene sustava upravljanja OH&S, uključujući privremene izmjene i njihov utjecaj na operacije, procese i aktivnosti,
- i) sve važeće zakonske zahtjeve koje se odnose na procjene rizika ili primjenu potrebnih kontrola,
- j) izvedba radnih područja, procesa, instalacija, strojeva/opreme, postupaka izvođenja radova, i organizacije rada, uključujući njihovu prilagodbu ljudskim mogućnostima.

Metoda koju organizacija odabere za identifikaciju opasnosti i procjenu rizika mora;

- a) jasno definirati opseg primjene, narav i vrijeme u kojem će se provesti, kako bi se osigurao proaktivnu a ne reaktivni pristup,
- b) omogućiti identifikaciju , prioritete i dokumentiranje rizika, te primjenu odgovarajućih kontrola.

Za upravljanje promjenama organizacija mora identificirati opasnosti i rizike vezane uz promjene u organizaciji, sustav upravljanja zaštitom ili aktivnostima –prije nego što uvede te promjene. Organizacija mora osigurati da rezultati tih procjena budu uzeti u obzir pri definiranju kontrola. Pri definiranju kontrola ili imajući u vidu izmjene postojećih kontrola, smanjenje rizika mora poštovati sljedeću hierarhiju:

- 1) eliminacija, 2) zamjena, 3) inženjerske kontrole, 4) označavanje/upozoravanje i/ili administrativne kontrole, 5) osobna zaštitna sredstva i oprema.

Organizacija mora dokumentirati i čuvati rezultate identifikacije opasnosti, procjene rizika i definiranih kontrola, te ih održavati ažurnim.

Organizacija mora osigurati da se rizici i definirane kontrole uzimaju u obzir pri ustrojavanju, implementaciji i održavanju vlastitog sustava upravljanja OH&S.

Napomena:

Za daljnje upute o indentificiranju opasnosti, procjene rizika i kontrole rizika, pogledaj OHSAS 18002.

#### 4.3.2 Zakonski i ostali zahtjevi

Organizacija mora ustrojiti, implementirati i održavati proceduru(c) za identificiranje i dostupnost zakonskih i drugih OH&S zahtjeva koji se na nju odnose.

Organizacija mora osigurati da se ti važeći zakonski zahtjevi i ostali zahtjevi koji se na nju primjenjuju, uzimaju u obzir pri ustrojavanju, implementaciji i održavanju vlastitog sustavaupravljanja OH&S.

Organizacija mora te podatke ažurirati.

Važeće informacije o zakonskim i ostalim zahtjevima moraju se prenijeti osobama koje rade podnadzorom organizacije, kao i ostalim zainteresiranim stranama.

#### 4.3.3 Ciljevi i programi

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati dokumentirane OH&S ciljeve na odgovarajućim funkcijama i razinama unutar organizacije.

Ciljevi moraju biti mjerljivi, gdje je to praktično, te moraju slijediti OH&S politiku, uključujući opredjeljenje za prevenciju ozljeda i bolesti. Ciljevi trebaju biti sukladni važećim zakonskim i ostalim zahtjevima koji se primjenjuju na organizaciju, te težiti trajnom poboljšavanju.

Pri uspostavi i preispitivanju svojih ciljeva organizacija mora uzeti u obzir zakonske i ostale zahtjeve koji se na nju odnose, te vlastite rizike. Ona mora također razmatrati tehnološke mogućnosti, financijske, radne i poslovne zahtjeve, te stavove zainteresiranih strana.

Organizacija će uspostaviti, implementirati i održavati program(e) za postizanje svojih ciljeva. Programi moraju minimalno uključivati:

- a) dodjeljivanje odgovornosti i ovlaštenja za postizanje ciljeva na odgovarajućim funkcijama i razinama organizacije, te
- b) način i vremenski okvir u kojem treba ciljeve ostvariti.

Programne treba revidirati u pravilnim i planiranim intervalima, te ih podešavati ako je potrebno, kako bi se osiguralo njihovo ostvarenje.

## 4.4 Implementacija i primjena

### 4.4.1 Resursi, uloge, odgovornosti, obveze i ovlaštenja

Najviša uprava mora preuzeti osnovnu odgovornost za sustav upravljanja OH&S. Najviša uprava pokazuje svoju privrženost sustavu puteni:

- a) Osiguranje dostupnosti svim resursima za ustrojavanje, primjenu, provedbu, održavanje i unapređenje sustava OH&S;
- b) Definiranjem uloga, dodjeljivanjem odgovornosti i obveza, kao i odgovornosti za omogućavanje učinkovitog upravljanja sustavom; uloge, odgovornosti, obveze i ovlaštenja moraju biti dokumentirane i objavljene.

*Napomena 1. Resursi uključuju osoblje i specijalizirane vještine, organizacijsku infrastrukturu, tehnologiju i financije.*

Organizacija mora imenovati člana najvišeg posloводства sa specifičnim odgovornostima za OH&S sustav, neovisno od drugih odgovornosti, te sa definiranom ulogom i ovlaštenjem za:

- a) Osiguranje daje sustav upravljanja OH&S ustrojen, implementiran i održavan sukladno ovoj OHSAS normi;
- b) Osiguranje da izvještaji o učinkovitosti upravljanja OH&S sustavom budu prezentirani najvišem poslovodu u svrhu preispitivanja sustava i kao osnova za njegovo poboljšanje.

*Napomena 2. Imenovana osoba iz najvišeg posloводства (u velikim org. član izvršnog tijela) može delegirati neke od svojih dužnosti subordiniranom predstavniku, ali i dalje zadržava obvezu za sustav.*

Osoba imenovana po najvišem poslovodu mora biti dostupna svim osobama koje rade pod nadzorom organizacije. Sve osobe koje imaju odgovornost za upravljanje sustavom OH&S, moraju iskazivati svoje opredjeljenje za trajno poboljšanje učinkovitosti sustava.

Organizacija mora osigurati da osobe na radnim mjestima budu odgovorne za aspekte zaštite zdravlja i sigurnosti nad kojima imaju kontrolu, uključujući i ostale zahtjeve primjenjive na organizaciju.

#### 4.4.2 Kompetencije, osposobljavanje i svjesnost

Organizacija mora osigurati da sve osobe koje izvode radove pod njenom kontrolom, a koji mogu imati utjecaj na zdravlje i sigurnost, budu kompetentne temeljem odgovarajućeg školovanja, osposobljavanja ili iskustva, o čemu se moraju čuvati odgovarajući zapisi.

Organizacija mora identificirati potrebe za osposobljavanjem vezano uz OH&S rizike i zahtjeve vlastitog sustava upravljanja. Ona mora provoditi osposobljavanje ili poduzimati druge aktivnosti zbog ostvarenja tih potreba, procjenjivati učinkovitost tih osposobljavanja ili poduzetih aktivnosti, te čuvati odgovarajuće zapise.

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati postupak(e) da bi osobe koje rade pod njenom kontrolom postale svjesne o:

- a) OH&S posljedicama vlastitih radnih aktivnosti, stvarnim ili potencijalnim, osobnog ponašanja, te koristi OH&S sustava zbog poboljšanja vlastitih performansi,
- b) vlastitoj ulozi, odgovornostima i važnosti u ostvarenju sukladnosti s OH&S politikom i procedurama, kao i sa zahtjevima OH&S sustavom upravljanja, uključujući zahtjeve za spremnost i odziv u hitnim situacijama (4.4.7).
- c) potencijalnim posljedicama u slučaju odstupanja odspecificiranih procedura.



Procedura osposobljavanja mora uzeti u obzir različite razine:

- odgovornosti, sposobnosti i pismenosti rizika.

#### 4.4.3 Komunikacija, sudjelovanje i savjetovanje

##### 4.4.3.1 Komunikacija

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati postupke, vezane za vlastite opasnosti i sustav upravljanja OH&S, za:

- a) internu komunikaciju između raznih razina i funkcija organizacije,
- b) komuniciranje sa ugovornom organizacijom i posjetiocima na radnim mjestima,
- c) primanje, dokumentiranje i odgovaranje na odgovarajuću komunikaciju vanjskih zainteresiranih strana.

##### 4.4.3.2 Sudjelovanje i savjetovanje

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati postupak(e) za:

- a) sudjelovanje zaposlenika pri njihovom:
  - odgovarajućem uključivanju pri identifikaciji opasnosti, procjeni rizika i definiranju kontrola,
  - odgovarajućem uključivanju pri istraživanju incidenata,
  - Uključivanju u razvoj i preispitivanje OH&S politike i ciljeva,
  - Savjetovanju pri bilo kojoj promjeni koja utječe na njihov OH&S,Radnici moraju biti informirani o svojim mogućnostima sudjelovanja, kao i o svom predstavniku za OH&S pitanja.
- b) savjetovanje sa ugovornom organizacijom u vezi promjena koje imaju utjecaj na njihov OH&S sustav. Organizacija mora osigurati da odgovarajuće zainteresirane strane budu konzultirane o određenim OH&S pitanjima.

#### 4.4.4 Dokumentacija

Dokumentacija sustava upravljanja OH&S mora uključivati:

- a) OH&S politiku,
- b) Opis opsega sustava upravljanja OH&S,
- c) Opis glavnih elemenata sustava upravljanja OH&S i njihovu interakciju, kao i reference za odgovarajuće dokumente,
- d) Dokumente, uključujući zapise, koje zahtjeva ova OHSAS norma, te
- e) Dokumente, uključujući zapise, definirane po organizaciji kao neophodne za osiguranje učinkovitog planiranja, izvođenja operacija i kontrole procesa koji su vezani uz upravljanje vlastitih OH&S rizika.

*Napomena:*

*Važno je da dokumentacija bude proporcionalna razini složenosti, opasnosti i rizika, te da se drži na minimumu potrebnom za učinkovit i djelotvoran sustav.*

#### 4.4.5 Kontrola dokumenta

Dokumenti koje zahtjeva sustav upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti i ova OHSAS norma moraju biti kontrolirani. Zapisi su posebna vrsta dokumenata i moraju biti kontrolirani sukladno zahtjevu navedenom u 4.5.4. Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati postupke za:

- a) ovjeravanje dokumenata prije uporabe,
- b) preispitivanje i izmjene dokumenata prema potrebi i njihovo ponovno ovjeravanje,
- c) osiguranje da su identificirane izmjene i trenutni status dokumenta,
- d) osiguranje da su određene verzije važećih dokumenata dostupne na mjestima uporabe.
- e) osiguranje da dokumenti ostanu čitljivi i da ih se lako identificira,
- f) osiguranje da dokumenti vanjskog porijekla koje je odredila organizacija kao važne za planiranje i provođenje sustava upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti budu identificirani i kontrolirano distribuirani, te
- g) sprječavanje nenamjernog korištenja zastarjelih dokumenata i primjenu odgovarajućeg načina njihovog označavanja, ako se zbog bilo kojeg razloga čuvaju.

#### 4.4.6 Upravljanje procesima

Organizacija mora odrediti operacije i aktivnosti koje su povezane sa identificiranim opasnostima gdje je primjena kontrola neophodna zbog upravljanja OH&S rizicima. To uključuje i upravljanje promjenama (4.3.1). Za te operacije i aktivnosti organizacija mora implementirati i održavati:

- a) operativne kontrole prilagođene organizaciji i njenim aktivnostima; organizacija mora integrirati te operativne kontrole u svoj opći sustav upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti,
- b) kontrole koje se odnose na nabavljena dobra, opremu i servise,
- c) Kontrole koje se odnose na ugovarače i druge posjetioce radnih mjesta,
- d) dokumentirane procedure za situacije gdje bi njihovo nepostojanje moglo dovesti do odstupanja od OH&S politike i ciljeva,
- e) definirane operativne kriterije tamo gdje bi njihovo nepostojanje moglo dovesti do odstupanja od OH&S politike i ciljeva.

#### 4.4.7 Pripravnost i odziv na hitne situacije

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati proceduru(e):

- a) za identifikaciju mogućnosti pojave hitnih situacija,
- b) za odziv na te hitne situacije.

Organizacija mora postupiti po stvarnim hitnim situacijama i eliminirati ili smanjiti pridružene različite OH&S posljedice.

Pri planiranju vlastitih odziva na hitne situacije organizacija mora uzeti u obzir i zahtjeve odgovarajućih zainteresiranih strana, odnosno servisa za hitne situaciji i susjeda.

Organizacija mora također periodički testirati vlastitu proceduru(e) za odziv na hitne situacije, a tamo gdje je to praktično treba uključiti odgovarajuće zainteresirane strane.

Organizacija mora periodički preispitivati, i gdje je potrebno, revidirati vlastitu proceduru za pripravnost i odziv, a posebno nakon periodičnog testiranja/vježbe i nakon pojave hitne situacije.

## 4.5 Provjere

### 4.5.1 Provođenje mjerenja i nadzora

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati postupak(e) za nadzor i mjerenje OH&S učinka na redovitoj osnovi. Taj postupak mora osigurati:

- a) kvalitativno i kvantitativno mjerenje, primjereno potrebama organizacije;
- b) nadzor nad stupnjem ostvarenja OH&S ciljeva organizacije;
- c) nadzor nad učinkom kontrola za zaštitu zdravlja i sigurnosti;
- d) proaktivno mjerenje učinkovitosti nadzora nad sukladnosti s OH&S programima, kontrolama i operativnim kriterijima;
- e) reaktivno mjerenje učinkovitosti nadzora nad bolesti, incidenata (uključujući accidente, POS-e) te ostale povijesne podatke o nedostacima sustava OH&S.
- f) bilježenje podataka i rezultata nadzora i mjerenja mora biti dovoljno za provođenje analiza naknadno provedenih korektivnih i preventivnih akcija.

Za opremu koja se koristi za nadzor i mjerenje učinka, organizacija mora uspostaviti i održavati proceduru za umjeravanje i održavanje te opreme, prema potrebi. Zapisi o umjeravanju, aktivnostima održavanja i o rezultatima se moraju voditi.

### 4.5.2 Procjena sukladnosti

4.5.2.1 Prema vlastitom opredjeljenju o sukladnosti (4.2 c), organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati proceduru(e) za periodično ocjenjivanje sukladnosti sa primjenjivim zakonima (4.3.2).

Organizacija mora čuvati zapise o rezultatima tih periodičnih ocjena.

*Napomena: Frekvencija periodičnih ocjena može varirati u skladu sa različitim zakonskim zahtjevima.*

4.5.2.2 Organizacija će ocjenjivati sukladnost i sa ostalim zahtjevima koje je prihvatila (4.3.2).

Može se obaviti ocjenjivanje zajedno sa 4.5.2.1, ili uspostaviti posebnu proceduru (e).

Organizacija mora čuvati zapise o rezultatima tih periodičnih ocjena.

*Napomena:*

*Frekvencija periodičnih ocjena može varirati u skladu sa različitim zahtjevima koje je organizacija prihvatila.*

4.5.3 Istraživanje incidenata, nesukladnosti, korektivne akcije i preventivne akcije

4.5.3.1 Istraživanje incidenata

Organizacija će uspostaviti, implementirati i održavati proceduru(e) za bilježenje, istraživanje i analiziranje incidenata sa svrhom da:

- a) utvrdi prisutne OH&S nedostatke i druge faktore koji su mogli biti uzrok ili doprinijeti pojavi incidenta;
- b) utvrdi potrebe za korektivnim akcijama;
- c) utvrdi mogućnosti za preventivne akcije;
- d) utvrdi mogućnosti za trajno poboljšavanje;
- e) distribuira rezultate tih istraživanja.

Istraživanje treba provesti hitno nakon incidenta. Svaka utvrđena potreba za korektivnom akcijom ili mogućnost za preventivnom akcijom mora se primijeniti u skladu s prikladnim dijelom zahtjeva 4.5.3.2. Rezultati istraživanja incidenta moraju se dokumentirati i održavati.

#### 4.5.3.2 Nesukladnosti, korektivne akcije i preventivne akcije

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati proceduru(e) za postupanje sa stvarnim i potencijalnim nesukladnostima i za pokretanje korektivnih i preventivnih akcija.

Procedura mora definirati zahtjeve za :

- a) utvrđivanje i ispravljanje nesukladnosti i poduzimanje akcija za smanjenje njihovih OH&S posljedica;
- b) istraživanje nesukladnosti, određivanje njihovih uzroka i poduzimanje akcija s ciljem sprječavanja njihove ponovne pojave;
- c) procjenjivanje potreba za akcijama zbog prevencije nesukladnosti i primjene odgovarajućih akcija za sprečavanje njihove pojave;
- d) zapisivanje i objavljivanje rezultata provedenih korektivnih i preventivnih akcija;
- e) ocjenjivanje učinkovitosti provedenih korektivnih i preventivnih akcija.

Gdje se korektivnim i preventivnim akcijama utvrdi nova ili izmijenjena opasnost ili potreba za novom ili izmijenjenom kontrolom, procedurom se mora zahtijevati provjera predloženih akcija putem procesa procjene rizika prije njihove primjene.

Svaka korektivna ili preventivna akcija poduzeta u cilju eliminiranja uzroka stvarne ili moguće nesukladnosti mora biti primjerena veličini problema i razmjerna stvarnom riziku za zdravlje i sigurnost.

Organizacija mora osigurati da svaka neophodna izmjena koja potiče od korektivne ili preventivne akcije bude dokumentirana u sustavu upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti.

#### 4.5.4 Kontrola zapisa

Organizacija mora uspostaviti i održavati zapise prema potrebi kako bi demonstrirala sukladnost zahtjevima vlastitog OH&S sustava, ove OHSAS norme i postignutih rezultata.

Organizacija mora uspostaviti, implementirati i održavati proceduru (c) za identifikaciju, pohranu.

zaštitu, obnavljanje, čuvanje i zbrinjavanje zapisa.

Zapisi moraju biti i ostati čitki, pravilno označeni i sljedivi.

#### 4.5.5 Interni audit

Organizacija mora osigurati da se interni audit sustava upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti provodi u planiranim intervalima zbog:

- a) utvrđivanja da lije sustav upravljanja OH&S:
  - 1. sukladan planiranim zahtjevima sustava upravljanja OH&S, uključujući i zahtjeve ove OHSAS norme,
  - 2. pravilno uveden i održavan, te
  - 3. učinkovit u ostvarivanju politike i ciljeva organizacije, te
  
- b) dobavlja li informacije o rezultatima audita poslovodstvu.

Audit programi moraju biti planirani, uspostavljeni, implementirani i održavani po organizaciji, te temeljeni na rezultatima procjene rizika organizacijskih aktivnosti i rezultatima prethodnih audita.

Procedura(e) audita mora biti uspostavljena, implementirana i održavana, te mora označiti:

- a) odgovornosti, kompetencije i zahtjeve za planiranje i provođenje audita, izvještavanje o rezultatima audita i o čuvanju odgovarajućih zapisa, te
- b) mora definirati audit kriterije, opseg, učestalost i metode auditiranja.

Izbor auditora i način provođenja mora osigurati objektivnost i ujednačenost audit procesa.

#### 4.6 Poslovodna ocjena OH&S sustava (pregled posloводства)

Najviše posloводство mora ocijeniti sustav upravljanja OH&S u planiranim intervalima, zbog osiguranja trajne primjerenosti, primjenjivosti i učinkovitosti.

Pregled mora uključiti procjene mogućnosti za poboljšanjem i potrebe za promjenama OH&S sustava, uključujući OH&S politiku i ciljeve.

Zapisi o poslovodnoj ocjeni sustava upravljanja moraju se čuvati.

Ulazni podaci za poslovodnu ocjenu sustava moraju uključivati:

- a) rezultate internih audita i procjena sukladnosti sa primjenjivim zakonskim zahtjevima i ostalim zahtjevima koje je organizacija prihvatila;
- b) rezultate sudjelovanja i savjetovanja (4.4.3);
- c) odgovarajuće komunikacije s vanjskim zainteresiranim stranama, uključujući pritužbe;
- d) performanse sustava upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti organizacije;
- e) razinu ostvarenja ciljeva organizacije;
- f) status istraživanja incidenata, kolektivnih akcija i preventivnih akcija;
- g) akcije praćenja prethodnih ocjena posloводства;
- h) pojave promjena, uključujući razvoj zakonskih i ostalih zahtjeva koji se odnose na OH&S; te
- i) preporuke za poboljšanja.

Izlazni podaci poslovodne ocjene moraju biti sukladni organizacijskoj privrženosti trajnom poboljšanju i moraju uključivati svaku odluku i akciju koja se odnosi na moguće izmjene :

- OH&S performansi,
- OH&S politike i ciljeva,
- resursa, te
- ostalih elemenata sustava upravljanja OH&S.

Odgovarajući izlazi s poslovodne ocjene moraju biti dostupni za suradnju i savjetovanje (4.4.3)



OHSAS 18001:2007 - OHSAS 18001:1999

OHSAS 18001:2007		OHSAS 18001: 1999	
	predgovor		-
1	Područje	1	Područje
2	Referentni dokumenti	2	Referentni dokumenti
3	Pojmovi i definicije (23 kom.)	3	Pojmovi i dcfiniujt' (17 kom.)
4	Zahtjevi sustava upravljanja OH&S	4	Elementi sustava upravljanja OH&S
4.1	Opći zahtjevi	4.1	Opći zahtjevi
4.2	Politika OH&S	4.2	Politika OH&S
4.3	Planiranje	4.3	Planiranje
4.3.1	Identifikacija opasnosti, procjena rizika i određivanje kontrole	4.3.1	Planiranje identifikacije opasnosti, procjena rizika i kontrola rizika
4.3.2	Zakonski i ostali zahtjevi	4.3.2	Zakonski i ostali zahtjevi
4.3.3	Ciljevi i programi	4.3.3	Ciljevi
		4.3.4	Programi upravljanja OH&S
4.4	Implementacija i provođenje	4.4	Implementacija i provođenje
4.4.1	Resursi, uloge, odgovornosti, obveze i ovlaštenja	4.4.1	Struktura i odgovornosti
4.4.2	Kompetencije, osposobljavanje i budnost	4.4.2	Osposobljavanje, budnost i kompetencije
4.4.3	Komunikacije, sudjelovanje i savjetovanje	4.4.3	Konzultacije i komunikacije
4.4.3.1	Komunikacija		-
4.4.3.2	Sudjelovanje i savjetovanje		-
4.4.4	Dokumentacija	4.4.4	Dokumentacija
4.4.5	Kontrola dokumenata	4.4.5	Kontrola dokumenata i podataka
4.4.6	Nadzor procesa	4.4.6	Nadzor procesa
4.4.7	Spremnost i odziv na hitne situacije	4.4.7	Spremnost i odziv na hitne situacije
4.5	Provjere	4.5	Provjere i korektivne akcije
4.5.1	Mjerenje učinkovitosti i nadzor	4.5.1	Mjerenje učinkovitosti i nadzor
4.5.2	Ocjenjivanje sukladnosti	-	-
4.5.3	Istraživanje incidenata, nesukladnosti, korektivne i preventivne aktivnosti	4.5.2	Akcidenti, incidenti, nesukladnosti, korektivne i preventivne akcije
4.5.3.1	Istraživanje incidenata	-	-
4.5.3.2	Nesukladnosti, korektivne i preventivne aktivnosti	-	-
4.5.4	Kontrola zapisa	4.5.3	Zapisi i upravljanje zapisima
4.5.5	Interni audit	4.5.4	Audit
4.6	Pregled posloводства	4.6	Pregled posloводства