

UNIVERZITET „UNION - NIKOLA TESLA”, BEOGRAD
FAKULTET ZA INFORMACIONE TEHNOLOGIJE I INŽENJERSTVO

Hana Qananah Ghayth Rizq Allah

**DIZAJNIRANJE VERTIKALNIH ATMOSFERSKIH REZERVOARA
IMPLEMENTACIJOM SOFTVERA U RAFINERIJAMA NAFTE**

Doktorska Disertacija

Beograd, 2023

UNIVERSITY „UNION - NIKOLA TESLA”, BELGRADE
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND ENGINEERING

Hana Qananah Ghayth Rizq Allah

**DESIGN OF VERTICAL ATMOSPHERIC TANKS BY
IMPLEMENTATION OF SOFTWARE IN OIL REFINERY**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2023

Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije

Predsednik: prof. dr Maja Anđelković, redovni profesor Fakulteta za informacione tehnologije i inženjerstvo Univerziteta „Union – Nikola Tesla“ u Beogradu

Mentor: doc. dr Boris Damjanović, docent Fakulteta za informacione tehnologije i inženjerstvo Univerziteta „Union – Nikola Tesla“ u Beogradu

Mentor: prof. dr Nataša Đorđević, viši naučni saradnik Instituta za tehnologiju nukleranih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), Beograd

Član: prof. dr Radovan Petrović, redovni profesor u penziji Fakulteta za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu

Datum odbrane: _____ god

PREDGOVOR

Doktorska disertacija "Dizajniranje vertikalnih atmosferskih rezervoara implementacijom softvera u rafinerijama nafte", predstavlja nastavak višedecenijskih istraživanja u oblasti upotrebe računara u naftnoj industriji.

U naftnom inženjerstvu računari su korišćeni za rešavanje problema u: površinskom odvajanju; performansama primarnog rezervoara; operacijama održavanja pritiska i sekundarnog oporavka; operacijama gasnom polju uključujući retrogradno ponašanje, ciklus, isporučivost, rad postrojenja za gas, operacije gasovoda i zahteva za kompresorima; ekonomiji; maksimiziranju profita ili minimiziranje troškova; statističkim analizama i opšte inženjerske prakse. Upotreba računara u naftnoj industriji je napredovala do tačke u kojoj svaki inženjer treba da bude upoznat sa postupcima koji se mogu primeniti na njegov rad. Ovo znanje će mu dozvoliti da proceni procedure objavljene u literature i utvrditi prednosti i nedostatke korišćenja računara za obavljanje određenih poslova.

Svrha ovog rada je razmatranje efikasne upotrebe računara u naftnom inženjerstvu. Kompjuter je veoma pogodan za izvođenje proračuna repetitivnog tipa koji su potrebni za izradu studija rezervoara koje uključuju: proračune zapreminskog balansa pogona rastvorenog gasa pomoću Muska metode; volumetrijska ravnoteža i proračuni u nestacionarnom stanju; Bucklei–Leverettov proračun pomaka; kombinacije volumetrijskog balansa, nestacionarnog stanja i proračuna Bakli-Leveretovog položaja i proračune smanjenja podataka za upotrebu u kombinaciji sa električnom analognom računarskom opremom.

Tamo gde je potrebna studija, računar je idealan alat za izračunavanje performansi rezervoara. Kada su osnovni podaci pripremljeni i uneti u mašinu, mogu se izvršiti ponovljeni testovi. Međutim, za sve probleme u ovoj kategoriji, uvek treba dobro utvrditi da je detaljna kompjuterska studija opravdana. Nedefinisane varijacije u osnovnim podacima u velikoj meri utiču na rezultate merenja rezervoara i u zavisnosti od krajnje upotrebe rezultata, vrlo jednostavne kalkulacije i/ili dobre inženjerske aproksimacije.

Veliku zahvalnost dugujem mentoru dr Borisu Damjanoviću, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo Univerziteta „Union – Nikola Tesla“ u Beogradu, na stručnoj pomoći koju mi je pružio tokom izrade doktorske disertacije. Veliki doprinos je dao u tumačenju projektovanja rezervoara primenom računara i naprednih softverskih alata i poređenju rezultata dobijenih metodom konačnih elemenata sa rezultatima analitičkih metoda, kao i sa rezultatima eksperimentalnih istraživanja u cilju izvođenja konačnih zaključaka.

Veliku zahvalnost dugujem i mentoru dr Nataši Đorđević, višem naučnom saradniku Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina iz Beograda, na nesebičnoj stručnoj pomoći koju mi je pružila tokom svih faza izrade doktorske disertacije. Veliki doprinos je dala u tumačenju i poređenju rezultata dobijenih metodom konačnih elemenata sa rezultatima analitičkih metoda, kao i sa rezultatima eksperimentalnih istraživanja u cilju izvođenja konačnih zaključaka. Svojim sugestijama i komentarima tokom pisanja doktorske disertacije dr Nataša Đorđević mi je pomogla u formiranju konačne verzije teksta.

Zahvaljujem prof. dr Radovanu Petroviću na nesebičnoj pomoći pri realizaciji disertacije, posebno u realizaciji eksperimentalnog dela i publikovanju rezultata istraživanja. Značajnu pomoć imala sam od kolega iz Laboratorije za inženjerski softer Fakulteta tehničkih nauka u Kragujevcu, zatim i kolega iz Laboratorije za zavarivanje Fakulteta za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, na čemu im ovom prilikom zahvaljujem. U realizaciji disertacije imala sam podršku i PPT Namenska iz Trstenika, koji su mi na njihovoj opremi omogućili analizu rezultata istraživanja na čemu im zahvaljujem.

DIZAJNIRANJE VERTIKALNIH ATMOSFERSKIH REZERVOARA IMPLEMENTACIJOM SOFTVERA U RAFINERIJAMA NAFTE

REZIME

Doktorska disertacija “Dizajniranje vertikalnih atmosferskih rezervoara implementacijom softvera u rafinerijama nafte”, predstavlja nastavak višedecenijskih istraživanja u oblasti upotreba računara u naftnoj industriji. Matematičkim modeliranjem, analizom opterećenja i deformacija vertikalnih atmosferskih rezultata, izvršena je optimizacija konstrukcija različitih tipova atmosferskih rezervoara. Primenjena je metoda konačnih elemenata, koja je pokazala veliku podudarnost eksperimenta i matematičkog modeliranja zahvaljujući razvijenim paketima programa PAK u Laboratoriji za inženjerski softver na Fakultetu inženjerskih nauka u Kragujevcu. Mernim trakama u Laboratoriji opitnog centra na Fakultetu za mašinstvo i građevinstvo u Kraljevu eksperimentalno je izvršeno ispitivanje opterećenja rezervoara, koje je pokazalo veliku podudarnost sa proračunskim rezultatima.

U naftnom inženjerstvu računari su korišćeni za rešavanje problema u: površinskom odvajanju; performansama primarnog rezervoara; operacijama održavanja pritiska i sekundarnog oporavka; operacijama na gasnom polju uključujući retrogradno ponašanje, ciklus, isporučivost, rad postrojenja za gas, operacije gasovoda i zahteva za kompresorima; ekonomiji; maksimiziranju profita ili minimiziranje troškova; statističkim analizama i opšte inženjerske prakse.

Upotreba računara u naftnoj industriji je napredovala do tačke u kojoj svaki inženjer treba da bude upoznat sa postupcima koji se mogu primeniti na njegov rad. Ovo znanje će mu dozvoliti da proceni procedure objavljene u literaturi i utvrditi prednosti i nedostatke korišćenja računara za obavljanje određenih poslova.

Svrha ovog rada je razmatranje efikasne upotrebe računara u naftnom inženjerstvu. Kompjuter je veoma pogodan za izvođenje proračuna repetitivnog tipa koji su potrebni za izradu studija rezervoara koje uključuju: proračune zapreminskog balansa pogona. Rad takođe pokazuje načine dizajniranja vertikalnih atmosferskih rezervoara, implementacijom softvera u rafinerijama nafte.

Ključne reči: Informacione tehnologije, rafinerija nafte, rezervoari, dizajniranje, računari, eksperiment.

DESIGN OF VERTICAL ATMOSPHERIC TANKS BY IMPLEMENTATION OF SOFTWARE IN OIL REFINERY

Abstract

The doctoral dissertation "Designing vertical atmospheric reservoirs by implementing software in oil refineries" is a continuation of several decades of research in the field of computer use in the oil industry. Through mathematical modeling, analysis of loads and deformations of vertical atmospheric results, the optimization of constructions of different types of atmospheric reservoirs was carried out. The finite element method was applied, which showed a great agreement between the experiment and the mathematical modeling thanks to the developed PAK program packages in the Engineering Software Laboratory at the Faculty of Engineering in Kragujevac. The load test of the tank was experimentally carried out with measuring tapes in the Laboratory of the experimental center at the Faculty of Mechanical Engineering and Construction in Kraljevo, which showed a great agreement with the calculated results.

The performance of the primary tank, surface separation, pressure maintenance, secondary recovery operations, gas field operations, including retrograde behavior, cycle, deliverability, gas plant operation, pipeline operations, and compressor requirements, economy, profit maximization or cost minimization, statistical analyses, and general engineering practices have all been solved using computers in petroleum engineering.

Every engineer should be familiar with the methods that can be used in his work because computer technology in the petroleum business has grown to the point where it is now necessary. With this knowledge, he will be able to assess the methods described in the literature and weigh the benefits and drawbacks of utilizing computers to carry out particular activities.

The purpose of this paper is to consider the effective use of computers in petroleum engineering. The computer is well suited for performing the repetitive type calculations required for reservoir studies which include: volume balance calculations of the plant. The paper also shows ways to design vertical atmospheric reservoirs by implementing the software in oil refineries.

Keywords: Information technologies, oil refinery, reservoirs, designing, computers, experiment.

Sadržaj

1. UVODNA RAZMATRANJA	10
2. RAZVOJ INFORMACIONIH TEHNOLOGIJA U NAFTNOJ INDUSTRIJI.....	16
2.1.Geoprostorne analize	16
2.2.Senzorska tehnologija i Internet stvari (IoT)	17
2.3.Big Data i analitika	18
2.4.Modeliranje i simulacije	19
2.5.Automatizacija procesa.....	21
2.6.Smanjenje uticaja na životnu sredinu	22
2.7.Sigurnost i sajber bezbednost.....	23
3.INFORMACIONE TEHNOLOGIJE U PROCESU ZAVARIVANJA ATMOSFERSKIH REZERVOARA.....	25
3.1 CAD/CAM softveri.....	25
3.2 Simulacija zavarivanja	27
3.3 Nadzor zavarivanja	28
3.4 Robotizovano zavarivanje.....	30
3.5 Kvalitet kontrole	31
3.6 Baza podataka i praćenje	33
3.7 Integracija sa drugim sistemima	34
3.8 Bezbednost i obuka	36
4. TEHNOLOGIJA IZRADE ATMOSFERSKIH REZERVOARA ZA NAFTU	38
4.1 Dizajn i planiranje.....	39
4.2 Materijali.....	40
4.3 Izrada zidova rezervoara	41
4.4 Zavarivanje	43
4.5 Ispitivanje kvaliteta	44
4.6 Premazi i zaštita od korozije	46
4.7 Montaža i dodatna oprema.....	47
4.8 Testiranje i sertifikacija	49
4.9 Transport i instalacija.....	51

Transport delova:	51
Instalacija rezervoara:	52
4.10 Održavanje	52
4.11. Pregled međunarodnih standarda za izradu i kontrolu rezervoaravolikih zapremina za skladištenje nafte.....	54
5 METALOGRAFSKA ISPITIVANJA ZAVARENOG SPOJA REZERVOARA.....	56
5.1. Priprema uzorka	56
5.2. Poliranje i brušenje	57
5.3. Atačment (otvaranje površine).....	58
5.4. Mikroskopska analiza	59
5.5 Ispitivanje tvrdoće.....	60
5.6. Ocena rezultata.....	61
6. PRORAČUNA ČVRSTOĆE ZIDOVA REZERVOARA.....	62
6.1. Pretpostavke proračuna	62
6.1.1. Sile i momenti na element ljuske.....	63
6.1.2. Cilindričnaljuskakružnogpoprečnogpreseka	66
6.1.3. Deformacije elementa ljuske	67
6.2. Proračun unutrašnjeg pritiska	71
6.3. Proračun opterećenja vetrom	74
6.4. Proračun momenta vetra	75
6.5 Sigurnosni faktori.....	76
6.6. Seizmički proračun	77
6.7. Dijagrami cirkularnog i aksijalnog naponana primeru vertikalnog atmosferskog rezervoara zapremine 3000 m ³	79
7. PRIMENA METODE KONAČNIH ELEMENATA U PRORAČUNU REZERVOARA..	89
7.1. Modeliranje geometrije	89
7.2. Podela na elemente	91
7.3. Definisanje materijala	93
7.4. Definisanje uslova opterećenja	94
7.5. Rešavanje sistema jednačina.....	96
7.6. Analiza rezultata	97

7.7.Poboljšavanje dizajna.....	99
7.8.Primer rešenja i analiza rezultata	100
8.DIZAJNIRANJE REZERVOARA IMPLEMENTACIJOM SOFTVERA	111
8.1. Analiza zahteva i specifikacija	111
8.2.Optimizacija dizajna	112
8.3.Finansijska analiza	113
8.4.Vizualizacija i dokumentacija.....	114
8.5.Komunikacija i saradnja	118
8.6.Mesto i uloga atmosferskih rezervoara u lučkim terminalima.....	120
9.ZAKLJUČCI.....	122
Literatura.....	124

1. UVODNA RAZMATRANJA

Dizajniranje rezervoara i sudova pod pritiskom je složen inženjerski proces koji zahteva pažljivo uzimanje u obzir različitih faktora kako bi se osigurala sigurnost, funkcionalnost i trajnost konstrukcije.

Ključni koraci i faktori koje treba uzeti u obzir prilikom dizajniranja ovakvih objekata odnose se na:

- **Regulative i standarde:** pre svega, treba se upoznati sa relevantnim inženjerskim standardima i regulativama koji se odnose na dizajniranje rezervoara i sudova pod pritiskom. U većini zemalja postoje specifični propisi koji definišu minimalne zahteve za dizajn, materijale, izgradnju i testiranje ovih objekata.
- **Izbor materijala:** materijal od kojeg će biti izrađen rezervoar ili sud igra ključnu ulogu u sigurnosti i trajnosti. Materijal mora imati odgovarajuću otpornost na pritisak, koroziju i druge hemijske uticaje. Često se koriste čelici visoke čvrstoće ili legure.
- **Dimenzionisanje i geometrija:** dimenzije i geometrija rezervoara ili suda zavise od kapaciteta i pritiska koji će biti prisutni. Pravilno dimenzionisanje i oblik će osigurati ravnomernu raspodelu pritiska i minimizirati potencijalne tačke koncentracije napona.
- **Debljina zida:** debljina zida konstrukcije je ključna za izdržavanje pritiska. Ona se određuje na osnovu analiza napona i deformacija koje mogu nastati pod pritiskom i opterećenjima.
- **Dizajn pritiska:** projektant mora pažljivo odabrati radni pritisak i dopušteni maksimalni pritisak. Ovi parametri moraju biti usaglašeni sa regulativama i korisničkim zahtevima.
- **Sigurnosni faktori:** u dizajnu se često koriste sigurnosni faktori kako bi se uzeli u obzir nepredviđeni faktori kao što su varijacije materijala, montaža, korozija tokom vremena itd. Ovi faktori obezbeđuju siguran i pouzdan rad konstrukcije.
- **Spojevi i zavari:** konstrukcija rezervoara i sudova pod pritiskom zahteva precizno izvođenje zavora i pouzdane spojeve kako bi se osigurao integritet konstrukcije. Kvalitet zavora i spojeva je ključan za sprečavanje curenja i katastrofalnih neuspeha.
- **Analize i simulacije:** koristeći napredne softverske alate, inženjeri često vrše numeričke analize i simulacije kako bi procenili ponašanje konstrukcije pod pritiskom i identifikovali potencijalne tačke slabosti ili prekomerne napone.

- Testiranje i inspekcija: nakon izgradnje, rezervoari i sudovi pod pritiskom se često podvrgavaju rigoroznim testiranjima, uključujući hidrostatičko testiranje i ultrazvučne preglede, kako bi se potvrdio njihov integritet.
- Održavanje: nakon izgradnje, redovno održavanje i inspekcije su ključni za očuvanje sigurnosti i funkcionalnosti rezervoara i sudova pod pritiskom tokom vremena.

Dizajniranje rezervoara i sudova pod pritiskom zahteva stručnost iz oblasti mašinskog inženjeringa, građevinarstva i materijala, kao i detaljno poznavanje specifičnih zahteva regulativa i standarda[1-3]. Ovo su samo osnovni koraci i faktori koje treba uzeti u obzir, a svaki projekat može imati svoje specifične zahteve i složenosti. Uvek je preporučljivo angažovati iskusne inženjere i stručnjake koji su upoznati sa relevantnim regulativama kako bi se obezbedila sigurna i efikasna konstrukcija.

Atmosferski rezervoari velikih zapremina često se koriste za skladištenje različitih tečnosti, gasova ili čvrstih materijala[4]. Podela ovih rezervoara prema nameni može varirati u zavisnosti od industrijskih sektora i specifičnih zahteva. Uobičajena podela atmosferskih rezervoara velikih zapremina prema nameni:

- Naftni i petrohemijski sektor:

Rezervoari za sirovu naftu: koriste se za skladištenje sirove nafte pre nego što se dalje procesira.

Rezervoari za rafinisane proizvode: koriste se za skladištenje rafinisanih naftnih derivata kao što su benzini, dizeli, kerozin, mazuti itd.

Rezervoari za hemikalije: to su namenski dizajnirani rezervoari za skladištenje hemikalija koje se koriste u rafinerijama.

- Vodoprivredni sektor:

Rezervoari za vodu: koriste se za skladištenje pitke vode ili vode za tehničke svrhe, kao i za regulaciju vodostaja reka i jezera.

- Prehrambeni sektor:

Rezervoari za prehrambene proizvode: upotrebljavaju se za skladištenje tečnih prehrambenih proizvoda kao što su ulja, sokovi, sirupi, mleko itd.

- Hemijski sektor:

Rezervoari za hemikalije: namenski dizajnirani rezervoari za skladištenje različitih hemikalija, uključujući agresivne i opasne supstance.

- Energetski sektor:

Rezervoari za gorivo: koriste se za skladištenje goriva kao što su gorivo za elektrane i energane.

- Farmaceutski sektor:

Rezervoari za farmaceutske proizvode: koriste se za skladištenje farmaceutskih sirovina i finalnih proizvoda.

- Proizvodni sektor:

Rezervoari za sirovine: koriste se za skladištenje sirovina koje se koriste u proizvodnji, kao što su čelik, beton, minerali itd.

- Transport i logistika:

Rezervoari za transport: ovi rezervoari su dizajnirani tako da se mogu prevoziti putem brodova, kamiona ili železnice, često za tečne terete kao što su nafta ili hemikalije.

- Urbano planiranje:

Rezervoari za opštu upotrebu: koriste se za skladištenje vode za komunalne svrhe, kao što je snabdevanje gradova vodom za piće ili za gašenje požara.

Ova podela je samo osnovna i može se prilagoditi u skladu sa specifičnim potrebama i industrijama[5]. Svaka vrsta atmosferskog rezervoara zahteva poseban pristup u projektovanju, materijalima, sigurnosnim merama i regulativama kako bi se osigurala sigurnost, funkcionalnost i trajnost konstrukcije.

Projektovanje rezervoara i sudova pod pritiskom može se znatno unaprediti primenom računara i naprednih softverskih alata[6-10]. Ovo omogućava inženjerima da izvrše detaljne analize, simulacije i optimizacije kako bi osigurali sigurnost, efikasnost i pouzdanost konstrukcije. Evo nekoliko načina na koje računari mogu biti primenjeni u ovom procesu:

- CAD (Computer-Aided Design) softver: računari omogućavaju korišćenje CAD softvera za detaljno projektovanje geometrije rezervoara ili sudova pod pritiskom. Ovaj softver olakšava precizno modeliranje svih komponenata konstrukcije i omogućava vizualizaciju u 3D formatu.
- Numerička analiza i simulacije: računari omogućavaju inženjerima da koriste napredne numeričke alate kao što su FEM (Finite Element Method) ili CFD (Computational Fluid Dynamics) za analizu ponašanja konstrukcije pod pritiskom. Ovi alati omogućavaju

detaljno proučavanje raspodele napona, deformacija, temperature, protoka fluida i drugih faktora koji mogu uticati na sigurnost i performanse konstrukcije.

- Optimizacija: računari mogu biti korišćeni za optimizaciju dimenzija, oblika i materijala konstrukcije kako bi se postigla maksimalna efikasnost i minimalni rizik od otkaza. Ovi postupci mogu se izvesti uzimajući u obzir različite zahteve kao što su nosivost, minimalna težina i minimalna debljina zida.
- Sigurnosne analize: primena računara omogućava izvođenje različitih scenarija kako bi se procenila sigurnost konstrukcije pod različitim uslovima pritiska, temperature i opterećenja. Ovo pomaže inženjerima da identifikuju potencijalne tačke slabosti i preduzmu odgovarajuće korake kako bi se otklonili rizici.
- Hidrostatičko testiranje: Računari mogu simulirati hidrostatičko testiranje rezervoara ili suda kako bi se proverilo ponašanje konstrukcije pod maksimalnim pritiskom i identifikovali eventualni problemi ili slabosti.
- Ultrazvučni pregledi: računari mogu olakšati planiranje i analizu ultrazvučnih pregleda kako bi se detektovali skriveni nedostaci u materijalu ili zavarenim spojevima.
- Integracija regulativa i standarda: softverski alati mogu biti dizajnirani tako da integrišu relevantne regulative i standarde kako bi inženjerima pružili smernice i obezbedili da projekt bude u skladu sa propisima.
- Arhiviranje i dokumentacija: računarski alati omogućavaju lako arhiviranje i vođenje dokumentacije o dizajnu, analizama i testiranjima, što je od suštinskog značaja za praćenje napretka projekta i potencijalne buduće modifikacije.
- Kontrola kvaliteta: računari mogu pomoći u praćenju kvaliteta tokom procesa izgradnje, uključujući praćenje postupaka zavarivanja i izvođenje neinvazivnih testova na materijalu.
- Obuka i simulacija: računarski modeli mogu se koristiti za obuku inženjera i radnika kako bi se simulirali različiti aspekti izgradnje, operacije i održavanja.

Sve ove primene računara doprinose sveobuhvatnom i preciznom dizajniranju rezervoara i sudova pod pritiskom, čime se minimizira rizik od otkaza, poboljšava efikasnost i osigurava usklađenost sa regulativama[11]. Međutim, važno je napomenuti da i dalje zahteva stručnost inženjera i analitičke veštine kako bi se interpretirali rezultati simulacija i donosili relevantni dizajnerski zaključci.

Veštačka inteligencija (VI) može da igra značajnu ulogu u različitim aspektima dizajniranja, izrade i montaže rezervoara velikih zapremina za naftu[12]. Moguće primene veštačke inteligencije u oblasti rezervoara:

- Dizajn i optimizacija: VI može analizirati razne parametre i performanse kako bi generisala optimalne geometrijske konfiguracije rezervoara. Ovo može uključivati optimizaciju dimenzija, oblika, debljine zida i materijala kako bi se postigla maksimalna efikasnost i strukturalna integritet.
- Simulacije i analize: Veštačka inteligencija može izvoditi napredne numeričke analize i simulacije kako bi se procenila ponašanja rezervoara pod različitim uslovima pritiska, temperature, opterećenja i drugih faktora. Ovo omogućava identifikaciju potencijalnih problema pre nego što rezervoar bude izgrađen.
- Upravljanje materijalima: VI može analizirati karakteristike različitih materijala i predložiti optimalne kombinacije kako bi se postigli potrebni performansi i trajnost, uzimajući u obzir troškove i dostupnost materijala.
- Planiranje i raspored montaže: Veštačka inteligencija može analizirati prostorne zahteve, opremu, resurse i troškove kako bi generisala efikasne planove za montažu rezervoara na lokaciji.
- Kvalitet kontrole i inspekcija: VI može koristiti tehnike vizualne analize i analize podataka kako bi automatski detektovala nedostatke ili nepravilnosti tokom procesa izrade, poput zavarenih spojeva ili materijalnih oštećenja.
- Prediktivno održavanje: Primena VI u praćenju senzora i podataka o performansama rezervoara tokom operativnog ciklusa omogućava prediktivno održavanje. Ovo pomaže u identifikaciji potencijalnih problema i planiranju održavanja pre nego što dođe do ozbiljnih problema.
- Obuka i simulacija: VI može koristiti virtuelne simulacije kako bi obučila radnike za sigurno i efikasno montiranje rezervoara, omogućavajući im da steknu praktično iskustvo pre nego što započnu stvarni rad.
- Automatizacija procesa: VI može upravljati određenim aspektima proizvodnje i montaže, kao što je kontrola robota za zavarivanje ili upravljanje procesom postavljanja ploča.
- Analiza troškova i vremena: VI može analizirati različite parametre i faktore kako bi procenila troškove i vreme potrebno za izradu i montažu rezervoara, pomažući u donošenju informisanih odluka.

Ove primene veštačke inteligencije doprinose efikasnosti, sigurnosti i tačnosti u procesu izrade i montaže rezervoara velikih zapremina za naftu. Međutim, važno je naglasiti da VI treba da bude podržana stručnošću inženjera i operatera kako bi se postigao optimalan rezultat.



Slika 1. Atmosferski rezervoari

2. RAZVOJ INFORMACIONIH TEHNOLOGIJAU NAFTNOJ INDUSTRIJI

Razvoj informacionih tehnologija (IT) ima značajan uticaj na sve industrije, uključujući i naftnu industriju. Naftna industrija je tradicionalno bila poznata po svojoj teškoj industrijskoj prirodi i kompleksnim procesima, ali u poslednjim decenijama IT je postao ključan faktor za optimizaciju operacija, smanjenje troškova i povećanje efikasnosti.

2.1.Geoprostorne analize

Upotreba geografskih informacionih sistema (GIS) omogućava naftnim kompanijama da analiziraju geoprostorne podatke poput geoloških formacija, rezervoara nafte i gasa, topografije terena itd. Ovo pomaže u boljem razumevanju terena i efikasnijem planiranju bušenja i eksploatacije[13-14].

Geoprostorne analize, takođe poznate kao prostorne analize, predstavljaju proces prikupljanja, interpretacije, analize i vizualizacije geografskih podataka kako bi se dobili korisni uvidi i informacije o fizičkom svetu i prostoru oko nas[15]. Ove analize koriste geografske informacije i tehnologije kako bi se razumela veza između geografskih karakteristika i različitih pojava ili događaja.U kontekstu naftne industrije, geoprostorne analize imaju ključnu ulogu u različitim aspektima, uključujući:

- Istraživanje i eksploataciju: Geoprostorne analize se koriste za analizu geoloških karakteristika i formacija kako bi se identifikovali potencijalni nalazi nafte i gasa. Pomoću geografskih podataka kao što su gravimetrijski, magnetni i seizmički podaci, inženjeri mogu bolje razumeti podzemne strukture i formirati modele koji pomažu u planiranju bušenja.
- Razvoj bušotina: Korišćenjem geografskih informacija, inženjeri mogu bolje odabrati lokacije za bušotine. Geoprostorne analize uzimaju u obzir faktore kao što su topografija terena, udaljenost od infrastrukture i potencijalni uticaj na životnu sredinu.
- Transport i logistiku: Geoprostorne analize olakšavaju optimizaciju transporta nafte i gasa. Pomoću geografskih podataka može se efikasno planirati rutama, proračunavati vreme putovanja i izbegavati potencijalne rizike na putevima.
- Bezbednost i zaštitu životne sredine: Geoprostorne analize omogućavaju praćenje uticaja na životnu sredinu, kao što su curenja nafte ili gasa, promene u okruženju i sl. Ovi podaci pomažu u brzom reagovanju na incidente i smanjenju štete.

- Analizu tržišta i potražnje: Geoprostorne analize se takođe koriste za razumevanje tržišta i potražnje. Kombinovanjem geografskih podataka sa sociodemografskim informacijama, kompanije mogu bolje razumeti regionalne razlike u potrošnji i prilagoditi svoje poslovne strategije.
- Regulatorno usklađivanje: U mnogim slučajevima, naftne kompanije moraju da se pridržavaju zakona i propisa koji se razlikuju prema geografskim lokacijama. Geoprostorne analize pomažu u praćenju i upravljanju usklađivanjem sa lokalnim i regionalnim regulativama.

Ove primene geoprostornih analiza u naftnoj industriji samo su nekoliko primera kako se tehnologija geografskih informacionih sistema (GIS) koristi za optimizaciju procesa, donošenje odluka i bolje razumevanje kompleksnih geografskih aspekata ove industrije.

2.2.Senzorska tehnologija i Internet stvari (IoT)

Ugradnja senzora na opremu kao što su bušotine, naftni rezervoari, cevovodi itd. omogućava praćenje u realnom vremenu. Ovi podaci se mogu analizirati kako bi se otkrili problemi pre nego što dođe do ozbiljnijih kvarova, smanjilo vreme neaktivnosti i povećala bezbednost[16].

Senzorska tehnologija i Internet stvari (IoT) igraju ključnu ulogu u transformaciji naftne industrije omogućavajući praćenje i upravljanje fizičkim objektima i procesima putem mreže. IoT se odnosi na mrežu povezanih uređaja, senzora i sistema koji međusobno komuniciraju i razmenjuju podatke putem interneta. U naftnoj industriji, senzori i IoT pružaju brojne prednosti:

- Praćenje u realnom vremenu: Senzorska tehnologija omogućava kontinuirano praćenje različitih parametara kao što su temperatura, pritisak, vlažnost, nivo fluida, vibracije i drugi. Ovi podaci se mogu prenositi u realnom vremenu putem IoT mreže, omogućavajući brzo reagovanje na promene ili nepravilnosti.
- Održavanje i upravljanje opremom: Senzori mogu detektovati rani znak kvarova ili neispravnosti na opremi kao što su bušotine, pumpe, kompresori i drugi uređaji. Ovo omogućava preventivno održavanje kako bi se izbegli skupi kvarovi i vreme neaktivnosti.

- Sigurnost radnika: Senzori se mogu koristiti za praćenje bezbednosti radnika u realnom vremenu. Na primer, detekcija prisustva toksičnih gasova ili potencijalno opasnih uslova može automatski pokrenuti alarme ili evakuaciju.
- Praćenje rezervoara: Senzori mogu meriti nivo i temperaturu nafte, gasa ili vode u rezervoarima. Ovi podaci pomažu u boljem upravljanju zaliha, transporta i optimizaciji procesa.
- Efikasnost operacija: IoT omogućava bolje upravljanje resursima i optimizaciju operacija. Na primer, senzori za praćenje potrošnje energije mogu identifikovati oblasti gde se troši previše energije i pomoći u implementaciji mera štednje.
- Analitika i donošenje odluka: Velike količine podataka prikupljene putem senzora se mogu analizirati kako bi se dobili dublji uvidi u performanse opreme, potrošnju resursa, efikasnost procesa i druge ključne aspekte poslovanja. Ovi uvidi pomažu boljem donošenju odluka.
- Fleksibilnost i udaljeni nadzor: IoT omogućava udaljeni nadzor i upravljanje objektima i procesima. Udaljeni inženjeri i operateri mogu pratiti i kontrolisati opremu sa udaljenih lokacija putem interneta.

Međutim, važno je napomenuti da povezivanje senzora i uređaja putem IoT donosi i izazove u vezi sa sigurnošću podataka, zaštitom privatnosti, skalabilnošću i interoperabilnošću sistema[17]. Stoga, implementacija senzorske tehnologije i IoT zahteva pažljivo planiranje i upravljanje kako bi se iskoristile sve prednosti uz minimalizaciju rizika.

2.3. Big Data i analitika

Naftna industrija generiše ogromne količine podataka tokom procesa eksploatacije, prerade i distribucije[18]. Analitika velikih podataka pomaže kompanijama da izvuku korisne uvide iz ovih podataka, kao što su modeli proizvodnje, trendovi potražnje, efikasnost opreme itd.

U naftnoj industriji, "Big Data" se odnosi na ogromne količine podataka koje se generišu tokom različitih operacija i procesa. Analitika velikih podataka se bavi obradom, analizom i izvlačenjem korisnih informacija iz ovih ogromnih skupova podataka. Primena analitike velikih podataka u naftnoj industriji donosi niz prednosti:

- Modeliranje i optimizacija: Analitika velikih podataka omogućava kreiranje modela koji simuliraju različite scenarije, kao što su proizvodnja nafte i gasa, optimizacija procesa,

bušenje bušotina itd. Ovi modeli pomažu inženjerima da donesu informisane odluke koje vode do efikasnijeg poslovanja.

- Otkrivanje uzoraka i trendova: Analitika velikih podataka pomaže u otkrivanju uzoraka i trendova koji se ne bi lako primetili u manjim setovima podataka. Na primer, analiza seizmičkih podataka i geoloških informacija može otkriti potencijalna nalazišta nafte i gasa.
- Optimizacija proizvodnje: Praćenjem velike količine podataka o proizvodnji nafte i gasa, analitika može identifikovati oblasti gde se gubi efikasnost i gde je moguće unaprediti procese. Ovo može rezultirati povećanjem proizvodnje i smanjenjem troškova.
- Prediktivno održavanje: Analitika velikih podataka se koristi za praćenje performansi opreme i identifikaciju znakova potencijalnih kvarova pre nego što se dogode. Ovo omogućava preventivno održavanje, smanjujući vreme neaktivnosti i troškove popravki.
- Tržišna analiza: Proučavanje tržišta i analiza potražnje na osnovu velikih podataka omogućava naftnim kompanijama da bolje razumeju tržišne trendove, prilagode proizvodnju i distribuciju i bolje se pozicioniraju na tržištu.
- Smanjenje rizika i optimizacija planiranja: Analiza velikih podataka može pomoći u identifikaciji rizika i potencijalnih problema unapred. Na primer, analizom podataka o sigurnosnim incidentima i rizicima može se preduzeti akcija kako bi se izbegle opasne situacije.
- Optimizacija logistike: Veliki podaci o transportu nafte i gasa mogu se analizirati kako bi se bolje planirale rute, smanjili troškovi transporta i optimizovali resursi.

Sve ove prednosti doprinose boljem upravljanju operacijama, smanjenju troškova, povećanju efikasnosti i donošenju boljih odluka u naftnoj industriji. Međutim, upravljanje i analiza velikih podataka zahteva odgovarajuću IT infrastrukturu, alate za analizu i stručnjake koji su sposobni interpretirati rezultate i primeniti ih na praktične situacije[19-21].

2.4.Modeliranje i simulacije

Softverski alati za modeliranje i simulacije omogućavaju inženjerima da virtuelno testiraju različite scenarije pre nego što se odluče na implementaciju. Ovo smanjuje rizike i troškove eksperimentisanja u stvarnom svetu.

Modeliranje i simulacije su ključni alati u naftnoj industriji koji omogućavaju virtuelno testiranje različitih scenarija i procesa pre nego što se oni implementiraju u stvarnom svetu[22]. Ovi alati omogućavaju inženjerima da bolje razumeju kako će se određeni procesi odvijati, kako će se oprema ponašati i kako će se reagovati na različite uslove. Načini na koje se modeliranje i simulacije koriste u naftnoj industriji:

- Bušenje i proizvodnja: Simulacije se koriste za modeliranje procesa bušenja i proizvodnje nafte i gasa. Inženjeri mogu simulirati različite metode bušenja, različite opreme i parametre kako bi identifikovali najefikasniji i najsigurniji način za izvođenje operacija.
- Reservoarsko inženjerstvo: Modeliranje i simulacije pomažu u razumevanju ponašanja rezervoara nafte i gasa. Inženjeri mogu analizirati kako će se tečnosti i gasovi ponašati u podzemnim formacijama tokom proizvodnje, kako će se rezervoari prazniti i kako će se pritisak menjati tokom vremena.
- Transport nafte i gasa: Simulacije se koriste za optimizaciju transporta nafte i gasa kroz cevovode. Inženjeri mogu analizirati različite brzine protoka, pritiske i druge faktore kako bi osigurali efikasan i siguran transport.
- Razvoj i testiranje opreme: Modeliranje se koristi za dizajniranje i testiranje nove opreme pre nego što se ona izgradi. Na primer, modeliranje pumpi, kompresora ili separatora omogućava inženjerima da optimizuju dizajn i performanse pre nego što se oprema fizički konstruiše.
- Procena rizika i bezbednosti: Simulacije se koriste za procenu rizika i bezbednosti tokom različitih operacija. Inženjeri mogu simulirati potencijalne nesreće, kao što su curenja nafte ili gasa, kako bi razumeli kako bi se situacija razvijala i kako bi se doneli planovi zaštite.
- Održavanje i popravka: Modeliranje se koristi za optimizaciju planova održavanja i popravke opreme. Simulacije mogu predvideti vreme trajanja delova opreme i predložiti optimalne rasporede održavanja kako bi se smanjili troškovi i prekidi rada.
- Obuka i edukacija: Simulacije omogućavaju obuku radnika u bezbednom okruženju. Inženjeri i operateri mogu vežbati kompleksne operacije i scenarije bez stvarnog rizika.

Kroz modeliranje i simulacije, naftna industrija može donositi bolje informisane odluke, optimizirati svoje operacije, smanjiti rizik i povećati efikasnost, što doprinosi ukupnom uspehu i održivosti industrije[23].

2.5. Automatizacija procesa

Automatizacija je ključna za optimizaciju proizvodnih procesa i smanjenje ljudske intervencije u rizičnim situacijama. To može uključivati automatizaciju bušenja, transporta i drugih operacija.

Automatizacija procesa u naftnoj industriji podrazumeva upotrebu različitih tehnologija i sistema kako bi se operacije i zadaci izvodili automatski, bez značajne ljudske intervencije. Automatizacija ima mnoge prednosti, uključujući povećanje efikasnosti, smanjenje ljudske greške, brže izvršavanje zadataka i poboljšanje sigurnosti. Primeri kako se automatizacija koristi u naftnoj industriji:

- **Automatizacija bušenja:** Bušenje bušotina može biti izuzetno kompleksno i zahtevno. Automatizacija se koristi za kontrolu parametara bušenja kao što su brzina rotacije, pritisak i brzina ubacivanja. Ovo pomaže u preciznom bušenju i smanjenju rizika od havarija.
- **Automatizacija proizvodnje:** U postrojenjima za proizvodnju nafte i gasa, različiti procesi kao što su separacija, destilacija i obrada se mogu automatizovati. Ovo omogućava konzistentne i precizne operacije.
- **Upravljanje rezervoarima:** Automatizacija se koristi za praćenje i upravljanje nivoima i temperaturom tečnosti u rezervoarima. Sistemi automatski kontrolišu pumpe i ventile kako bi održali željene uslove.
- **Nadzor i kontrola cevovoda:** Automatizacija omogućava nadzor i kontrolu transporta nafte i gasa kroz cevovode. Senzori i sistemi za upravljanje automatski regulišu protok, pritisak i temperaturu.
- **Nadzor i kontrola na daljinu:** Automatizacija omogućava inženjerima i operaterima da nadziru i kontrolišu operacije na daljinu. Ovo je posebno korisno za udaljene i teško dostupne lokacije.
- **Održavanje i dijagnostika:** Automatizacija omogućava praćenje stanja opreme i otkrivanje problema pre nego što postanu ozbiljni. Ovo omogućava preventivno održavanje i smanjenje vremena neaktivnosti.
- **Analiza podataka:** Automatizacija omogućava kontinuirano prikupljanje podataka tokom operacija. Ovi podaci se mogu analizirati kako bi se otkrili uzorci i trendovi koji pomažu u optimizaciji procesa.

- Smanjenje rizika i povećanje sigurnosti: Automatizacija može smanjiti rizik od ljudske greške i smanjiti potrebu za rizičnim ručnim intervencijama. Ovo doprinosi povećanju sigurnosti za radnike i zaštitu životne sredine.

Automatizacija zahteva adekvatnu infrastrukturu, senzore, aktuatore i napredne sisteme za upravljanje[24]. Implementacija automatizacije zahteva pažljivo planiranje, integraciju sistema i obuku osoblja kako bi se postigle maksimalne koristi.

2.6.Smanjenje uticaja na životnu sredinu

Informacione tehnologije mogu pomoći u praćenju emisija, potrošnje resursa i drugih faktora koji utiču na životnu sredinu. Ovo omogućava kompanijama da bolje upravljaju svojim uticajem i sprovedu održive prakse[25].

Smanjenje uticaja na životnu sredinu postaje sve važnija tema u naftnoj industriji kako se društvo sve više okreće održivijim praksama. Informacione tehnologije igraju ključnu ulogu u podržavanju tih napora kroz praćenje, analizu i upravljanje uticajem na životnu sredinu.Načini na koje se informacione tehnologije koriste za smanjenje uticaja na životnu sredinu u naftnoj industriji:

- Praćenje emisija: Senzori i merni uređaji se koriste za praćenje emisija štetnih gasova i čestica koje nastaju tokom proizvodnje, prerade i transporta nafte i gasa. Ovi podaci se zatim analiziraju kako bi se identifikovali izvori zagađenja i preduzele mere za smanjenje emisija.
- Upravljanje otpadom: Informacione tehnologije se koriste za praćenje, upravljanje i recikliranje otpada koji nastaje tokom operacija u naftnoj industriji. Pomoću softverskih alata moguće je pratiti tokove otpada, identifikovati potencijalne opasne materijale i optimizovati procese recikliranja.
- Energetska efikasnost: Analitika velikih podataka omogućava praćenje potrošnje energije tokom različitih operacija. Na osnovu ovih podataka, moguće je identifikovati oblasti gde se troši najviše energije i preduzeti mere za povećanje energetske efikasnosti.
- Optimizacija transporta: Informacione tehnologije se koriste za optimizaciju transporta nafte i gasa. Kombinovanjem podataka o rutama, protoku, uslovima puta i drugim faktorima, moguće je smanjiti potrošnju goriva i emisije tokom transporta.

- Monitoring ekosistema: Geoprostorne analize i senzorska tehnologija se koriste za praćenje ekosistema u oblastima gde se odvijaju naftne operacije. Ovo omogućava brzo reagovanje na promene u ekosistemu i implementaciju mera za zaštitu prirode.
- Održiva planiranja i regulative: Informacione tehnologije se koriste za planiranje operacija u skladu sa održivim praksama i regulatornim zahtevima. Ovi alati pomažu da se identifikuju potencijalni rizici po životnu sredinu i unaprede planovi kako bi se izbegli negativni efekti.
- Korišćenje obnovljivih izvora energije: Informacione tehnologije se koriste za praćenje i upravljanje sistemima za obnovljivu energiju, kao što su solarni paneli ili vetrogeneratori, koji mogu smanjiti zavisnost od fosilnih goriva.

Sve ove primene informacionih tehnologija pomažu naftnoj industriji da smanji negativne uticaje na životnu sredinu, podržava održive prakse i doprinosi globalnim naporima za zaštitu planete.

2.7.Sigurnost i sajber bezbednost

Naftna industrija je osetljiva na sajber napade i hakerske aktivnosti[26]. Razvoj IT infrastrukture takođe obuhvata implementaciju snažnih sajber sigurnosnih mera kako bi se zaštitili podaci, operacije i osjetljiva tehnologija.

Sigurnost i sajber bezbednost su od suštinskog značaja u naftnoj industriji, s obzirom na osetljivost i potencijalne posledice sajber napada na operacije, zaštitu životne sredine i ljudsku sigurnost[27-29]. Informacione tehnologije igraju ključnu ulogu u zaštiti sistema, podataka i infrastrukture od sajber pretnji. Za sigurnost i sajber bezbednost u naftnoj industriji informacione tehnologije koriste:

- Sajber bezbednost sistema i mreža: Informacione tehnologije se koriste za uspostavljanje sigurnih mrežnih infrastruktura, kao i za implementaciju slojeva zaštite poput vatrozida, antivirusnih programa, enkripcije podataka i drugih tehnika koje sprečavaju neovlašćen pristup i širenje sajber pretnji.
- Senzore i nadzor: Sajber bezbednost uključuje i praćenje i analizu aktivnosti na mreži i u sistemima. Sistemi za detekciju intruzija i analitika velikih podataka se koriste za identifikaciju sumnjivih aktivnosti, što omogućava brzu reakciju na potencijalne pretnje.
- Bezbednost operativnih tehnologija: Pored informacionih sistema, naftna industrija koristi različite operativne tehnologije za upravljanje proizvodnim procesima. Sajber

bezbednost se odnosi i na zaštitu ovih tehnologija kako bi se sprečilo remećenje operacija.

- Obuku i svest o sajber bezbednosti: Informacione tehnologije se koriste za obuku zaposlenih o sajber bezbednosti. Zaposleni se uče kako da prepoznaju potencijalne pretnje, kako da se ponašaju sigurno na mreži i kako da reaguju u slučaju napada.
- Redovno ažuriranje softvera: Ažuriranje softvera i sistema je važan aspekt sajber bezbednosti. Informacione tehnologije se koriste za automatizaciju ovog procesa kako bi se održavala najnovija sigurnosna zakrpa i smanjila izloženost pretnjama.
- Planiranje i reagovanje na incidente: Informacione tehnologije se koriste za planiranje i reagovanje na sajber incidente. Organizacije definišu protokole za postupanje u slučaju napada kako bi se brzo identifikovala pretnja i minimizirale posledice.
- Zaštitu kritičnih sistema: Sajber bezbednost se posebno fokusira na zaštitu kritičnih sistema koji direktno utiču na ljudsku sigurnost, operacije i zaštitu životne sredine. Ovi sistemi se pažljivo segmentiraju i štite kako bi se izbegli rizici.
- Partnerstva i deljenje informacija: Informacione tehnologije omogućavaju saradnju između kompanija i vlasti u cilju deljenja informacija o novim sajber pretnjama i razmeni najboljih praksi u sajber bezbednosti.

Sajber bezbednost je neprekidna briga u naftnoj industriji, i konstantno se prate i unapređuju strategije i tehnologije kako bi se održavala zaštita od sve sofisticiranijih sajber pretnji.

Konačno, informacione tehnologije su transformisale način na koji naftna industrija funkcioniše, omogućavajući joj da bude efikasnija, održiva i konkurentnija u današnjem digitalnom dobu.

3.INFORMACIONE TEHNOLOGIJE U PROCESU ZAVARIVANJA ATMOSFERSKIH REZERVOARA

Zavarivanje atmosferskih rezervoara velikih zapremina za naftu je kompleksan proces koji zahteva pažljivo planiranje, visok nivo stručnosti i primenu savremenih informacionih tehnologija radi osiguravanja kvaliteta, bezbednosti i efikasnosti. Evo nekoliko načina na koje informacione tehnologije mogu biti primenjene u ovom procesu:

3.1 CAD/CAM softveri

Računarski asistirani dizajn (CAD) i računarski asistirano upravljanje proizvodnjom (CAM) omogućavaju inženjerima da kreiraju detaljne tehničke crteže rezervoara i planiraju optimalne putanje zavarivanja. Ovo pomaže u preciznom definisanju dimenzija, oblika i postupaka zavarivanja pre samog procesa[30].

Računarski asistirani dizajn (CAD) je tehnologija koja se koristi za stvaranje, analizu i optimizaciju projekata pomoću računara. Kada je reč o dizajnu rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte, CAD se može primeniti kako bi se olakšao proces projektovanja, omogućila bolja vizualizacija, optimizovala efikasnost i smanjili rizici. Evo nekoliko načina na koje se CAD koristi u dizajnu rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte:

- Vizualizacija i modeliranje: CAD alati omogućavaju inženjerima da kreiraju trodimenzionalne modele rezervoara. Ovi modeli pružaju realističan prikaz rezervoara, što olakšava razumevanje i komunikaciju između članova tima.
- Preciznost i tačnost: CAD omogućava precizno i tačno modeliranje rezervoara sa svim detaljima, uključujući dimenzije, oblike, spojeve i sve komponente. To pomaže u sprečavanju grešaka i problema tokom izrade.
- Optimizacija dizajna: Inženjeri mogu eksperimentisati sa različitim konceptima i opcijama dizajna kako bi pronašli najefikasnije i najpouzdanije rešenje za rezervoar. Ovo uključuje odabir optimalnih dimenzija, materijala i konfiguracija.
- Analiza performansi: CAD alati često omogućavaju simulacije i analize performansi rezervoara pod različitim uslovima opterećenja, pritiska, temperature i drugih faktora. Ovo pomaže u proceni kako će rezervoar reagovati u stvarnim uslovima.

- Automatizacija procesa: CAD može olakšati kreiranje crteža, planova i tehničke dokumentacije. Automatizacija pojednostavljuje proces generisanja dokumentacije i smanjuje rizik od ljudskih grešaka.
- Saradnja i komunikacija: CAD alati omogućavaju članovima tima da sarađuju na projektu u realnom vremenu. Ovo je posebno korisno kada je tim razasut na različitim lokacijama.
- Arhiviranje i praćenje promena: CAD sistemi često čuvaju istoriju promena i verzija dizajna. Ovo olakšava praćenje evolucije projekta i omogućava povratak na prethodne verzije u slučaju potrebe.
- Integracija sa drugim alatima: CAD se često integriše sa drugim softverskim alatima, kao što su analitički softver, alati za simulaciju, upravljanje projektima i druge aplikacije.

Upotreba CAD-a u dizajnu rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte povećava efikasnost, smanjuje rizik od grešaka i omogućava inženjerima da bolje razumeju i optimizuju svoje projekte[31-34].

Računarski asistirano upravljanje proizvodnjom (CAM) je tehnologija koja se koristi za automatizaciju procesa proizvodnje, uključujući planiranje, mašinsku obradu i kontrolišuće operacije. Kada je reč o proizvodnji rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte, CAM tehnologija može značajno poboljšati efikasnost, tačnost i doslednost tokom različitih faza proizvodnog procesa. Evo kako se CAM može primeniti u proizvodnji ovakvih rezervoara:

- Obrada materijala: CAM tehnologija omogućava generisanje programa za CNC (računarizovane numeričke kontrole) mašine koje se koriste za obradu čeličnih ploča i drugih komponenti rezervoara. Ovo uključuje sečenje, bušenje, savijanje i druge operacije.
- Izrada spojeva: CAM može generisati planove za zavarivanje i spajanje komponenata rezervoara. Automatizacija ovog procesa može povećati preciznost i doslednost zavarenih spojeva.
- Obrada materijala na CNC mašinama: CAM softver može generisati putanje alata i brzine za CNC mašine koje izrađuju kompleksne oblike i komponente rezervoara. To omogućava preciznu i efikasnu obradu.
- Bušenje rupa i otvora: CAM tehnologija može generisati upute za bušenje rupa, otvora za cevovode i ostalih otvora u rezervoarima, čime se obezbeđuje tačnost i konzistentnost.

- Obrada ivica i završna obrada: CAM može automatski generisati putanje alata za obradu ivica i završnu obradu kako bi se postigla željena glatkoća i preciznost.
- Optimizacija materijala: CAM softver može pomoći u optimizaciji korišćenja materijala tako da se minimizira otpad i smanje troškovi.
- Simulacija: Pre nego što se započne sa stvarnom proizvodnjom, CAM softver može simulirati proces obrade i identifikovati potencijalne probleme ili kolizije koje treba rešiti pre izvođenja.
- Saradnja sa CAD-om: Integracija CAM-a sa CAD-om omogućava glatku tranziciju od dizajna do proizvodnje. CAD modeli se mogu direktno koristiti u procesima CAM-a.
- Praćenje i upravljanje: CAM tehnologija omogućava praćenje napretka proizvodnje i optimizaciju tokova rada, čime se smanjuje vreme potrebno za proizvodnju i povećava efikasnost.
- Automatizacija: U nekim slučajevima, posebno u serijskoj proizvodnji, CAM može biti integrisan sa robotskom tehnologijom kako bi se proizvodni proces potpuno automatizovao.

Primena CAM-a u proizvodnji rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte omogućava bržu i precizniju izradu komponenti, smanjenje grešaka i optimizaciju resursa[35]. Ovo doprinosi povećanju produktivnosti i smanjenju troškova tokom celog proizvodnog ciklusa.

3.2 Simulacija zavarivanja

Upotreba softverskih simulacija omogućava inženjerima da virtualno testiraju različite metode zavarivanja i parametre kako bi identifikovali potencijalne probleme, kao što su deformacije, naprezanja i nehomogenosti materijala. Ovo smanjuje rizik od grešaka pre nego što se stvarno započne sa zavarivanjem. Primena softverskih simulacija pri izradi rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte igra ključnu ulogu u optimizaciji dizajna, analizi performansi i smanjenju rizika[36]. Ove simulacije omogućavaju inženjerima da virtuelno testiraju različite scenarije i parametre pre nego što se započne stvarna izrada rezervoara. Evo nekoliko ključnih načina na koje se softverske simulacije koriste u ovom kontekstu:

- Strukturalna analiza: Simulacije mogu analizirati strukturalnu integritet rezervoara pod različitim opterećenjima, kao što su težina nafte, pritisak, vibracije i spoljni faktori. Ovo pomaže u identifikaciji potencijalnih tačaka slabe strukture ili preopterećenja.

- Termalna analiza: Softver može simulirati termalne promene u rezervoaru, uključujući temperaturne fluktuacije zbog promena nivoa nafte ili promena okoline. Ovo je posebno važno za sprečavanje termičkih deformacija.
- Hidraulička analiza: Simulacije hidrauličkog ponašanja rezervoara mogu pružiti uvid u strujanje nafte, taloženje sedimenata i druge faktore koji mogu uticati na performanse rezervoara.
- Protivpožarna analiza: Simulacije mogu modelirati širenje požara i efikasnost sistema za gašenje kako bi se osigurala sigurnost rezervoara u slučaju požara.
- Ponašanje materijala: Softver može simulirati ponašanje materijala rezervoara tokom vremena, uključujući deformacije, naprezanja i oštećenja usled korozije ili drugih faktora.
- Protok i miješanje: Simulacije protoka i miješanja tečnosti u rezervoaru pomažu u optimizaciji rasporeda cevovoda, brzine protoka i distribucije tečnosti.
- Sigurnosne analize: Simulacije se koriste za testiranje sigurnosnih scenarija, kao što su curenje nafte ili prekomerni pritisak, kako bi se identifikovali potencijalni rizici i razvili odgovarajući sigurnosni mehanizmi.
- Optimizacija dizajna: Pomoću simulacija inženjeri mogu eksperimentisati sa različitim dizajnerskim opcijama kako bi pronašli optimalno rešenje koje ispunjava zahteve performansi, sigurnosti i ekonomske efikasnosti.
- Praćenje stanja i održavanje: Nakon izgradnje, softverske simulacije se mogu koristiti za praćenje stanja rezervoara tokom vremena i identifikaciju potencijalnih problema koji zahtevaju održavanje ili popravku.

Korišćenje softverskih simulacija pruža inženjerima mogućnost da unapred identifikuju probleme, testiraju različite scenarije i optimizuju dizajn rezervoara. Ovo smanjuje troškove i rizike, povećava efikasnost i osigurava da rezervoari budu bezbedni, pouzdani i u skladu sa standardima.

3.3 Nadzor zavarivanja

Tehnologije kao što su senzori za praćenje temperature, brzine i drugih parametara zavarivanja mogu biti povezani sa softverom za nadzor u stvarnom vremenu. Ovo omogućava operaterima da prate proces zavarivanja i reaguju na potencijalne probleme u trenutku.

Senzori igraju ključnu ulogu u praćenju i kontroli zavarivanja rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte[37]. Oni omogućavaju inženjerima da prate različite parametre zavarivanja u realnom vremenu, što doprinosi kvalitetu zavarenih spojeva i sigurnosti rezervoara. Evo nekoliko tipova senzora koji se često koriste u procesu zavarivanja rezervoara:

- Senzori za temperaturu: Ovi senzori mere temperaturu tokom zavarivanja. Praćenje temperature je važno jer odgovarajuća temperatura zavarenih spojeva može uticati na njihovu čvrstoću, strukturu i otpornost na koroziju.
- Senzori brzine zavarivanja: Senzori za brzinu zavarivanja prate brzinu kojom se elektroda ili zavarivački materijal dodaju zavarenom spoju. Ovo je važno za održavanje konstantne brzine i ravnomernog dodavanja materijala.
- Senzori za struju i napon: Merenje struje i napona tokom zavarivanja omogućava praćenje energije koja se koristi za stvaranje zavarenih spojeva. Ovi parametri mogu uticati na dubinu i kvalitet penetracije zavarenih spojeva.
- Senzori za magnetne osobine: U zavarivanju čeličnih rezervoara, senzori za magnetne osobine mogu detektovati prisustvo defekata kao što su pukotine ili nehomogenosti.
- Senzori za ultrazvuk: Ultrazvučni senzori koriste ultrazvučne talase za detekciju unutarjih defekata u zavarenim spojevima, kao što su pukotine ili nehomogenosti.
- Senzori za penetrantne ispitivanja: Penetrantne ispitivačke tečnosti se koriste za detekciju površinskih defekata. Senzori za ovu svrhu pomažu u detekciji curenja tih tečnosti i eventualnih problema.
- Senzori za praćenje deformacija: Ovi senzori mere deformacije materijala tokom i nakon zavarivanja. To je važno kako bi se osiguralo da se zavareni spojevi ne deformišu van prihvatljivih granica.
- Senzori za gasove: Kod zavarivanja može se koristiti zaštitni gas kako bi se sprečila oksidacija zavarenih spojeva. Senzori za gasove prate nivo gasova i osiguravaju da se održava odgovarajući zaštitni ambijent.
- Senzori za praćenje vibracija: Vibracije tokom zavarivanja mogu ukazivati na nepravilnosti u procesu. Senzori za praćenje vibracija mogu identifikovati ovakve probleme i omogućiti brzu reakciju.

Ovi senzori se često koriste zajedno kako bi se dobila celovita slika tokom zavarivanja rezervoara[38]. Praćenje ovih parametara omogućava inženjerima da reaguju brzo u slučaju

problema, obezbede konzistentnost zavarenih spojeva i osiguraju da rezervoari budu sigurni i pouzdani tokom vremena.

3.4 Robotizovano zavarivanje

Roboti opremljeni za zavarivanje mogu biti precizniji i dosledniji od ljudskih operatera[39]. Kombinacija softvera za upravljanje robotima i senzora omogućava visok stepen automatizacije u procesu zavarivanja. Ova kombinacija igra ključnu ulogu u automatizaciji i optimizaciji procesa izrade rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte. Omogućava precizno vođenje robota i kontinuirano praćenje senzora kako bi se postigla visoka efikasnost, kvalitet i sigurnost tokom proizvodnje. Evo kako ova kombinacija funkcioniše:

1. Softver za upravljanje robotima:

- Roboti se koriste za različite zadatke tokom izrade rezervoara, kao što su zavarivanje, brušenje, sečenje i drugi procesi.
- Softver za upravljanje robotima programira pokrete i radnje robota kako bi se izvele određene operacije. Ovaj softver omogućava precizno vođenje robota po unapred definisanim putanjama i obrascima.

2. Senzori:

- Senzori se koriste za praćenje različitih parametara tokom procesa izrade, kao što su temperatura, brzina, deformacije, vibracije i drugi faktori.
- Senzori omogućavaju realno vreme praćenje stanja materijala, kvaliteta zavarenih spojeva i detekciju eventualnih problema.

3. Integracija softvera i senzora:

- Softver za upravljanje robotima i senzore se često integrišu kako bi omogućili kontinuiranu komunikaciju između robota i senzora.
- Softver prima podatke sa senzora i koristi ih za prilagođavanje i optimizaciju radnji robota u realnom vremenu.

4. Automatizacija i optimizacija:

- Kombinacija ovih softverskih alata omogućava automatizaciju procesa izrade rezervoara. Roboti se vođeni senzorima mogu prilagoditi promenama u uslovima i osigurati doslednost i tačnost operacija.

5. Reakcija na promene i greške:

- Ako senzori registruju nepravilnosti ili potencijalne greške, softver za upravljanje robotima može brzo reagovati i preduzeti odgovarajuće korake, kao što su zaustavljanje ili prilagođavanje rada robota.

6. Praćenje performansi:

- Softver i senzori omogućavaju praćenje performansi robota i kvaliteta proizvodnje. Ovo je korisno za praćenje efikasnosti procesa i identifikaciju oblasti za unapređenje.

7. Analiza podataka:

- Podaci prikupljeni putem senzora mogu biti analizirani kako bi se identifikovali obrasce, trendovi i potencijalne oblasti za optimizaciju procesa.

Kombinacija softvera za upravljanje robotima i senzora omogućava preciznost, efikasnost i kontrolu tokom izrade rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte. Ova tehnološka kombinacija doprinosi poboljšanju kvaliteta proizvodnje, smanjenju rizika od grešaka i optimizaciji resursa.

3.5 Kvalitet kontrole

Softverska rešenja za analizu slika i ultrazvuk omogućavaju detaljan pregled zavarenih spojeva radi otkrivanja potencijalnih defekata ili nepravilnosti. Ovo pomaže u osiguravanju da zavareni spojevi zadovoljavaju sve standarde kvaliteta. Softverska rešenja za analizu slika zavarenih spojeva rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte omogućavaju inženjerima da detaljno pregledaju i procene kvalitet zavarenih spojeva na osnovu vizuelnih informacija[40]. Ova rešenja koriste napredne tehnike obrade slika i analitike kako bi detektovala nedostatke, pukotine, nepravilnosti ili druge probleme koji mogu uticati na strukturalnu integritet rezervoara. Evo nekoliko vrsta softverskih rešenja koja se koriste za analizu slika zavarenih spojeva:

1. Vizuelna inspekcija softvera:

- Ovi softveri omogućavaju inženjerima da pažljivo pregledaju digitalne slike zavarenih spojeva. Mogu omogućiti zumiranje, rotiranje i manipulaciju slikama kako bi se detaljno pregledali različiti delovi zavarenih spojeva.

2. Defektni detekcioni softver:

- Ovi softveri koriste algoritme obrade slika za automatsko otkrivanje defekata kao što su pukotine, nepravilnosti ili nehomogenosti na zavarenim spojevima.

3. Analitički softver za strukturalnu integritet:

- Ovi softveri koriste napredne analitičke metode za ocenu strukturalnog integriteta zavarenih spojeva. Mogu kombinovati informacije sa slika sa drugim podacima kako bi se procenila stabilnost i bezbednost zavarenih spojeva.

4. Softver za termalnu analizu:

- Ovi softveri analiziraju termalne slike zavarenih spojeva kako bi identifikovali nepravilnosti ili disbalanse u distribuciji temperature, što može ukazivati na probleme sa zavarenim spojevima.

5. Ultrazvučna analiza softvera:

- Ovi softveri koriste informacije dobijene ultrazvučnim skeniranjem za vizualizaciju unutarnjih defekata kao što su pukotine ili nehomogenosti.

6. 3D modeliranje i analiza softvera:

- Softveri koji omogućavaju kreiranje trodimenzionalnih modela zavarenih spojeva mogu olakšati detaljnu analizu svih aspekata spojeva, uključujući unutrašnje strukture.

7. Automatska klasifikacija defekata:

- Napredni softveri koriste mašinsko učenje i veštačku inteligenciju za automatsku klasifikaciju različitih tipova defekata na osnovu slika. Ovo pomaže ubrzanju procesa analize i donošenju odluka.

8. Praćenje istorije i praćenje promena:

- Softveri mogu omogućiti praćenje promena na zavarenim spojevima tokom vremena kako bi se identifikovale potencijalne promene ili pogoršanja.

Ova softverska rešenja omogućavaju inženjerima da brže, tačnije i efikasnije analiziraju slike zavarenih spojeva, identifikuju potencijalne probleme i preduzmu odgovarajuće korake kako bi osigurali integritet i sigurnost rezervoara.

3.6 Baza podataka i praćenje

Informacioni sistemi mogu omogućiti praćenje svih faza procesa zavarivanja, uključujući parametre, materijale, operatere i rezultate ispitivanja. Ovo olakšava praćenje napretka, identifikaciju trendova i rešavanje problema[41].

Kreiranje baze podataka za praćenje svih faza procesa zavarivanja rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je ključno za efikasno upravljanje projektom, osiguranje doslednosti, kvaliteta i transparentnosti tokom celog procesa. Ova baza podataka omogućava skladištenje, upravljanje i analizu različitih informacija i podataka vezanih za proizvodnju rezervoara. Evo kako se to može postići:

- Projektovanje baze podataka:

Definišite strukturu baze podataka u kojoj ćete čuvati sve relevantne informacije o procesu zavarivanja rezervoara. To može uključivati podatke o materijalima, tehničkim crtežima, senzorskim podacima, parametrima zavarivanja, kvalitativnim analizama i još mnogo toga.

- Upravljanje projektom:

Baza podataka može sadržavati informacije o vremenskom rasporedu, zadacima, odgovornostima i napretku različitih faza procesa zavarivanja. Ovo omogućava bolje praćenje projekta i identifikaciju potencijalnih kašnjenja ili problema.

- Praćenje senzorskih podataka:

Podaci dobijeni od senzora tokom zavarivanja mogu se unositi u bazu podataka kako bi se pratili parametri kao što su temperatura, brzina, pritisak i drugi relevantni faktori.

- Kvalitativne analize:

Rezultati kvalitativnih analiza, kao što su ispitivanja kvaliteta zavarenih spojeva ili testiranja materijala, mogu se unositi u bazu podataka radi dalje analize i referenciranja.

- Skladištenje tehničkih crteža:

Baza podataka može sadržavati tehničke crteže rezervoara, zavarenih spojeva i drugih komponenata kako bi se osigurala doslednost u proizvodnji.

- Sigurnosne informacije:

Baza podataka može sadržavati informacije o sigurnosnim standardima, sertifikatima i protivpožarnim merama kako bi se osigurala bezbednost tokom zavarivanja.

- Istorija i praćenje promena:

Baza podataka može omogućiti praćenje promena tokom vremena i istoriju svih faza procesa zavarivanja. Ovo je korisno za analizu performansi i kontinuiranu optimizaciju.

- Integracija sa softverom za upravljanje projektima:

Ako koristite softver za upravljanje projektima, možete integrirati bazu podataka sa ovim alatom kako biste olakšali praćenje projekta i resursa.

- Analitički alati:

Baza podataka može biti osnova za analizu podataka pomoću različitih analitičkih alata kako bi se identifikovali obrasci, trendovi i oblasti za unapređenje.

Kreiranje baze podataka i praćenje svih faza procesa zavarivanja rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte omogućava bolju organizaciju, upravljanje rizikom i održavanje visokog standarda kvaliteta tokom čitavog proizvodnog procesa.

3.7 Integracija sa drugim sistemima

Informacione tehnologije mogu biti integrisane sa sistemima za upravljanje projektima, logistikom i nabavkom materijala kako bi se omogućilo bolje planiranje i koordinacija tokom celog procesa.

Integracija informacionih tehnologija rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte sa drugim sistemima igra ključnu ulogu u efikasnosti, bezbednosti i upravljanju takvim kompleksnim infrastrukturnim objektima. Integracija omogućava bolju komunikaciju, automatizaciju i analizu podataka iz različitih izvora. Evo nekoliko primera kako se IT tehnologije mogu integrisati sa drugim sistemima u okviru rezervoara:

1. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistem:

- SCADA sistem omogućava praćenje u realnom vremenu i kontrolu različitih aspekata rezervoara, kao što su nivo nafte, pritisak, temperatura, protok i drugi parametri.
- Integracija SCADA sistema sa informacionim tehnologijama omogućava operaterima da prate performanse rezervoara i identifikuju odstupanja ili potencijalne probleme.

- IoT (Internet of Things) uređaji:
- IoT uređaji, kao što su senzori i uređaji za merenje, mogu se koristiti za prikupljanje podataka sa različitih tačaka rezervoara.
- Integracija ovih uređaja sa IT tehnologijama omogućava kontinuirano prikupljanje podataka, slanje alarma u slučaju odstupanja od normale i daljinsko upravljanje.

2. Energetska efikasnost i automatizacija:

- IT tehnologije mogu biti integrisane sa sistemima za upravljanje energetsom efikasnošću kako bi se optimizovala potrošnja energije u rezervoaru, na primer prilagođavanjem rada sistema za hlađenje ili grejanje.

3. Protivpožarni i bezbednosni sistemi:

- Integracija informacionih tehnologija sa sistemima za detekciju požara, gašenje i bezbednost omogućava brzu reakciju na opasnosti i minimiziranje rizika.

4. Upravljanje održavanjem:

- IT tehnologije se mogu integrisati sa sistemima za praćenje održavanja kako bi se planiralo redovno održavanje, pratile zamene delova i identifikovali potencijalni problemi pre nego što postanu ozbiljni.

5. Integracija sa CAD/CAM softverom:

- Softveri za projektiranje (CAD) i upravljanje proizvodnjom (CAM) mogu se integrisati sa IT sistemima kako bi se osigurala doslednost između dizajna i stvarne izgradnje rezervoara.

6. Analitički alati i poslovna inteligencija:

- IT tehnologije omogućavaju analizu podataka o performansama, troškovima i drugim aspektima rezervoara, što pomaže donošenju informisanih odluka i optimizaciji procesa.

7. Integracija sa sistemima za praćenje radne snage:

- U velikim operacijama skladištenja nafte, može biti korisno integrisati informacije o radnoj snazi sa IT sistemima kako bi se efikasno upravljalo osobljem, rasporedima i bezbednošću.

Integracija informacionih tehnologija sa drugim sistemima omogućava holistički pristup upravljanju rezervoarima velikih zapremina za skladištenje nafte. Ovo unapređuje efikasnost,

bezbednost i kvalitet operacija, doprinoseći dugoročnoj pouzdanosti i performansama rezervoara.

3.8 Bezbednost i obuka

Softverski alati mogu se koristiti za simuliranje situacija visokog rizika i obuku operatera za postupanje u hitnim situacijama ili izbegavanje potencijalnih opasnosti tokom procesa zavarivanja[42]. Simuliranje situacija visokog rizika pri izradi rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je ključno kako bi se identifikovali potencijalni problemi i razvili odgovarajući planovi za smanjenje rizika. Ovi softverski alati omogućavaju inženjerima da virtuelno testiraju različite scenarije i procene kako bi se obezbedila sigurnost, integritet i pouzdanost rezervoara. Evo nekoliko softverskih alata koji se koriste za simuliranje situacija visokog rizika:

1. Softverskih alata za mehaniku fluida (CFD):

CFD alati simuliraju ponašanje tečnosti i gasova u rezervoarima. Oni mogu simulirati curenje nafte, protok tečnosti, taloženje sedimenata, kao i širenje požara ili eksplozije.

Softverski alati za mehaniku fluida (CFD) omogućavaju simuliranje ponašanja tečnosti i gasova u različitim okruženjima. Ovi alati koriste numeričke metode za rešavanje diferencijalnih jednačina koje opisuju fluidne tokove, pritiske, temperature i druge parametre. Evo nekoliko različitih inačica CFD softverskih alata koji se koriste za simulaciju situacija visokog rizika u vezi sa rezervoarima velikih zapremina za skladištenje nafte:

- ANSYS Fluent:

Fluent je moćan CFD softver koji omogućava simulaciju fluidnih tokova, toplinskih prenosa i hemijskih reakcija. Koristi se za analizu različitih situacija, uključujući protok tečnosti i gasova unutar rezervoara, kao i reakcije u slučaju curenja nafte ili eksplozije.

- COMSOL Multiphysics:

COMSOL je višefizički simulacioni softver koji omogućava analizu mehaničkih, termalnih, električnih i hemijskih interakcija. Može se koristiti za simulaciju različitih aspekata ponašanja rezervoara, uključujući termalne promene, curenje nafte i širenje zagađenja.

- OpenFOAM:

OpenFOAM je open-source CFD softver sa bogatim mogućnostima za simulaciju fluidnih tokova. Omogućava korisnicima da prilagode modele i simulacije prema svojim potrebama, a koristi se u različitim industrijama, uključujući energetiku i naftu.

- FLOW-3D:

FLOW-3D je CFD softver koji se koristi za simulaciju različitih aspekata fluidnih tokova, uključujući kompleksne i turbulentne tokove. Može se primeniti za analizu tečnosti i gasova unutar rezervoara, kao i za simulaciju požara i eksplozija.

- Ansys CFX:

Ansys CFX je deo Ansys portfolija i omogućava simulaciju fluidnih tokova, termalne analize i interakciju fluida sa strukturama. Može se koristiti za simulaciju različitih situacija u vezi sa rezervoarima, uključujući i situacije visokog rizika.

- STAR-CCM+:

STAR-CCM+ je sveobuhvatni simulacioni alat koji se koristi za CFD analizu, uključujući mehaničke i toplotne interakcije. Može se koristiti za analizu fluidnih tokova i termalnih promena unutar rezervoara.

- Autodesk CFD:

Autodesk CFD je softver koji omogućava analizu fluidnih tokova i toplotnih prenosa. Može se koristiti za simuliranje različitih situacija, uključujući termalne promene i dinamiku tečnosti unutar rezervoara.

Svaki od ovih softverskih alata ima svoje karakteristike, prednosti i primene. Izbor odgovarajućeg alata zavisice od specifičnih potreba simulacije, kompleksnosti scenarija rizika i dostupnih resursa.

2. Softver za dinamičko simuliranje procesa (DPS):

Ovi alati omogućavaju inženjerima da simuliraju dinamiku i ponašanje sistema tokom različitih scenarija. Na primer, može se simulirati kako bi se procenila reakcija rezervoara na zemljotres, veliku temperaturnu promenu ili eksploziju.

3. Simulacija curenja nafte i širenja zagađenja:

Softveri za simulaciju curenja nafte mogu modelirati kako bi se nafte širila u okolini, identifikovali potencijalni putevi širenja zagađenja i proučavale posledice za životnu sredinu.

4. Protivpožarna simulacija:

Ovi alati simuliraju širenje požara i efikasnost sistema za gašenje. To pomaže u planiranju adekvatnih protivpožarnih mera i sistema zaštite.

5. Sigurnosna analiza opasnosti (HAZOP) softver:

- HAZOP softver omogućava inženjerima da analiziraju potencijalne opasnosti i identifikuju kritične tačke u procesu izgradnje rezervoara.

6. Softver za analizu strukturalne integriteta:

- Alati za analizu strukturalne integriteta simuliraju kako bi se procenili efekti visokih pritisaka, temperaturnih varijacija ili drugih ekstremnih uslova na strukturu rezervoara.

7. Softver za analizu ponašanja materijala:

- Ovi alati simuliraju kako bi se proučilo ponašanje materijala rezervoara tokom različitih uslova, uključujući deformacije, naprezanja i ponašanje usled korozije.

8. Integrirani simulatori rizika:

- Neki softveri kombinuju različite aspekte rizika, kao što su mehanika fluida, termalna analiza i strukturalna integritet, kako bi pružili sveobuhvatan pregled potencijalnih rizika.

Ovi softverski alati omogućavaju inženjerima da virtuelno testiraju različite scenarije visokog rizika, identifikuju potencijalne probleme i razviju planove za smanjenje rizika pre nego što se započne stvarna izrada rezervoara. Ovo pomaže u osiguranju sigurnosti, pouzdanosti i integriteta rezervoara tokom vremena. Sve ove informacije tehnologije doprinose efikasnosti, bezbednosti i kvalitetu procesa zavarivanja atmosferskih rezervoara velikih zapremina za naftu. Međutim, važno je imati na umu da je i dalje neophodna ljudska ekspertiza i nadzor tokom ovih procesa radi osiguravanja uspešnih rezultata.

4. TEHNOLOGIJA IZRADE ATMOSFERSKIH REZERVOARA ZA NAFTU

Izrada atmosferskih rezervoara za naftu je složen inženjerski proces koji zahteva pažljivo planiranje, projektovanje i izvođenje. Evo osnovnih koraka i tehnologija koje se obično koriste u izradi ovakvih rezervoara.

4.1 Dizajn i planiranje

Koristi se CAD softver (računarski asistirani dizajn) za kreiranje detaljnih tehničkih crteža rezervoara. Ovi crteži obuhvataju dimenzije, oblik, zavarne spojeve i druge tehničke specifikacije.

Dizajn rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je ključan korak koji zahteva pažljivo planiranje kako bi se osigurala sigurnost, funkcionalnost i usklađenost sa relevantnim standardima i propisima[1-2]. Evo nekoliko ključnih aspekata koji se uzimaju u obzir prilikom dizajniranja ovakvih rezervoara:

- Zapremina i dimenzije: Prvo se određuje potrebna zapremina rezervoara u skladu sa potrebama skladištenja nafte. Dimenzije rezervoara, uključujući visinu, prečnik i oblik, takođe se definišu u skladu sa raspoloživim prostorom i drugim tehničkim faktorima.
- Materijali i otpornost na koroziju: Odabir odgovarajućih materijala za izradu rezervoara je ključan. Materijali moraju biti otporni na koroziju i hemijski stabilni s obzirom na svojstva skladištene nafte.
- Zaštita od korozije: Planiranje zaštite od korozije je važan deo dizajna. To uključuje odabir premaza i zaštitnih slojeva koji će produžiti životni vek rezervoara.
- Strukturalna analiza i opterećenja: Analiziraju se strukturna svojstva rezervoara kako bi se osiguralo da će izdržati sve predviđene opterećenja, uključujući težinu skladištene nafte, atmosferske uslove, seizmičke sile itd.
- Integritet i sigurnost: Dizajn treba da osigura integritet rezervoara kako bi se sprečile curenje i havarije. Bezbednosne mere kao što su ventilacioni i sigurnosni sistemi takođe se planiraju.
- Temelji i podloge: Dizajnira se odgovarajuća osnova ili temelji na kojima će rezervoar biti postavljeni, uzimajući u obzir teren, geotehničke karakteristike i stabilnost.
- Upravljanje nivoom: Planiraju se sistemi za merenje i regulaciju nivoa nafte unutar rezervoara kako bi se osigurala precizna kontrola skladištenih količina.

- Ventilacija i emisije: U dizajn se uključuju ventilacioni sistemi kako bi se omogućila odgovarajuća cirkulacija vazduha i sprečila nakupljanje štetnih isparenja.
- Sigurnosne mere:

Dizajn obuhvata i planiranje sigurnosnih mera kako bi se minimizirali rizici od curenja nafte, požara ili drugih nepoželjnih događaja.

- Usklađenost sa standardima: Dizajn mora biti usklađen sa relevantnim industrijskim standardima, zakonima i propisima koji se odnose na skladištenje nafte i naftnih derivata.

Dizajn rezervoara za skladištenje nafte je multidisciplinarni proces koji obuhvata strukturalno inženjerstvo, hemijsko inženjerstvo, bezbednost i druge aspekte. Stručnjaci se angažuju kako bi osigurali da rezervoar bude funkcionalan, siguran i ekološki prihvatljiv.

4.2 Materijali

Rezervoari se obično izrađuju od čelika koji je otporan na koroziju i ispunjava stroge standarde za skladištenje naftnih derivata. Odabir pravog materijala je ključan za dugotrajnost i sigurnost rezervoara[43].

Materijali za izradu atmosferskih rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte moraju ispunjavati visoke standarde izdržljivosti, otpornosti na koroziju i hemijsku stabilnost. Ovi materijali se pažljivo biraju kako bi se osigurala sigurnost, dugotrajnost i zaštita skladištene nafte. Najčešći materijali uključuju:

- Čelik niskolegiran ugljenik: Ovo je osnovni materijal koji se često koristi za izradu rezervoara. Čelik niskolegiran ugljenik je relativno jeftin i lako dostupan, ali zahteva adekvatnu zaštitu od korozije.
- Niskolegirani čelik sa poboljšanim svojstvima: Ovi čelici sadrže dodatke poput silicijuma, mangana i fosfora kako bi se poboljšale njihove mehaničke karakteristike i otpornost na koroziju.
- Čelik visokolegiran sa niskim procentom legura: Ovi čelici, kao što su nerđajući čelici, imaju visoku otpornost na koroziju i pogodni su za skladištenje nafte koja može sadržavati agresivne hemikalije.

- Folije od ugljeničnih vlakana: Ovaj moderni materijal kombinuje lakoću sa visokom čvrstoćom i otpornošću na koroziju. Upotrebljava se u složenijim rezervoarima gde je potrebna veća otpornost na agresivne supstance.
- Ulitčari (duplex čelici): Ovi čelici kombinuju svojstva austenitnih i feritnih čelika, pružajući otpornost na koroziju i dobru čvrstoću.
- Legure aluminijuma: U nekim slučajevima, legure aluminijuma mogu se koristiti za izradu manjih rezervoara. Aluminijum je lagan i ima dobru otpornost na koroziju.
- Posebne prevlake i premazi: Bez obzira na osnovni materijal, često se primenjuju posebni premazi i zaštitne prevlake kako bi se povećala otpornost na koroziju i produžio životni vek rezervoara.

Važno je napomenuti da se izbor materijala bazira na raznim faktorima kao što su tip nafte koja će se skladištiti, okolina u kojoj će rezervoar biti postavljen (klimatski uslovi, vlažnost, temperatura) i specifični zahtevi i propisi koji važe za određenu lokaciju. Osim samih materijala, pravilna priprema površine i kvalitetna izvedba zavarivanja takođe igraju ključnu ulogu u osiguranju sigurnosti i pouzdanosti atmosferskih rezervoara za skladištenje nafte.

4.3 Izrada zidova rezervoara

Zidovi rezervoara se mogu izraditi spajanjem čeličnih ploča zavarivanjem ili drugim tehnikama. Robotizovano zavarivanje ili automatizovani postupci zavarivanja često se koriste za obezbeđivanje preciznosti i doslednosti[5].

Izrada zidova rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je složen proces koji zahteva precizno planiranje, tehničku ekspertizu i pažljivu primenu različitih tehnika i procedura. Evo osnovnih koraka i aspekata koji se obično uzimaju u obzir pri izradi zidova ovakvih rezervoara:

- Priprema radnog područja:

Radno područje se priprema za izradu zidova rezervoara, uključujući postavljanje potrebne opreme, alata i sigurnosnih mera.

- Priprema čeličnih ploča:

Čelične ploče koje će činiti zidove rezervoara se seku i oblikuju prema tačnim dimenzijama i oblicima definisanim u tehničkim crtežima.

- Priprema zavarivanja:

Zavarivanje je ključna faza. Pre samog zavarivanja, površine ploča koje će se spojiti moraju biti temeljito pripremljene. To uključuje čišćenje, uklanjanje nečistoća i stvaranje odgovarajućih pripremih zavora (često nazivanih 'chamfer' ili 'bevel') kako bi se omogućila dobra penetracija zavarivačkog materijala.

- Postavljanje ploča i zavarivanje:

Čelične ploče se postavljaju prema tehničkim crtežima i spajaju zavarivanjem. Različite tehnike zavarivanja (MIG/MAG, TIG, elektrolučno zavarivanje) se primenjuju u skladu sa zahtevima i specifikacijama.

- Kvalitet zavarivanja:

Tokom zavarivanja, kvalitet zavarivanja se pažljivo prati kako bi se osigurala pravilna penetracija, minimalni defekti i čvrst spoj. Ultrazvučne, radiografske ili magnetske pretrage se često koriste za proveru integriteta zavarenih spojeva.

- Ispitivanje kvaliteta:

Nakon zavarivanja, vrše se različiti testovi kvaliteta kako bi se proverio integritet zavarenih spojeva i detektovali eventualni defekti. Ovo uključuje ispitivanja penetracije, radiografske pretrage, ultrazvučne pretrage itd.

- Postupci zaštite od korozije:

Nakon zavarivanja, zidovi rezervoara se obično premazuju specijalnim premazima ili zaštitnim premazima kako bi se osigurala otpornost na koroziju.

- Montaža dodatnih komponenti:

Nakon izrade osnovnih zidova, dodaju se pristupne merdevine, poklopci, sigurnosni ventili i drugi elementi prema tehničkim crtežima.

- Kontrola i overa:

Nakon izrade, zidovi rezervoara prolaze kroz strogu kontrolu kvaliteta i inspekciju kako bi se osigurala njihova usklađenost sa tehničkim specifikacijama i standardima.

- Krajnja obrada:

Krajnja obrada može uključivati čišćenje površine, uklanjanje preostalih nečistoća i pripremu za premazivanje.

Izrada zidova rezervoara za skladištenje nafte zahteva visok nivo stručnosti i pažljivo poštovanje tehničkih specifikacija i procedura kako bi se osigurala sigurnost i funkcionalnost ovih ključnih infrastrukturnih objekata.

Izrada zidova rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je složen proces koji zahteva precizno planiranje, tehničku ekspertizu i pažljivu primenu različitih tehnika i procedura. Evo osnovnih koraka i aspekata koji se obično uzimaju u obzir pri izradi zidova ovakvih rezervoara.

4.4 Zavarivanje

Zavarivanje je ključan korak u izradi rezervoara[44]. Koriste se različite metode zavarivanja, uključujući MIG/MAG zavarivanje, TIG zavarivanje, elektrolučno zavarivanje itd. Ovde se primenjuju strogi parametri i tehnike kako bi se osigurala čvrstoća i integritet zavarenih spojeva.

Zavarivanje rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je ključan korak u izradi ovih objekata[45]. Zavarivanje se mora pažljivo planirati, izvoditi sa visokom preciznošću i kvalitetom kako bi se osigurala čvrstoća, sigurnost i dugotrajnost zavarenih spojeva. Evo nekoliko ključnih aspekata zavarivanja rezervoara:

- Priprema površina:

Pre samog zavarivanja, površine čeličnih ploča koje će se spojiti moraju biti adekvatno pripremljene. To uključuje čišćenje od masnoće, prljavštine i rđe. Takođe se izrađuju pripremni zavoji (chamfer) kako bi se omogućila penetracija zavarivačkog materijala.

- Odabir metode zavarivanja:

Različite metode zavarivanja se koriste u zavisnosti od debljine materijala, položaja spojeva i drugih tehničkih faktora. Često se koriste MIG/MAG zavarivanje, TIG zavarivanje ili elektrolučno zavarivanje.

- Kvalifikacija zavarivača:

Zavarivači moraju biti kvalifikovani za obavljanje ovog specifičnog tipa zavarivanja. To uključuje testiranje njihovih veština i sposobnosti u skladu sa relevantnim standardima.

- Sprovođenje zavarivanja:

Zavareni spojevi se izводе pažljivo i precizno. Parametri zavarivanja, kao što su struja, napon, brzina zavarivanja i dodatni materijal, se podešavaju kako bi se postigla optimalna penetracija i čvrstoća.

- Kvalitet zavarenih spojeva:

Tokom zavarivanja, kontroliše se kvalitet zavarenih spojeva. To se često postiže vizuelnom inspekcijom, ali mogu se primeniti i drugi metodi kao što su penetrantni testovi, radiografske pretrage, ultrazvučne pretrage ili magnetske pretrage.

- Ispitivanje i kontrola kvaliteta:

Nakon zavarivanja, vrše se testovi kvaliteta zavarenih spojeva kako bi se proverila njihova integritet. Ovo uključuje ispitivanja penetracije, radiografske pretrage i druge tehnike pretrage koje otkrivaju eventualne nedostatke.

- Zavarivanje na licu mesta i u radionicama:

Zavarivanje se može obavljati kako na licu mesta, na lokaciji gde će rezervoar biti postavljen, tako i u specijalizovanim radionicama. Oba pristupa imaju svoje prednosti i izazove.

- Nadgledanje i upravljanje procesom:

Proces zavarivanja treba da bude pažljivo nadgledan kako bi se osiguralo poštovanje tehničkih specifikacija i standarda.

- Kvalitet zavarivanja i bezbednost:

Kvalitetno zavarivanje je od suštinskog značaja za integritet rezervoara. Slab zavarivački spoj može dovesti do curenja nafte, što može izazvati ozbiljne posledice po okolinu i ljude.

- Završna obrada:

Nakon završetka zavarivanja, mogu biti potrebne završne obrade, kao što su brušenje ili poliranje, kako bi se obezbedila glatka površina i uklonili eventualni oštri rubovi.

Pravilno izvedeno zavarivanje rezervoara za skladištenje nafte igra ključnu ulogu u osiguravanju njihove funkcionalnosti, bezbednosti i dugotrajnosti. Zbog toga je važno angažovati stručne zavarivače i pratiti najbolje prakse i standarde u svakom koraku procesa zavarivanja.

4.5 Ispitivanje kvaliteta

Nakon zavarivanja, vrše se ispitivanja radi provere kvaliteta zavarenih spojeva. Ova ispitivanja mogu uključivati ultrazvučne, radiografske ili magnetske preglede kako bi se identifikovali potencijalni defekti.

Ispitivanje kvaliteta rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je ključni deo procesa izrade kako bi se osigurala sigurnost, pouzdanost i usklađenost sa standardima[46]. Ova ispitivanja imaju za cilj otkrivanje eventualnih defekata, nedostataka ili slabosti u strukturi rezervoara pre nego što bude pušten u operativnu upotrebu. Evo nekoliko tipičnih ispitivanja koja se sprovode:

- Radiografsko ispitivanje (RT):

Radiografski snimci se koriste kako bi se otkrili unutrašnji defekti u zavarenim spojevima ili materijalima. Koristi se rendgensko zračenje ili gama zračenje za dobijanje slika unutar rezervoara.

- Ultrazvučno ispitivanje (UT):

Ultrazvučni talasi se koriste za detekciju unutrašnjih nedostataka, kao što su pukotine ili nehomogenosti. Ova metoda je korisna za otkrivanje defekata u debljini čeličnih ploča.

- Magnetno ispitivanje (MT):

Magnetno ispitivanje se koristi za otkrivanje površinskih ili blisko-površinskih defekata, kao što su pukotine ili korozija. Pomoću elektromagneta stvaraju se magnetska polja koja otkrivaju promene u materijalu.

- Penetrantno ispitivanje (PT):

Penetrantna tečnost se nanosi na površinu zavarenih spojeva, a zatim se uklanja. Ako postoji pukotina ili defekt, penetrant ostaje u pukotini i postaje vidljiv kada se nanese razvijач.

- Hidrostatičko ispitivanje (HT):

Rezervoar se puni vodom pod pritiskom kako bi se proverila njegova hermetičnost i sposobnost da izdrži pritisak. Ovo ispitivanje se obično vrši pre nego što se rezervoar stavi u operativnu upotrebu.

- Vazdušno ispitivanje (pneumatsko ispitivanje):

Rezervoar se može napuniti vazduhom pod pritiskom kako bi se otkrila curenja ili pukotine. Ova metoda se koristi za testiranje hermetičnosti rezervoara.

- Ultrazvučno ispitivanje debljine (UTD):

Ova metoda se koristi za merenje debljine čeličnih ploča kako bi se otkrili eventualni gubitci materijala usled korozije ili drugih faktora.

- Testiranje hermetičnosti gasovima (Gas Testing):

Koriste se specijalni detektori za otkrivanje prisustva štetnih gasova unutar rezervoara, što može ukazivati na pukotine ili propuste.

Svi ovi postupci su deo standardnih postupaka kontrole kvaliteta i sigurnosti prilikom izrade rezervoara za skladištenje nafte. Izbor odgovarajućih metoda ispitivanja zavisi od vrste materijala, specifičnih zahteva projekta i standarda koji se primenjuju. Ispitivanja se često sprovode u skladu sa međunarodnim i lokalnim standardima kako bi se osigurala kvaliteta i bezbednost rezervoara.

4.6 Premazi i zaštita od korozije

Rezervoari se često premazuju specijalnim premazima koji pružaju zaštitu od korozije i agresivnih hemijskih sredina. Ovi premazi produžavaju životni vek rezervoara.

Premazi i zaštita od korozije igraju ključnu ulogu u produžavanju životnog veka i održavanju integriteta rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte. Ovi premazi štite rezervoar od atmosferskih uticaja, vlage, hemikalija i korozije, čime se osigurava da skladištene supstance budu zaštićene i da se održava strukturalna čvrstoća rezervoara. Evo nekoliko ključnih aspekata premaza i zaštite od korozije:

- Izbor odgovarajućih premaza:

Premazi se biraju u skladu sa vrstom materijala od kojeg je napravljen rezervoar, vrstom skladištene nafte, okruženjem u kojem će rezervoar biti postavljen (npr. morska oblast, industrijska zona) i izloženostima koroziji.

- Priprema površine:

Pre nanošenja premaza, površine rezervoara moraju biti temeljito pripremljene. To uključuje čišćenje od nečistoća, rđe, masnoća i stvaranje dobre adhezivne površine za premaz.

- Nanošenje premaza:

Premazi se mogu nanositi različitim metodama, kao što su prskanje, četkanje ili valjanje. Važno je osigurati ravnomerno nanošenje premaza kako bi se obezbedila adekvatna zaštita svih površina.

- Slojevi premaza:

Premazi se obično nanose u više slojeva kako bi se postigla potrebna debljina i pouzdanost zaštite. Ovi slojevi se nanose u skladu sa preporukama proizvođača i standardima.

- Debljina premaza:

Debljina premaza igra ključnu ulogu u zaštiti od korozije. Premali slojevi mogu dovesti do nedovoljne zaštite, dok suviše debeli slojevi mogu izazvati neredovnu površinu i nepravilnosti.

- Vrste premaza:

Postoje različite vrste premaza za zaštitu od korozije, uključujući epoksidne premaze, cink-fosfatne premaze, epoksidno-cink premaze, poliuretanske premaze i druge specijalizovane premaze.

- Monitoriranje i održavanje:

Nakon nanošenja premaza, redovno praćenje stanja premaza i pravilno održavanje su važni kako bi se osigurala dugotrajnost i efikasnost zaštite.

- Specifične zaštite:

U nekim slučajevima, posebne zaštite se primenjuju na područjima gde postoji veći rizik od korozije, kao što su spojevi, uglovi i delovi izloženi atmosferskim uslovima.

- Ekološki aspekti:

Prilikom izbora premaza, treba obratiti pažnju na ekološke aspekte kako bi se osiguralo da premazi budu bezbedni za okolinu i ljude.

Premazi i zaštita od korozije su vitalni faktori u očuvanju rezervoara za skladištenje nafte. Pravilno izabrani i primenjeni premazi pomažu u produžavanju životnog veka rezervoara i održavanju bezbednosti skladištenih materijala.

4.7 Montaža i dodatna oprema

Nakon izrade zidova rezervoara, vrši se montaža dodatnih komponenti kao što su poklopci, pristupne merdevine, sigurnosni ventili i drugi uređaji.

Montaža i dodatna oprema rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte su ključni koraci koji omogućavaju funkcionalnost, upravljanje i bezbednost ovih objekata[47]. Ova faza

uključuje postavljanje rezervoara na njegovu konačnu lokaciju, kao i instalaciju svih dodatnih komponenti koje su potrebne za sigurno i efikasno skladištenje nafte. Evo nekoliko ključnih aspekata ovog procesa:

- Priprema lokacije:

Lokacija gde će se rezervoar postaviti mora biti pažljivo pripremljena. To uključuje nivelaciju terena, postavljanje temelja ili osnova, kao i osiguranje odgovarajućih pristupnih puteva.

- Postavljanje rezervoara:

Rezervoar se postavlja na prethodno pripremljeni temelj ili osnovu. Ovo se obično radi uz pomoć dizalica i specijalizovane opreme.

- Povezivanje cevovoda:

Cevovodi se instaliraju kako bi se omogućio ulaz i izlaz nafte iz rezervoara. Ovi cevovodi treba da budu pravilno povezani sa rezervoarom i spremni za transport i skladištenje nafte.

- Montaža poklopaca i ventila:

Rezervoar je opremljen poklopcima koji omogućavaju pristup unutrašnjosti. Takođe se montiraju sigurnosni ventili i ostala oprema za regulaciju i kontrolu pritiska.

- Pristupna oprema:

Merdevine, stepenice, platforme i druge pristupne konstrukcije se postavljaju kako bi omogućile ljudima pristup rezervoaru za održavanje, inspekciju ili popravke.

- Sigurnosna oprema:

Instalira se sigurnosna oprema kao što su zaštitne ograde, signalizacija, vatrogasni aparati i slično kako bi se osigurala bezbednost ljudi i okoline.

- Merni i kontrolni sistemi:

Postavljaju se merni instrumenti za praćenje nivoa nafte unutar rezervoara, kao i kontrolni sistemi za regulaciju temperature, pritiska i drugih parametara.

- Električna instalacija:

Ako je potrebno, instalira se električna oprema kao što su osvetljenje, ventilacioni sistemi, senzori i drugi uređaji.

- Testiranje sistema:

Nakon montaže opreme, sprovode se testiranja sistema kako bi se osigurala njihova funkcionalnost i usklađenost sa zahtevima.

- Inspekcija i overa:

Kvalifikovani inženjeri i inspektori vrše inspekciju kako bi potvrdili da je montaža i instalacija izvršena pravilno i u skladu sa standardima.

- Puštanje u operativnu upotrebu:

Nakon uspešnog testiranja i inspekcije, rezervoar se može staviti u operativnu upotrebu za skladištenje nafte.

Montaža i dodatna oprema rezervoara za skladištenje nafte zahtevaju koordinaciju više disciplina, uključujući inženjering, građevinske radove, elektrotehniku i druge oblasti. Pravilno izvedena montaža i instalacija su od suštinskog značaja za sigurnost i pouzdanost skladištenja nafte

4.8 Testiranje i sertifikacija

Pre nego što se rezervoar stavi u upotrebu, obično se vrše testiranja integriteta, hermetičnosti i performansi. Rezervoari se takođe moraju pridržavati različitih industrijskih standarda i propisa.

Testiranje i sertifikacija rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte su ključni koraci u osiguranju da su rezervoari izgrađeni i instalirani u skladu sa standardima, propisima i tehničkim zahtevima. Ovi postupci se sprovode kako bi se garantovala sigurnost, funkcionalnost i pouzdanost rezervoara pre nego što se stave u operativnu upotrebu. Evo nekoliko ključnih aspekata testiranja i sertifikacije rezervoara:

- Hidrostatičko ispitivanje (Pressure Test):

Rezervoar se puni vodom pod određenim pritiskom kako bi se proverila njegova hermetičnost i stabilnost. Ovo ispitivanje se često sprovodi kako bi se otkrili eventualni curenja ili slabe tačke na rezervoaru.

- Ispitivanje debljine materijala (Ultrasonic Thickness Testing):

Koristi se ultrazvuk kako bi se merila debljina čeličnih ploča rezervoara. Ovo ispitivanje pomaže u otkrivanju eventualnih gubitaka debljine zbog korozije ili drugih faktora.

- Radiografsko ispitivanje (Radiographic Testing):

Koriste se rendgenski ili gama snimci kako bi se otkrili unutrašnji defekti, pukotine ili nehomogenosti u zavarenim spojevima ili materijalima.

- Ultrazvučno ispitivanje (Ultrasonic Testing):

Koristi se ultrazvuk za detekciju unutrašnjih nedostataka, kao što su pukotine ili nehomogenosti. Ova metoda je korisna za otkrivanje defekata u debljini čeličnih ploča.

- Magnetno ispitivanje (Magnetic Particle Testing):

Koristi se magnetno polje i magnetski prah za otkrivanje površinskih ili blisko-površinskih defekata, kao što su pukotine ili korozija.

- Vazdušno ispitivanje (Pneumatic Test):

Rezervoar se može napuniti vazduhom pod pritiskom kako bi se otkrila curenja ili pukotine. Ova metoda se koristi za testiranje hermetičnosti rezervoara.

- Testiranje ventilacija i sigurnosti (Ventilation and Safety Testing):

Proverava se efikasnost ventilacionih sistema, kao i ispravnost sigurnosnih ventila i sistema zaštite od prekomernog pritiska.

- Inspekcija vizuelnim pregledom (Visual Inspection):

Kvalifikovani inspektori vrše vizuelnu inspekciju rezervoara kako bi otkrili očigledne nedostatke, oštećenja ili nepravilnosti.

- Certifikacija od strane relevantnih tela:

Nakon uspešno završenih ispitivanja, rezervoar može biti certifikovan od strane relevantnih institucija, regulatornih tela ili nezavisnih agencija.

- Sklapanje tehničke dokumentacije:

Nakon ispitivanja i certifikacije, sastavlja se dokumentacija koja potvrđuje da rezervoar ispunjava sve tehničke zahteve i standarde.

Ispitivanje i certifikacija rezervoara za skladištenje nafte su važni kako bi se osigurala njihova bezbednost, pouzdanost i usklađenost sa standardima. Ovi postupci se sprovode od strane stručnjaka sa iskustvom u odgovarajućim oblastima kako bi se garantovala integritet i funkcionalnost rezervoara.

4.9 Transport i instalacija

Nakon završetka izrade i testiranja, rezervoar se transportuje do lokacije gde će biti postavljen. Ovde se koriste posebni uređaji i mašine za siguran transport i podizanje.

Transport delova i instalacija rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte su složeni procesi koji zahtevaju pažljivo planiranje, koordinaciju i tehničku ekspertizu. Ovi koraci su ključni kako bi se osiguralo da rezervoari budu pravilno postavljeni na odredištu i da budu funkcionalni, sigurni i usklađeni sa standardima. Evo nekoliko ključnih aspekata transporta i instalacije rezervoara:

Transport delova:

- Rastavljanje i priprema:

Rezervoari se često transportuju u delovima, posebno ako je potrebno preći veće udaljenosti. Delovi se rastavljaju, pažljivo obeležavaju i pripremaju za transport.

- Obezbeđivanje i pakovanje:

Delovi rezervoara se pravilno obezbeđuju i pakiraju kako bi se izbegla oštećenja tokom transporta. Upotreba odgovarajuće zaštitne ambalaže, spremnika i sistema za pričvršćivanje je ključna.

- Transportna sredstva:

Odabir odgovarajućeg transportnog sredstva (kamioni, kontejneri, brodovi) zavisi od udaljenosti, dimenzija delova i logističkih faktora. Potrebno je osigurati da transportno sredstvo može sigurno prevoziti teške i gabaritne delove.

- Logistika i koordinacija:

Planiranje transporta zahteva koordinaciju sa različitim akterima, uključujući prevoznike, logističke firme, carinske službe i druge relevantne organizacije.

- Prateća dokumentacija:

Sva potrebna dokumentacija, kao što su carinski dokumenti, transportne dozvole, sertifikati i drugi relevantni papiri, moraju biti pripremljeni i prate delove rezervoara tokom transporta.

Instalacija rezervoara:

- Priprema lokacije:

Pre nego što se delovi rezervoara dostave na lokaciju, teren treba biti pripremljen. To uključuje nivelaciju terena, postavljanje temelja i osiguranje pristupa.

- Kranovi i dizalice:

Za instalaciju većih delova rezervoara koriste se kranovi i dizalice. Odabir odgovarajuće vrste i kapaciteta dizalice je ključan za sigurnu i preciznu instalaciju.

- Montaža delova:

Delovi rezervoara se pažljivo postavljaju i spajaju u skladu sa tehničkim planom i uputstvima. Ovaj korak zahteva veštinu i iskustvo stručnjaka.

- Povezivanje opreme:

Nakon što su delovi spojeni, instalira se dodatna oprema kao što su cevovodi, ventili, merdevine, platforme i sigurnosni sistemi.

- Testiranje i inspekcija:

Nakon instalacije, sprovode se testiranja kako bi se proverila funkcionalnost i sigurnost rezervoara. Inspektori vrše inspekciju kako bi potvrdili da je instalacija izvršena ispravno.

- Certifikacija:

Ako je sve uspešno prošlo, rezervoar može biti sertifikovan kao siguran i funkcionalan za upotrebu.

- Održavanje i uputstva:

Nakon instalacije, pružaju se uputstva za održavanje i upotrebu rezervoara, kako bi se osigurala dugotrajnost i bezbednost.

Transport delova i instalacija rezervoara za skladištenje nafte zahtevaju blisku saradnju između inženjera, transportnih kompanija, građevinskih timova i drugih stručnjaka. Pravilno planiranje i izvođenje ovih koraka su ključni za uspešno postavljanje rezervoara i obezbeđivanje njihove pouzdanosti i sigurnosti.

4.10 Održavanje

Redovno održavanje rezervoara je ključno kako bi se osigurala njegova dugotrajnost i sigurnost. To uključuje inspekciju, čišćenje, eventualnu popravku i ponovno premazivanje.

Održavanje rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte je esencijalni proces kako bi se osigurala njihova dugotrajnost, sigurnost i funkcionalnost tokom vremena. Redovno održavanje pomaže u sprečavanju kvarova, minimiziranju rizika od curenja i obezbeđivanju da rezervoari i svi prateći sistemi funkcionišu kako treba. Evo nekoliko ključnih aspekata održavanja ovih rezervoara:

- Redovno inspekcija:

Periodična vizuelna inspekcija rezervoara je ključna. Inspektori pregledaju površine, spojeve, premaze i sve ostale komponente radi otkrivanja potencijalnih problema.

- Testiranje sistema:

Sistemi za merenje nivoa, sigurnosni ventili, ventilacioni sistemi i druga oprema treba redovno testirati kako bi se proverila njihova funkcionalnost.

- Ispitivanje premaza:

Premazi koji štite rezervoar od korozije treba redovno ispitivati kako bi se osiguralo da su i dalje u dobrom stanju i da pravilno štite površine.

- Kontrola korozije:

Periodično ispitivanje debljine čeličnih ploča pomaže u otkrivanju korozije ili gubitka debljine materijala. Ako se otkriju problemi, preduzimaju se mere za sanaciju.

- Održavanje cevovoda:

Cevovodi koji povezuju rezervoar sa drugim sistemima takođe zahtevaju održavanje. Čišćenje, provera integriteta i eventualno zamena delova su važni koraci.

- Redovno čišćenje:

Unutrašnjost rezervoara treba periodično čistiti kako bi se uklonile naslage, sedimenti ili ostaci nafte koji se mogu akumulirati tokom vremena.

- Upravljanje otpadom:

Prilikom čišćenja i održavanja, otpad koji se generiše treba pravilno obraditi i odložiti u skladu sa regulativama.

- Planirano održavanje:

Održavanje treba da bude planirano i redovno. To uključuje rutinske provere, testiranja i održavanje prema unapred definisanim planovima.

- Brza reakcija na eventualne probleme:

Ako se otkriju problemi tokom inspekcije ili testiranja, treba brzo reagovati kako bi se sprečilo pogoršanje situacije.

- Edukacija osoblja:

Osoblje koje radi sa rezervoarima treba biti obučeno za pravilno rukovanje opremom, detekciju problema i postupanje u slučaju hitnih situacija.

- Pravilna dokumentacija:

Sva održavanja, inspekcije i testiranja treba pažljivo dokumentovati. Ovo pomaže u praćenju stanja rezervoara tokom vremena i planiranju budućih održavanja.

Održavanje rezervoara za skladištenje nafte zahteva doslednost, stručnost i pažljivo praćenje stanja. Redovno i planirano održavanje pomaže u produžavanju životnog veka rezervoara, minimiziranju rizika i osiguravanju njihove efikasnosti i bezbednosti tokom godina.

4.11. Pregled međunarodnih standarda za izradu i kontrolu rezervoaravelikih zapremina za skladištenje nafte

Postoje brojni međunarodni standardi koji se odnose na izradu i kontrolu rezervoara velikih zapremina za skladištenje nafte. Ovi standardi se fokusiraju na različite aspekte, uključujući materijale, dizajn, konstrukciju, ispitivanje, sigurnost i održavanje. Evo nekoliko značajnih standarda koji se često primenjuju u ovoj oblasti:

- **API 650: Welded Tanks for Oil Storage:**

Ovaj standard je izdan od strane Američkog instituta za naftu (API) i odnosi se na izradu i konstrukciju zavarenih rezervoara za skladištenje nafte i drugih tečnosti. Obuhvata zahteve za materijale, dizajn, zavarene spojeve, ispitivanje i kontrolu kvaliteta.

- **API 653: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction:**

Takođe izdat od strane API, ovaj standard se fokusira na inspekciju, popravke, izmene i rekonstrukciju postojećih rezervoara za skladištenje nafte. Propisuje procedure za inspekciju i održavanje kako bi se osigurala sigurnost i pouzdanost rezervoara tokom vremena.

- **EN 14015:** Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above:

Ovaj evropski standard specificira zahteve za dizajn i izradu vertikalnih cilindričnih rezervoara sa ravnom dnom za skladištenje tečnosti pri sobnoj temperaturi i iznad nje.

- **BS EN 12285:** Workshop fabricated steel tanks:

Ovaj britanski standard se odnosi na čelične rezervoare izrađene u radionicama. Obuhvata zahteve za materijale, izradu, kontrolu kvaliteta i sigurnost rezervoara.

- **ISO 28300:** Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Venting of atmospheric and low-pressure storage tanks:

Ovaj standard definiše zahteve za ventilaciju atmosferskih i niskopritisnih rezervoara za skladištenje nafte, petrohemijskih proizvoda i prirodnog gasa.

- **ISO 16961:** Tanks for transport of dangerous goods - Service equipment for tanks - Ambient air temperature vapour pressure recovery systems:

Ovaj standard se bavi opremom za transport rezervoara sa opasnim materijalima. Uključuje zahteve za sisteme povratka pritiska pare na temperaturi okoline.

- **EEMUA 159:** Above ground flat bottomed storage tanks: A guide to inspection, maintenance and repair:

Ovaj standard, izdat od strane Britanskog udruženja inženjera za opremu i materijale (EEMUA), daje smernice za inspekciju, održavanje i popravke rezervoara sa ravnom dnom.

- **NFPA 30:** Flammable and Combustible Liquids Code:

Ovaj standard Američkog udruženja za zaštitu od požara (NFPA) sadrži odredbe koje se odnose na skladištenje zapaljivih i gorivih tečnosti, uključujući rezervoare.

Ovi standardi su samo neki od mnogih koji se primenjuju u oblasti izrade i kontrole rezervoara za skladištenje nafte. Pri izradi, instalaciji, testiranju i održavanju rezervoara, važno je konsultovati relevantne standarde kako bi se osigurala usklađenost sa najboljim praksama i sigurnosnim zahtevima.

5 METALOGRAFSKA ISPITIVANJA ZAVAREN OG SPOJA REZERVOARA

Metalografska ispitivanja zavarenog spoja rezervoara su važan deo procesa kontrole kvaliteta pri izradi rezervoara za različite namene, kao što su rezervoari za skladištenje nafte, gasa ili hemikalija. Ova ispitivanja omogućavaju detaljnu analizu mikrostrukture materijala u zavarenom spoju, što je od suštinskog značaja za ocenu integriteta i performansi spoja tokom eksploatacije.

5.1. Priprema uzorka

Prvi korak je uzimanje uzoraka zavarenih spojeva sa različitih delova rezervoara. Ovi uzorci se obično seku sa zavarenih zona, uključujući zonu zavarenog spoja (zavarenu zonu), zonu uticaja toplote (heat-affected zone - HAZ) i osnovni materijal rezervoara. Uzorci se obično seku na standardne dimenzije. Priprema uzoraka za metalografska ispitivanja zavarenog spoja rezervoara zahteva pažljiv i precizan proces kako bi se obezbedili pouzdani rezultati što podrazumeva :

- Izbor lokacija za uzorke: Prvi korak je identifikacija ključnih tačaka za uzorkovanje na zavarenom spoju rezervoara. Uzorci se obično uzimaju sa različitih delova zavarenog spoja, uključujući zonu zavarenog spoja, zonu uticaja toplote i osnovni materijal rezervoara. Ova mesta se biraju na osnovu specifikacija i standarda, kao i inženjerske procene.
- Obezbeđenje pristupa: Potrebno je osigurati odgovarajući pristup mestima sa kojih se uzimaju uzorci. To može zahtevati uklanjanje bilo kakvih zaštitnih premaza ili premaza na površini rezervoara.
- Izbor oblika i dimenzija uzoraka: Uzorci se obično izrađuju u obliku pravougaonika sa određenim dimenzijama. Standardi i specifikacije često definišu dimenzije uzoraka. Uzorci se obično seku sa odgovarajućim alatima kao što su brusilice ili rezači.
- Označavanje uzoraka: Svaki uzorak treba pažljivo označiti kako bi se omogućila identifikacija. Oznake trebaju sadržavati informacije o tački uzorkovanja, datumu uzorkovanja, identifikaciji materijala, i druge relevantne informacije.
- Hlađenje uzoraka: U nekim slučajevima, uzorci se mogu zagrejati tokom procesa sečenja ili zavarivanja. Da bi se izbegla promena mikrostrukture materijala, uzorci se moraju ohladiti na sobnu temperaturu pre nego što se nastavi sa pripremom.

- Brušenje i poliranje: Nakon što su uzorci izrezani, sledeći korak je brušenje i poliranje površina uzoraka. Ovo se radi kako bi se postigla ravna površina i uklonile nepravilnosti ili oštri rubovi.

5.2.Poliranje i brušenje

Uzorci se poliraju i bruse kako bi se postigla ravna površina, što omogućava jasno posmatranje mikrostrukture materijala. Poliranje i brušenje uzoraka za metalografska ispitivanja zavarenog spoja rezervoara su ključni koraci u pripremi uzoraka kako bi se postigla ravna i prikladna površina za mikroskopsku analizu. Ovi koraci pomažu u otkrivanju detalja mikrostrukture materijala i defekata.

Brušenje:

Prvi korak je brušenje površine uzorka kako bi se uklonile nepravilnosti, oštri rubovi i visoki vrhovi. Koriste se brusilice ili brusni papir sa različitim granulacijama, počevši sa grubim zrnima za uklanjanje grubih nepravilnosti, a zatim postupno prelazeći na finija zrna za postizanje glatke površine. Brušenje se obično vrši pod vodom kako bi se sprečilo pregrevanje uzorka i očuvala mikrostruktura materijala.

Poliranje:

Nakon brušenja, sledeći korak je poliranje površine uzorka kako bi se postigla izuzetno glatka i sjajna površina. Koristi se polirni materijal poput polirnih pasta ili dijamantskih pasti zajedno sa polirnim platnom ili toplinskim metodom poliranja. Poliranje se obično izvodi na rotirajućem disku sa ravnomerno raspoređenim polirnim materijalom. Vreme poliranja može varirati u zavisnosti od potrebne glatkoće površine.

Čišćenje i sušenje:

Nakon brušenja i poliranja, uzorak treba pažljivo očistiti kako bi se uklonile sve čestice i ostaci polirnih materijala sa površine. Uzorak se često opere destilovanom vodom, a zatim suši koristeći vazduh ili sušilicu. Čistoća uzorka je od suštinskog značaja kako bi se sprečilo unošenje nečistoća u metalografsku analizu.

Označavanje uzorka:

Svaki uzorak treba jasno označiti sa svim relevantnim informacijama kao što su identifikacija uzorka, tačka uzorkovanja, datum uzorkovanja i druge relevantne informacije. To je ključno za identifikaciju uzoraka tokom daljih ispitivanja i dokumentacije.

Nakon ovih koraka pripreme, uzorak je spreman za metalografska ispitivanja kao što su atakcija (otvaranje površine), mikroskopska analiza i ispitivanje tvrdoće. Ovi koraci će omogućiti detaljno proučavanje mikrostrukture materijala u zavarenom spoju rezervoara i identifikaciju bilo kakvih defekata ili problema koji bi mogli uticati na integritet spoja.

5.3. Atachment (otvaranje površine)

Nakon brušenja i poliranja, uzorci se često podvrgavaju odgovarajućim hemijskim ili elektrohemijskim postupcima (atačmentima) koji otkrivaju mikrostrukturne detalje. Na primer, može se koristiti reagens kako bi se istakle zrna materijala ili defekti poput pora ili inkluzija. Atachment, ili otvaranje površine uzoraka, je ključni korak u metalografskim ispitivanjima zavarenog spoja rezervoara. Ovaj korak podrazumeva upotrebu hemijskih ili elektrohemijskih rastvora kako bi se površina uzorka pripremila za mikroskopsku analizu. Cilj atakcije je istražiti mikrostrukturne detalje materijala, istaći zrna, faze i eventualno otkriti defekte. Atakcija uzoraka obuhvata:

- Izbor atakcionog rastvora: Prvi korak je izbor odgovarajućeg atakcionog rastvora ili reagensa. Ova odluka zavisi od vrste materijala koji se ispituje i cilja ispitivanja. Različite legure i metali zahtevaju različite atakcione rastvore.
- Priprema atakcionog rastvora: Rastvor se priprema prema tačnoj specifikaciji i koncentraciji navedenoj u relevantnom standardu ili laboratorijskom postupku. Često se koriste kiseline, bazni rastvori ili kompleksni reagensi.
- Imersija uzorka: Pripremljeni uzorak se potapa u atakcioni rastvor. Vreme imerzije varira u zavisnosti od materijala i reagensa, i može se kretati od nekoliko sekundi do nekoliko minuta.
- Odvajanje reagensa: Nakon određenog vremena, uzorak se izvlači iz atakcionog rastvora i temeljno ispira destilovanom vodom kako bi se zaustavila reakcija i uklonile preostale hemikalije sa površine.
- Sušenje uzorka: Uzorak se pažljivo suši, obično koristeći vazдушnu sušilicu ili sušenje na sobnoj temperaturi. Važno je osigurati potpunu suvoću kako bi se sprečilo stvaranje vodenih mrlja na površini.
- Mikroskopska analiza: Suvi uzorak se zatim postavlja pod mikroskop radi detaljne analize. Atakcija otkriva različite mikrostrukturne detalje, kao što su granice zrna, faze, inkluzije i eventualni defekti poput pora ili šupljina. Mikroskop može biti svetlosni ili elektronski, u zavisnosti od potreba ispitivanja.

- Fotografisanje i dokumentacija: Rezultati mikroskopske analize se često dokumentuju fotografijama kako bi se omogućila kasnija analiza i referenca.

Atakcija uzoraka je ključna za razumevanje mikrostrukture materijala i identifikaciju potencijalnih problema u zavarenom spoju rezervoara. Ova informacija pomaže inženjerima i stručnjacima za kontrolu kvaliteta da ocene integritet zavarenog spoja i usklađenost sa specifikacijama i standardima, što je od suštinskog značaja za bezbednost i performanse rezervoara tokom njegove eksploatacije.

5.4. Mikroskopska analiza

Pripremljeni uzorci se posmatraju pod svetlosnim mikroskopom ili elektronskim mikroskopom kako bi se analizirala mikrostruktura. To uključuje identifikaciju zrna, prisutnost defekata poput pora ili šupljina, kao i procenu kvaliteta zavarenog spoja i njegove povezanosti s osnovnim materijalom. Mikroskopska analiza uzoraka za metalografska ispitivanja zavarenog spoja rezervoara igra ključnu ulogu u razumevanju mikrostrukture materijala i identifikaciji potencijalnih problema ili defekata. Ovaj korak omogućava detaljno ispitivanje unutrašnje strukture materijala na mikroskopskom nivou. Postupak mikroskopske analize uzoraka:

- Priprema uzorka: Pre nego što se uzorak postavi pod mikroskop, on mora biti pripremljen u skladu sa standardnim postupcima, uključujući brušenje, poliranje i atakciju (otvaranje površine), kao što je opisano u prethodnom opisu.
- Postavljanje uzorka pod mikroskop: Pripremljeni uzorak se pažljivo postavlja pod svetlosni ili elektronski mikroskop, zavisno o potrebama ispitivanja. Elektronski mikroskop (SEM - Scanning Electron Microscope) omogućava veću detaljnost i veći uvid u površinu uzorka.
- Podešavanje mikroskopa: Mikroskop se podešava kako bi se postigla optimalna svetlost, uvećanje i oštrina slike. Ovo se često radi ručno kako bi se postigli najbolji rezultati.
- Posmatranje mikrostrukture: Analitičar pažljivo posmatra uzorak pod mikroskopom i identifikuje različite karakteristike mikrostrukture, uključujući granice zrna, faze, inkluzije, defekte poput pora ili šupljina, i druge relevantne detalje.
- Fotografisanje i dokumentacija: Rezultati mikroskopske analize se često dokumentuju fotografijama kako bi se omogućila kasnija analiza i referenca. Fotografije se često snimaju u različitim uvećanjima kako bi se detaljno dokumentovale različite karakteristike mikrostrukture.

- Analiza i interpretacija: Na osnovu rezultata mikroskopske analize, inženjeri i stručnjaci za kontrolu kvaliteta mogu izvršiti detaljnu analizu i interpretaciju. Ovo uključuje identifikaciju eventualnih problema, procenu kvaliteta zavarenog spoja i ocenu usklađenosti sa specifikacijama i standardima.
- Izveštaj: Na osnovu mikroskopske analize, generiše se izveštaj koji sadrži zaključke i preporuke. Ovaj izveštaj služi kao osnova za dalje akcije, kao što su popravke, dodatna ispitivanja ili odobrenje za upotrebu rezervoara.

Mikroskopska analiza omogućava detaljno proučavanje mikrostrukture materijala i otkrivanje potencijalnih problema koji bi mogli uticati na integritet zavarenog spoja rezervoara. Ovi podaci su od suštinskog značaja za bezbednost i performanse rezervoara tokom njegove eksploatacije.

5.5 Ispitivanje tvrdoće

Takođe se često vrši ispitivanje tvrdoće na različitim mestima u zavarenom spoju kako bi se procenila homogenost materijala i detektovali eventualni problemi u zoni uticaja toplote. Ispitivanje tvrdoće uzoraka za metalografska ispitivanja zavarenog spoja rezervoara je još jedan važan korak u oceni materijala i zavarenog spoja. Tvrdoća se meri kao mehanička karakteristika materijala i može pružiti informacije o njegovoj čvrstoći i otpornosti na habanje. Postupak ispitivanje tvrdoće:

- Priprema uzoraka: Pre nego što se izvrši ispitivanje tvrdoće, uzorci se moraju pripremiti kako bi se obezbedili odgovarajući oblik i dimenzije za ispitivanje. To uključuje brušenje i poliranje uzorka kako bi se obezbedila ravna i glatka površina za merenje tvrdoće.
- Ispitivač tvrdoće: Ispitivanje tvrdoće se obavlja pomoću odgovarajućeg ispitivača tvrdoće. Postoje različite metode za ispitivanje tvrdoće, a neki od najčešće korišćenih su Brinell, Rockwell i Vickers metode. Svaka od ovih metoda koristi različite testne indentore (dijamantne konuse, kuglice ili dijamantske piramide) i sile kako bi se vršila penetracija na površini materijala.
- Izvođenje testa: Na ravnoj i pripremljenoj površini uzorka, odgovarajući indenter se primenjuje pod određenim pritiskom (sila) u određeno vreme. Nakon toga se vrši merenje indentacije (utiska) koja je nastala na površini uzorka.
- Merenje tvrdoće: Merenje tvrdoće se izvodi na osnovu veličine indentacije i primenjene sile. Svaka metoda za ispitivanje tvrdoće ima svoju jedinicu za merenje tvrdoće, na primer, HB (Brinell), HRC (Rockwell) ili HV (Vickers).

- Rezultati i interpretacija: Mereni rezultati tvrdoće se zatim upoređuju sa specifikacijama i standardima kako bi se ocenila tvrdoća materijala. Viša vrednost tvrdoće obično ukazuje na čvršći materijal.

Ispitivanje tvrdoće je važno jer može pružiti informacije o materijalu, uključujući njegovu čvrstoću, otpornost na habanje i druge mehaničke karakteristike. Ovi podaci mogu biti od suštinskog značaja za procenu performansi i pouzdanosti zavarenog spoja rezervoara tokom eksploatacije.

5.6. Ocena rezultata

Nakon što su sprovedena metalografska ispitivanja, rezultati se ocenjuju u skladu sa relevantnim standardima i specifikacijama kako bi se utvrdilo da li je zavareni spoj rezervoara zadovoljio kriterijume kvaliteta i bezbednosti.

Ocena rezultata ispitivanja uzoraka za metalografska ispitivanja zavarenog spoja rezervoara je kritičan korak u procesu kontrole kvaliteta i donošenju odluka o daljim koracima u izradi rezervoara. Ova ocena se vrši na osnovu detaljne analize mikrostrukture materijala, ispitivanja tvrdoće i drugih relevantnih podataka. Evo nekoliko ključnih napomena u oceni rezultata ispitivanja:

- Analiza mikrostrukture:

Prvo, analiziraju se rezultati mikroskopske analize uzoraka. Proučavaju se karakteristike mikrostrukture kao što su granice zrna, faze materijala, inkluzije i eventualni defekti kao što su poroznost ili šupljine.

Identifikuje se homogenost mikrostrukture u različitim delovima zavarenog spoja, uključujući zonu zavarenog spoja, zonu uticaja toplote i osnovni materijal rezervoara.

- Ispitivanje tvrdoće:

Rezultati ispitivanja tvrdoće se takođe uzimaju u obzir prilikom ocene. Visoka tvrdoća može ukazivati na dobru čvrstoću materijala, ali takođe može ukazivati na krhkost u određenim slučajevima.

Tvrdoća se poredi sa specifikacijama i standardima kako bi se ocenila usklađenost materijala sa zahtevima.

- Upoređivanje sa specifikacijama i standardima:

Svi rezultati ispitivanja se upoređuju sa specifikacijama, standardima i projektantskim zahtevima za rezervoar. Ovo uključuje usklađenost sa mehaničkim svojstvima materijala, dimenzijama i kvalitetom zavarenog spoja.

Bilo kakve odstupajuće vrednosti ili probleme treba pažljivo identifikovati i oceniti.

- Izveštavanje i dokumentacija:

Svi rezultati ispitivanja, zaključci i ocene trebaju biti dokumentovani u zvaničnom izveštaju. Ovaj izveštaj služi kao osnova za donošenje odluka o daljim koracima.

Izveštaj treba sadržavati sve relevantne informacije o uzorcima, ispitivanjima, zaključcima i preporukama.

- Donošenje odluka i akcije:

Na osnovu ocene rezultata ispitivanja, inženjeri i stručnjaci za kontrolu kvaliteta donose odluke o daljim koracima. To može uključivati prihvatanje zavarenog spoja, popravke, dodatna ispitivanja ili druge akcije kako bi se obezbedila bezbednost i performanse rezervoara.

Ocena rezultata ispitivanja je ključna za obezbeđivanje integriteta i bezbednosti rezervoara. Stručnjaci trebaju pažljivo analizirati sve podatke kako bi doneli informisane odluke i osigurali da rezervoar odgovara svim tehničkim zahtevima i standardima.

Metalografska ispitivanja su od suštinskog značaja kako bi se osiguralo da rezervoari ispunjavaju sve tehničke zahteve i bezbednosne standarde. Ovi postupci pomažu u identifikaciji potencijalnih problema u zavarenom spoju i omogućavaju pravovremeno preduzimanje odgovarajućih mera kako bi se obezbedila sigurnost i pouzdanost rezervoara tokom njihove eksploatacije.

6. PRORAČUNA ČVRSTOĆE ZIDOVA REZERVOARA

Proračun čvrstoće zidova rezervoara velikih zapremnina za naftu složen je inženjerski zadatak koji zahteva poznavanje različitih faktora kao što su mehanika materijala, hidrostatski pritisak, opterećenje vetrom i seizmička opterećenja[1-3]. Zavisno od specifičnosti projekta, proračun čvrstoće zidova rezervoara može se sprovesti koristeći različite metode i standardne smernice.

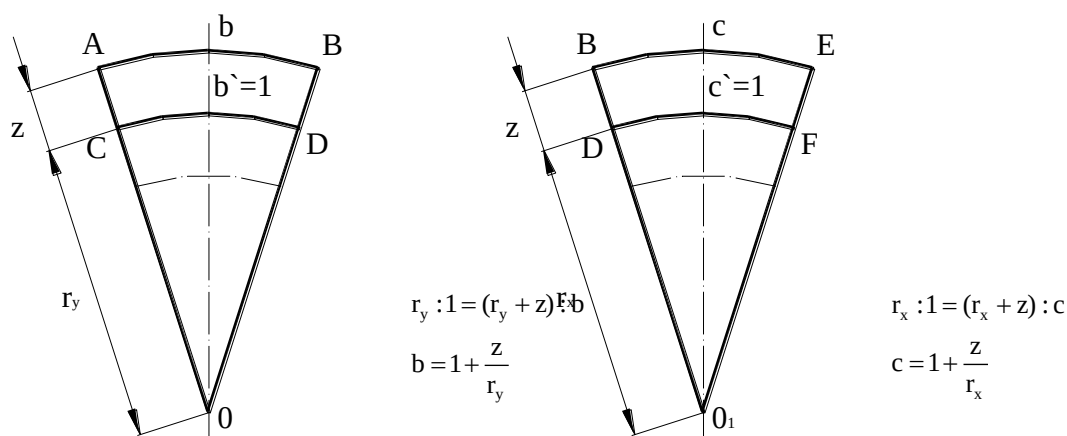
6.1. Pretpostavke proračuna

Proračunavanje ljuski rezervoara se oslanja na sledeće pretpostavke :

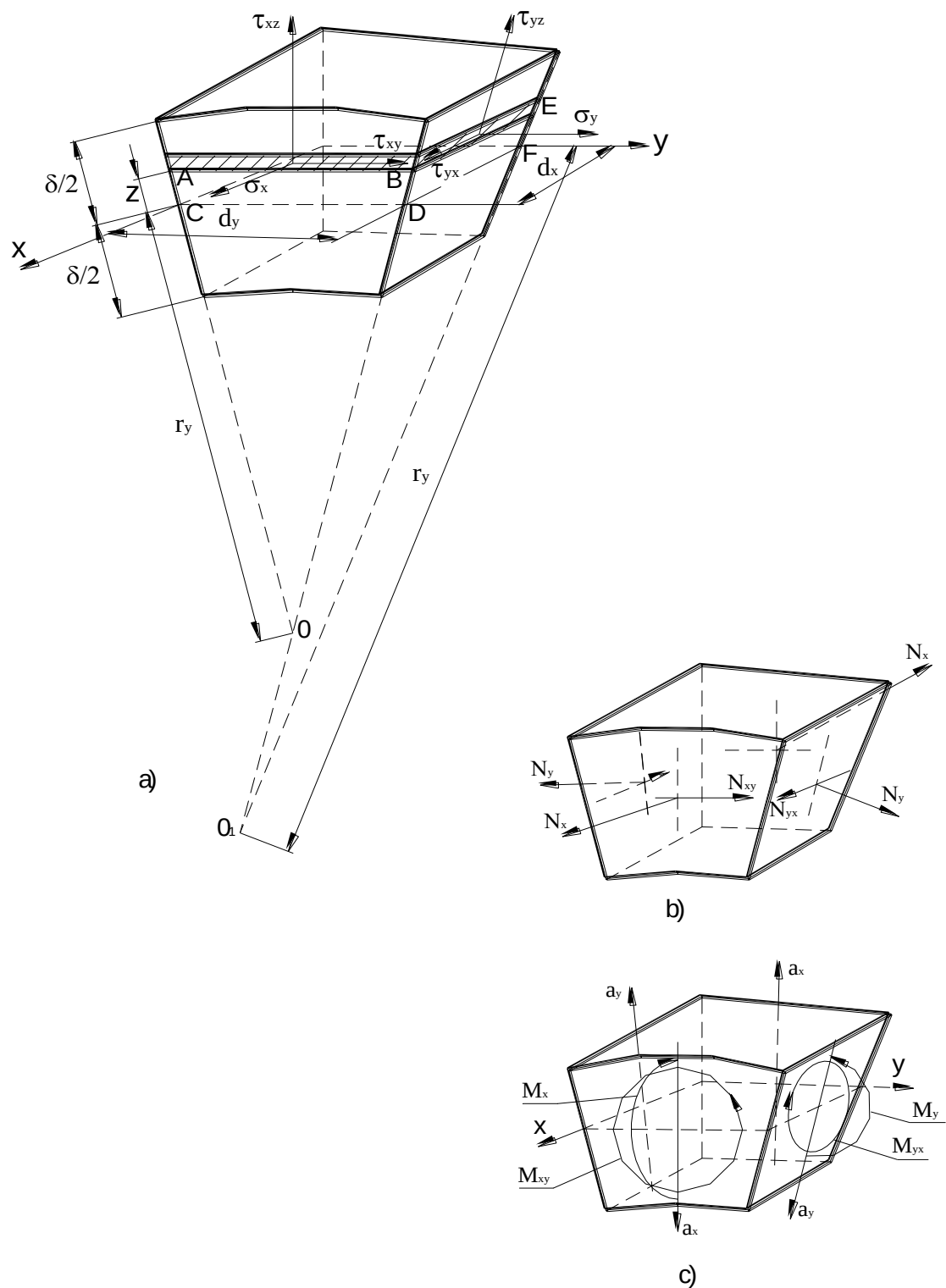
- Da je debljina ljuske (δ) mala u poređenju sa ostalim dimenzijama ljuske.
- Da su ugibi mali u poređenju sa debljinom ljuske
- Da se tačke na normali srednje površine ljuske pre deformacije, nalaze na normali na deformisanu srednju površinu.
- Da su normalni naponi koji deluju na srednju površinu ljuske malida se mogu zanemariti.

6.1.1. Sile i momenti na element ljuske

Širina bočnih površina elemenata može se izraziti preko koordinate z iz sličnosti trouglova. Imajući u vidu da je za $z = 0$, širina poprečnog preseka jednaka jedinici, iz pomenute sličnosti može se odrediti širina bočnih površina elementa u funkciji koordinate z .



Slika 2. Širina bočnih površina elementa



Slika 3. Sile i momenti u presecima ljuske

Sile i momenti po jedinici dužine preseka ljuske:

$$N_x = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \sigma_x \left(1 + \frac{z}{r_y}\right) dz, \quad N_y = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \sigma_y \left(1 + \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (1)$$

$$N_{xy} = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \tau_{xy} \left(1 + \frac{z}{r_y}\right) dz, \quad N_{yx} = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \tau_{yx} \left(1 + \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (2)$$

$$M_x = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \sigma_x \left(1 + \frac{z}{r_y}\right) z dz, \quad M_y = - \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \sigma_y \left(1 + \frac{z}{r_x}\right) z dz \quad (3)$$

$$M_{xy} = - \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \tau_{xy} \left(1 + \frac{z}{r_y}\right) z dz, \quad M_{yx} = - \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \tau_{yx} \left(1 + \frac{z}{r_x}\right) z dz \quad (4)$$

$$Q_x = - \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \tau_{xz} \left(1 + \frac{z}{r_y}\right) dz, \quad Q_y = - \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \tau_{yz} \left(1 + \frac{z}{r_x}\right) dz \quad (5)$$

Iz uslova normalnosti bočnih strana ljuske sledi:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad (6)$$

Sile smicanja N_{xy} i N_{yx} tj. torzioni momenti M_{xy} i M_{yx} biće jednaki samo u slučaju $r_y = r_x$ (to je slučaj ploče).

Uticaj članova $\frac{z}{r_x}$ i $\frac{z}{r_y}$ u prethodnim izrazima je vrlo mali, s' obzirom da je δ odnosno z

vrlo malo u upoređenju sa poluprečnicima krivina r_x i r_y .

Zato se bočne površine mogu smatrati kao pravougaonici i da normalni naponi i naponi smicanja koji deluju paralelno srednjoj površini imaju linearnu raspodelu po debljini ljuske. U slučaju rezervoara smemo pretpostaviti da su naponi koji deluju paralelno srednjoj površini ravnomerno raspoređeni po debljini ljuske δ i da ne zavise od koordinate z .

Komponente napona u izrazima se tada mogu staviti ispred integrala a imajući u vidu da je uticaj krivine vrlo mali to će biti:

$$N_x = \sigma_x \int_{-\delta/2}^{\delta/2} dz = \sigma_x z \int_{-\delta/2}^{\delta/2} = \sigma_x \left(\frac{\delta}{2} + \frac{\delta}{2}\right) = \sigma_x \delta \quad (7)$$

$$N_y = \sigma_y \delta \quad (8)$$

$$N_{xy} = N_{yx} = \tau_{xy} \delta = \tau_{yx} \delta \quad (9)$$

pri integraciji biće:

$$M_x = -\sigma_x \int_{-\delta/2}^{\delta/2} z dz = -\sigma_x \frac{z^2}{2} \Big|_{-\delta/2}^{\delta/2} = -\frac{\sigma_x}{2} \left(\frac{\delta^2}{4} - \frac{\delta^2}{4} \right) = 0 \quad (10)$$

Takođe će biti

$$M_x = M_y = M_{xy} = M_{yx} = 0 \quad (11)$$

Iz uslova ravnoteže tada moraju biti i poprečne sile

$$Q_x = Q_y = 0 \quad (12)$$

Iz prethodnog se može zaključiti da u ovom slučaju ostaju samo sile i da su to sile koje deluju paralelno srednjoj površini (momenti i popr. sile otpadaju).

Ovakvo naponsko stanje koje je oslobođeno od napona savijanja naziva se membranskim stanjem napona.

Srednja površina je izložena istezanju i smicanju a naponi od savijanja imaju značaj sporednih napona i mogu se zanemariti.

Uslovi koji moraju biti ispunjeni da bi se imalo membransko stanje napona:

- Srednja površina mora imati kontinualnu krivinu
- Debljina ljuske ne sme da se menja na skokove
- Opterećenja ljuske moraju biti kontinualno raspodeljena i ne smeju da imaju suviše neravnomeran tok
- Ivične sile moraju biti tangencijalne u odnosu na srednju površinu.

6.1.2. Cilindričnaljuskakružnogpoprečnogpreseka

Ako komponente površinskog opterećenja predstavimo redovima:

$$\begin{aligned} X &= \sum_{n=0}^{\infty} X_n \cos(n\Theta) & Y &= \sum_{n=0}^{\infty} Y_n \sin n\Theta \\ Z &= \sum_{n=0}^{\infty} Z_n \cos(n\Theta) \end{aligned} \quad (13)$$

Pri čemu su X_n , Y_n i Z_n funkcije apscise x , kojete treba uzetika opoznate, a n uzima vrednost 0, 1, 2, 3. $Z_n = 0$ imamo kružnosimetričnu parcijalno opterećenu. Ako posmatramo parcijalno opterećenje koje odgovara nekom broju nimaćemo komponente opterećenja u obliku:

$$X = X_n \cos n\Theta, \quad Y = Y_n \sin n\Theta, \quad Z = Z_n \cos n\Theta \quad (14)$$

Sile preseca koje odgovaraju ovom opterećenju naći ćemo korišćenjem jednačina

$$N_\Theta = -Z_n R \cos n\Theta \quad (15)$$

Diferencirajući ovaj izraz po θ :

$$\frac{\partial N_\Theta}{\partial \Theta} = -Z_n R_n \sin n\Theta \quad (16)$$

Dobijamo:

$$N_{x\Theta} = -\sin(n\Theta) \int (Y_n + nZ_n) dx + C_1(\Theta) \quad (17)$$

U slučaju $X_n = 0$, Y_n i $Z_n = \text{const}$ može se izvršiti integracija. Ukoliko $C_1(\theta)$ i $C_2(\theta)$ postavimo kao periodične funkcije koordinate θ tj: $C_1(\theta) = A_1 \sin n\theta$, $C_2(\theta) = A_2 \cos n\theta$ pri čemu su A_1 i A_2 konstantne vrednosti. Tada iz jednačina sledi:

$$N_\Theta = -Z_n R \cos n\Theta \quad (18)$$

$$N_{x\Theta} = -[(Y_n + nZ_n)x - A_1] \sin n\Theta \quad (19)$$

$$N_x = \left\{ \frac{n}{R} \left[(Y_n + nZ_n) \frac{x^2}{2} - A_1 x \right] + A_2 \right\} \cos n\Theta \quad (20)$$

Pomoću ovih jednačina mogu se proračunati sile u presecima za pojedina parcijalna opterećenja a rezultate treba sabrati prema datom zakonu opterećenja.

6.1.3. Deformacije elementa ljuske

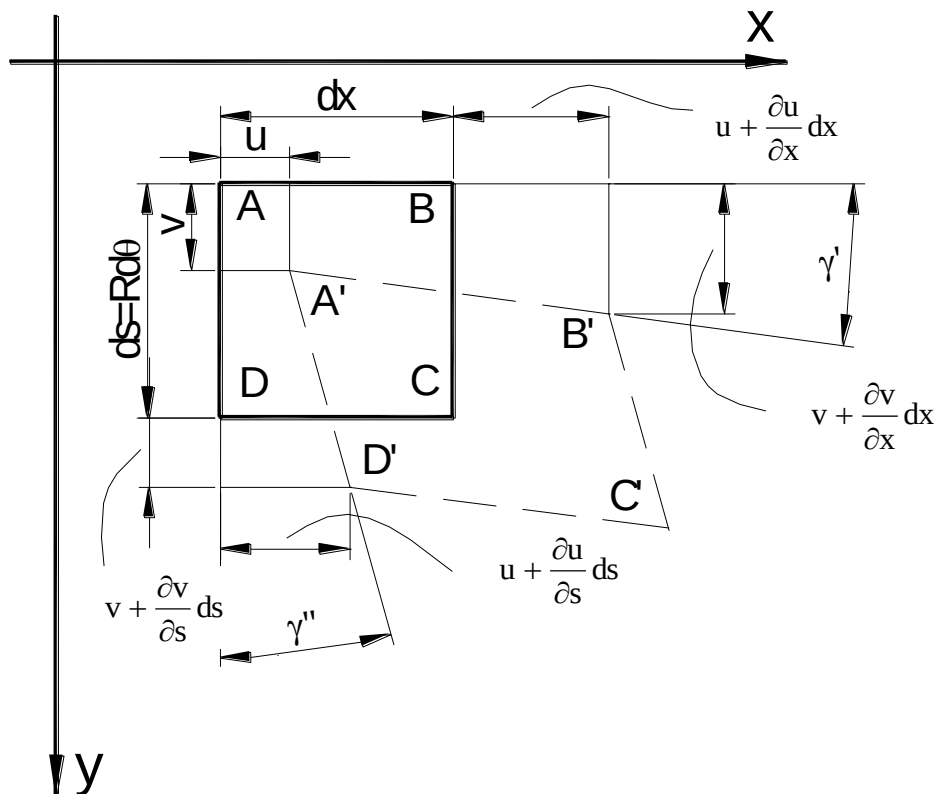
Tačke srednje površine ljuske, pri deformaciji dobijaju pomeranja u , v , w u pravcu izvodnice, tangente na prsten i normale na površinu.

Na slici 4. pokazan je element ljuske dužine dx i širine $Rd\theta$. Pojedine tačke srednje površine dobijaju sledeća pomeranja:

Tačka A pomeranja u, v, w .

Tačka B pomeranja $u + \frac{\partial u}{\partial x} dx, v + \frac{\partial v}{\partial x} dx, w + \frac{\partial w}{\partial x} dx$.

Tačka C pomeranja $u + \frac{\partial u}{\partial s} ds, v + \frac{\partial v}{\partial s} ds, w + \frac{\partial w}{\partial s} ds$



Slika 4. Deformacije elementa ljuske

Pri deformaciji menja se dužina ivice dx za $\frac{\partial u}{\partial x} dx$ pa je specifično izduženje:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (21)$$

Dužina ivice ds menja se za $\frac{\partial v}{\partial s}ds$, na osnovu čega se dobija deo specifičnog izduženja ε_Θ veličine

$$\frac{\partial v}{\partial s} = \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \Theta} \quad (22)$$

Usled pomeranja w menja se poluprečnik krivine R u $R + w$, a tome odgovara prirast specifičnog izduženja u pravcu prstena

$$\frac{(R + w)d\Theta - rd\Theta}{Rd\Theta} = \frac{w}{R} \quad (23)$$

Na osnovu prethodnog dobijamo za ε_Θ :

$$\varepsilon_\Theta = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial v}{\partial \Theta} + w \right) \quad (24)$$

Pri deformaciji menja se i prav ugao između ivica dx , ds za ugao smicanja $\gamma_{x\Theta} = \gamma' + \gamma''$ sa slike 11. se može očitati:

$$\gamma' = \frac{1}{dx} \left(\frac{\partial v}{\partial x} dx \right) = \frac{\partial v}{\partial x}, \quad \gamma'' = \frac{\partial u}{\partial s}$$

Tako da je

$$\gamma_{x\Theta} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \Theta} \quad (25)$$

Veze između napona i deformacija:

$$E\varepsilon_x = \sigma_x - \mu\sigma_\Theta$$

$$E\varepsilon_\Theta = \sigma_\Theta - \mu\sigma_x \quad (26)$$

$$G\gamma_{x\Theta} = \frac{E}{2(1+\mu)} \gamma_{x\Theta} = \tau_{x\Theta}$$

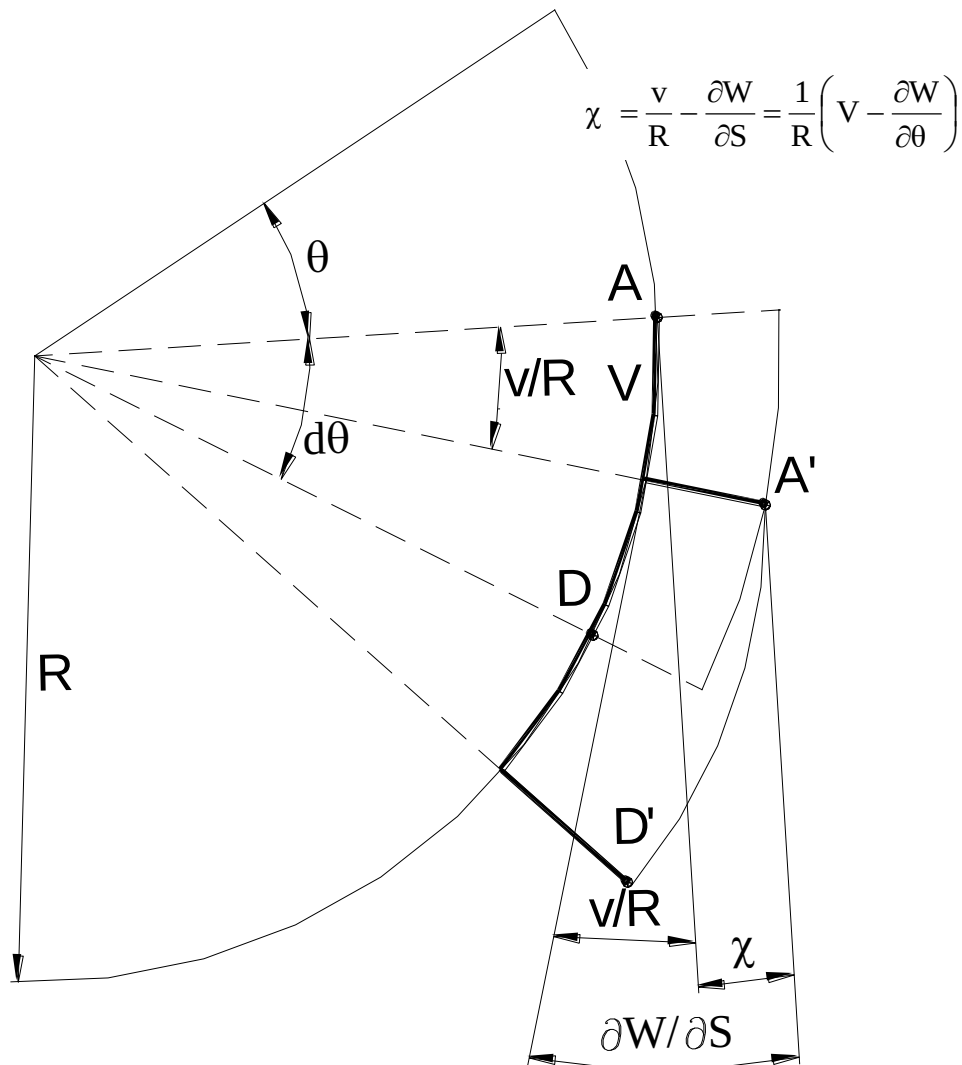
Ako pomnožimo komponente napona sa debljinom zida δ dobićemo sile u presecima pa će biti:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E\delta}(N_x - \mu N_\theta)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E\delta}(N_\theta - \mu N_x) \quad (27)$$

$$\gamma_{x\theta} = \frac{2(1+\mu)}{E\delta} N_{x\theta}$$

Za promenu χ nagiba tangente na prsten dobija se prema slici 5.



Slika 5. Nagib tangente na prsten

6.2.Proračun unutrašnjeg pritiska

Nafta u rezervoaru stvara hidrostatski pritisak na zidovima. Proračun unutarnjeg pritiska temelji se na visini nivoa nafte u rezervoaru i gustini nafte[6-8]. Proračun unutrašnjeg pritiska rezervoara za naftu temelji se na hidrostatskom pritisku koji stvara nafta unutar rezervoara. Hidrostatski pritisak zavisi od visine nafte unutar rezervoara i gustini nafte. Ovde je osnovna formula za proračun hidrostatskog pritiska:

$$p = \rho \cdot g \cdot H \quad (28)$$

Gde je :

P hidrostatski pritisak (Pa ili N/m²)

ρ gustina tečnosti (kg/m³)

g ubrzanje uslijed gravitacije (oko 9.81 m/s²)

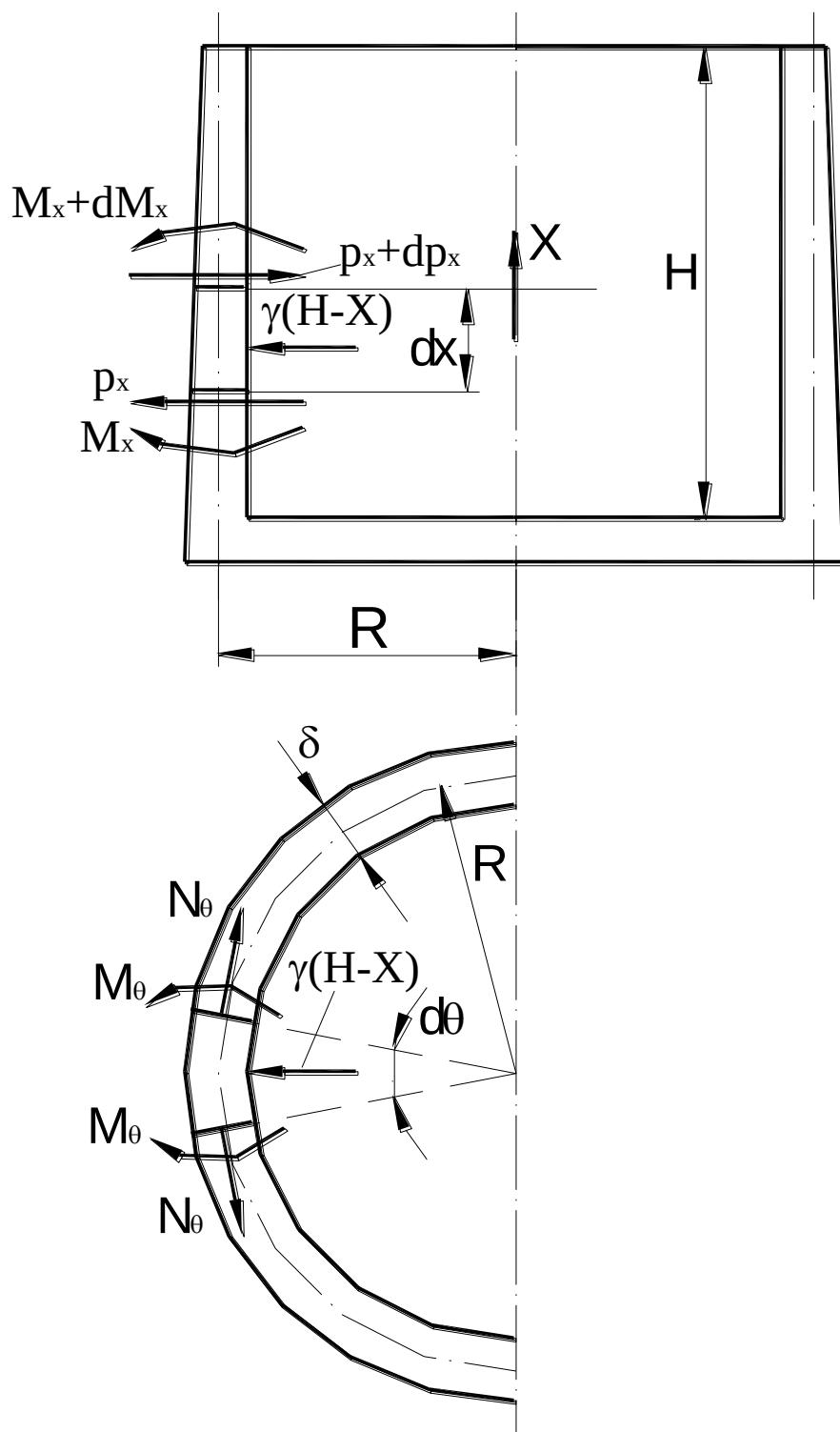
H visina tečnosti iznad tačke posmatranja (m)

Da bi se pravilno proračunao hidrostatski pritisak, mormo znati gustinu nafte i visinu nivoa nafte unutar rezervoara. Osim toga potrebno je primeniti odgovarajuće jedinice u proračunu kako bi rezultat bio ispravan.

Ako želimo proračunati maksimalni unutarnji pritisak s obzirom na visinu nivoa nafte unutar rezervoara, koristimo formulu :

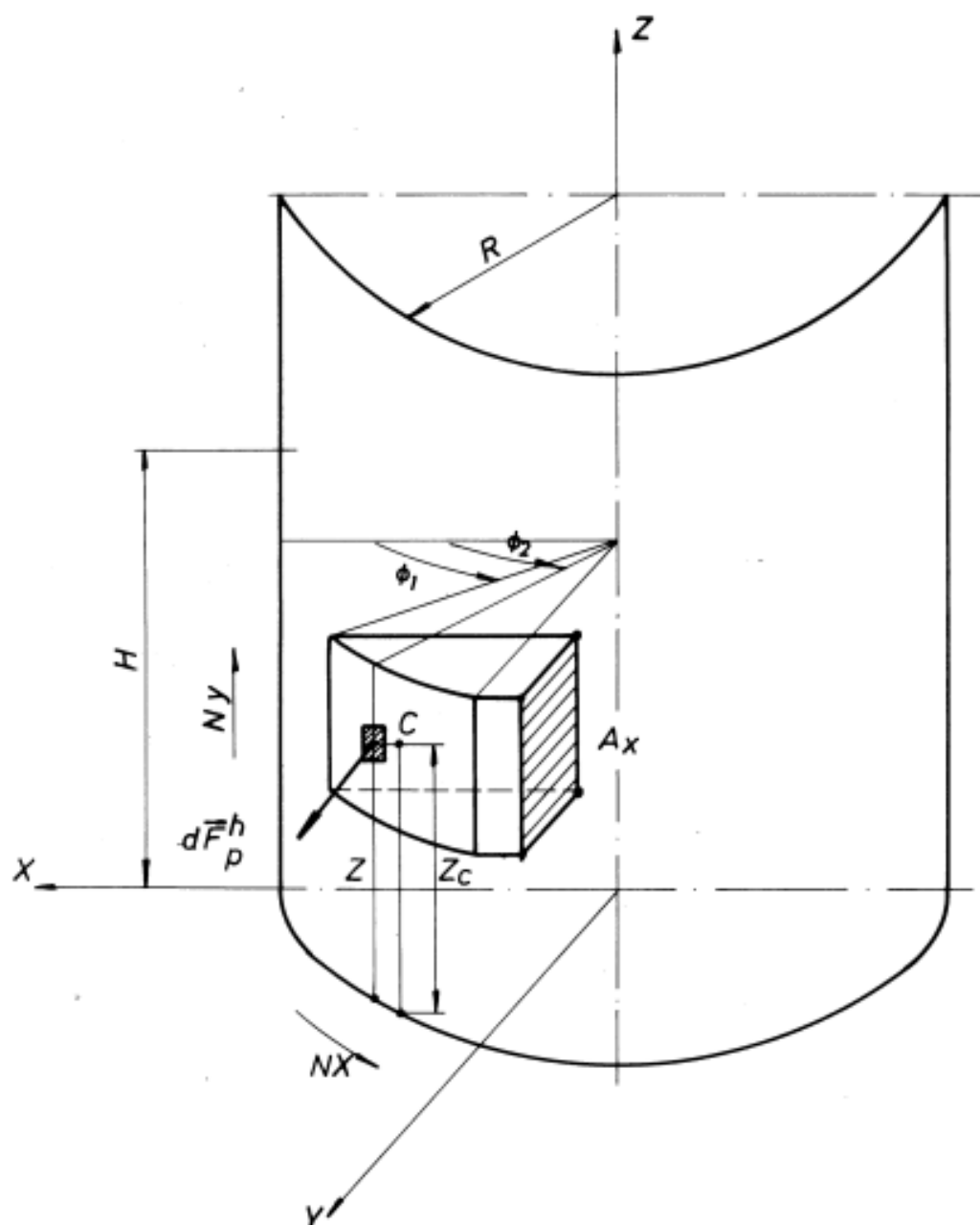
$$p_{max}=\rho \cdot g \cdot H_{max}(29)$$

Gde H_{max} predstavlja najvišu visinu nivoa nafte u rezervoaru.



Slika 6. Rezervoar sa promenljivom debljinom zida

U praksi, kod dizajna rezervoara, proračun unutarnjeg pritiska uzima se kao jedan od osnovnih uslova koji mora biti zadovoljen kako bi se osigurala čvrstoća rezervoara i sprečilo pucanje zidova usled prevelikog hidrostatskog pritiska.



Slika7. Sila hidrostatičkog pritiska

6.3. Proračun opterećenja vetrom

Vetar može izazvati opterećenje na zidovima rezervoara. To se može izračunati na temelju brzine vetra i geometrije rezervoara.

Proračun opterećenja vetrom na rezervoarima za naftu uključuje procenu sila koje vetar može izazvati na zidovima rezervoara. Ovo opterećenje zavisi od brzine vetra, izloženosti površine rezervoara, oblika rezervoara te karakteristika strujanja vetra oko rezervoara. Postoje različite metode za proračun ovih opterećenja, a jedna od najčešćih metoda je korišćenje standardnih normi kao što je Eurocode 1 ili ASCE 7[8]. Osnovni koraci za proračun opterećenja vetrom:

Prvo je potrebno odrediti brzinu vetra u području gde će se rezervoar graditi. To se obično postiže konsultacijom meteoroloških podataka ili koristeći lokalne vetromerne stanice. Dinamički pritisak vetra na površinu rezervoara može se izračunati koristeći formule iz relevantnih normi. U Eurocode 1, na primer, pritisak vetra se računa prema formuli:

$$q=1/2 \cdot C_{peak} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (30)$$

Gde je:

q dinamički pritisak vetra (N/m²)

C_{peak} koeficijent pritiska (zavisno od oblika i izloženosti površine)

ρ gustina vazduha (kg/m³)

V brzina vetra (m/s)

Ukupna sila vetra na površinu rezervoara može se dobiti množenjem dinamičkog pritiska q s površinom koju vetar udara:

$$F_{wind}=q \cdot A(31)$$

Gde A predstavlja površinu izloženu vetru.

6.4. Proračun momenta vetra

Uzimajući u obzir oblik rezervoara, udaljenost od ose rotacije (obično centra) i sredstva na koje sila vetra djeluje, takođe je važno proračunati moment vetra koji djeluje na rezervoar.

Proračun momenta vetra na rezervoaru za naftu uključuje procenu obrtnog momenta koji vetar može izazvati na rezervoaru. Ovaj moment zavisi od oblika rezervoara, izloženosti površine rezervoara vetru te karakteristikama strujanja vetra oko rezervoara. Evo osnovnih koraka za proračun momenta vetra:

Potrebno je odrediti brzinu vetra u području gde će se rezervoar graditi. Ovo je osnovni parametar za proračun.

Aerodinamički moment koji vetar stvara na površini rezervoara zavisi od koeficijenta momenta C_m i površini koja je izložena vetru A :

$$M_{wind} = 1/2 \cdot C_m \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot r \quad (32)$$

Gde je

M_{wind} moment vetra (N·m)

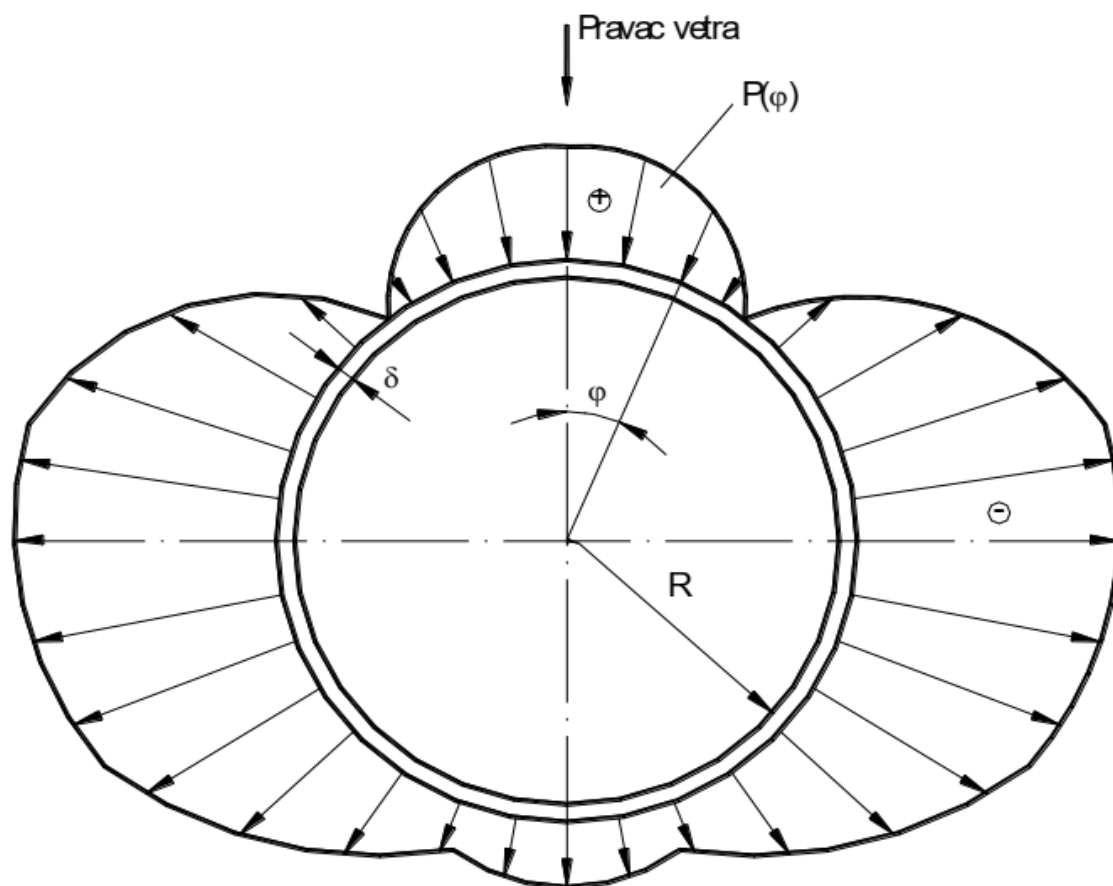
C_m koeficijent momenta (zavisi od oblika rezervoara)

ρ gustina vazduha (kg/m³)

V brzina vetra (m/s)

A površina izložena vetru (m²)

Rudaljenost od ose rotacije (obično centra) do površine koja je izložena vetru (m)



Slika 8. Raspored pritiska vetra

6.5 Sigurnosni faktori

Kao i kod drugih opterećenja, koriste se sigurnosni faktori kako bi se osigurala dodatna sigurnost u proračunu.

Sigurnosni faktori su ključni element prilikom proračuna i dizajna rezervoara velikih zapremina za naftu, kao i za sve druge inženjerske konstrukcije. Oni osiguravaju dodatnu sigurnost uzimajući u obzir nepredviđene faktore, varijacije u opterećenjima te potencijalne greške u proračunima ili izvedbi. Sigurnosni faktori pomažu osigurati da konstrukcija bude dovoljno snažna i pouzdana čak i u uvjetima koji premašuju standardne ili očekivane uvjete. U proračunu rezervoara za naftu, obično se koriste sljedeći sigurnosni faktori:

- **Sigurnosni faktor na čvrstoću materijala:**

Ovaj faktor uzima u obzir varijacije u svojstvima materijala, obrade materijala i ostale faktore koji mogu utjecati na stvarnu čvrstoću. Uglavnom se primjenjuje na čvrstoću materijala, modul elastičnosti i druge svojstva materijala.

- **Sigurnosni faktor na opterećenja:**

Ovaj faktor uzima u obzir varijacije u opterećenjima kao što su hidrostatski pritisak, opterećenje vjetrom, seizmička opterećenja itd. Sigurnosni faktor osigurava da konstrukcija može podnijeti veće opterećenje nego što je stvarno očekivano.

- **Sigurnosni faktor na nestandardne uslove:**

Ponekad se konstrukcije mogu suočiti s ekstremnim ili nestandardnim uvjetima. Sigurnosni faktor na nestandardne uvjete osigurava da konstrukcija ostane sigurna i pouzdana čak i u tim izvanrednim situacijama.

- **Sigurnosni faktor na izvedbu i greške:**

Ovaj faktor uzima u obzir moguće greške u izvedbi, varijacije u procesima gradnje i montaže. Sigurnosni faktor osigurava da čak i uz prisutnost malih grešaka, konstrukcija ostane sigurna.

- **Sigurnosni faktor na trajnost:**

Konstrukcija mora biti projektirana kako bi izdržala svoju predviđenu životnu dob. Sigurnosni faktor na trajnost osigurava da konstrukcija ne doživljava ozbiljne oštećenja tijekom svog životnog vijeka.

Uobičajeno je primeniti različite sigurnosne faktore za različite aspekte proračuna i dizajna. Sigurnosni faktori također mogu varirati ovisno o važećim standardima i regulativama. Važno je napomenuti da primjena adekvatnih sigurnosnih faktora pridonosi stvaranju sigurnih, pouzdanih i trajnih inženjerskih konstrukcija.

6.6. Seizmički proračun

U područjima sklonim potresima, potrebno je uzeti u obzir seizmičke sile koje djeluju na rezervoar. To uključuje proračun dinamičkih sila koje mogu uticati na rezervoar tokom potresa. Seizmički proračun rezervoara velikih zapremina za naftu je ključan kako bi se osigurala njihova čvrstoća i stabilnost tokom potresa. Seizmički proračun uzima u obzir uticaj seizmičkih

sila na rezervoar i osigurava da konstrukcija može izdržati potresne sile bez ozbiljnih oštećenja. Evo osnovnih koraka u seizmičkom proračunu rezervoara:

- **Odrediti seizmičku zonu:**

Prvo je važno odrediti seizmičku zonu u kojoj se rezervoar nalazi. Zavisno od geografske lokaciji, različite zone imaju različite nivoe potresne aktivnosti.

- **Usporediti seizmičke sile s težinom rezervoara:**

Seizmičke sile koje djeluju na rezervoar zavise o potresnoj opasnosti i svojstvima tla. Prvo se upoređuju s težinom rezervoara kako bi se procenilo hoće li rezervoar ostati stabilan pod uticajem tih sila.

- **Proračun seizmičkog opterećenja:**

Seizmičko opterećenje se proračunava koristeći seizmičke koeficijente, koji uzimaju u obzir seizmičku zonu, karakteristike tla, tip konstrukcije i druge faktore. Zavisno od standarda koji se primjenjuju u vašem području, seizmičko opterećenje može se proračunati pomoću relevantnih formula i tablica.

- **Proračun seizmičkog momenta i sile:**

Na temelju seizmičkog opterećenja, proračunavaju se seizmički moment i seizmička sila koje djeluju na rezervoar. Ovo uključuje uzimanje u obzir inercijskih i elastičnih svojstava rezervoara.

- **Učvršćivanje i povezivanje:**

Ugraditi odgovarajuće elemente za učvršćivanje i povezivanje rezervoara kako bi se osigurala stabilnost tokom potresa. Ovo može uključiti dodatne spojeve, nosače i elemente za apsorpciju energije.

- **Deformacija i pomicanje:**

Seizmički proračun takođe uzima u obzir moguće deformacije i pomicanja rezervoara tokom potresa. Konstrukcija mora biti dizajnirana kako bi mogla podneti takve deformacije bez ozbiljnih oštećenja.

- **Sigurnosni faktori:**

Kao i kod drugih proračuna, primjenjuju se sigurnosni faktori kako bi se osigurala dodatna sigurnost i pouzdanost tokom potresa.

- **Proračun temelja:**

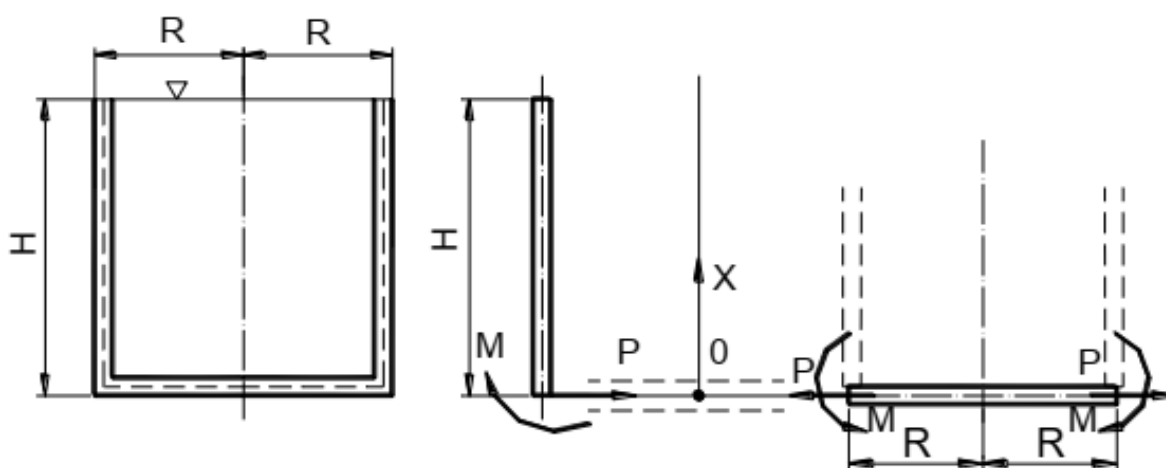
Seizmički proračun takođe uključuje proračun temelja kako bi osigurao da temelj može izdržati seizmička opterećenja.

- **Dokumentacija:**

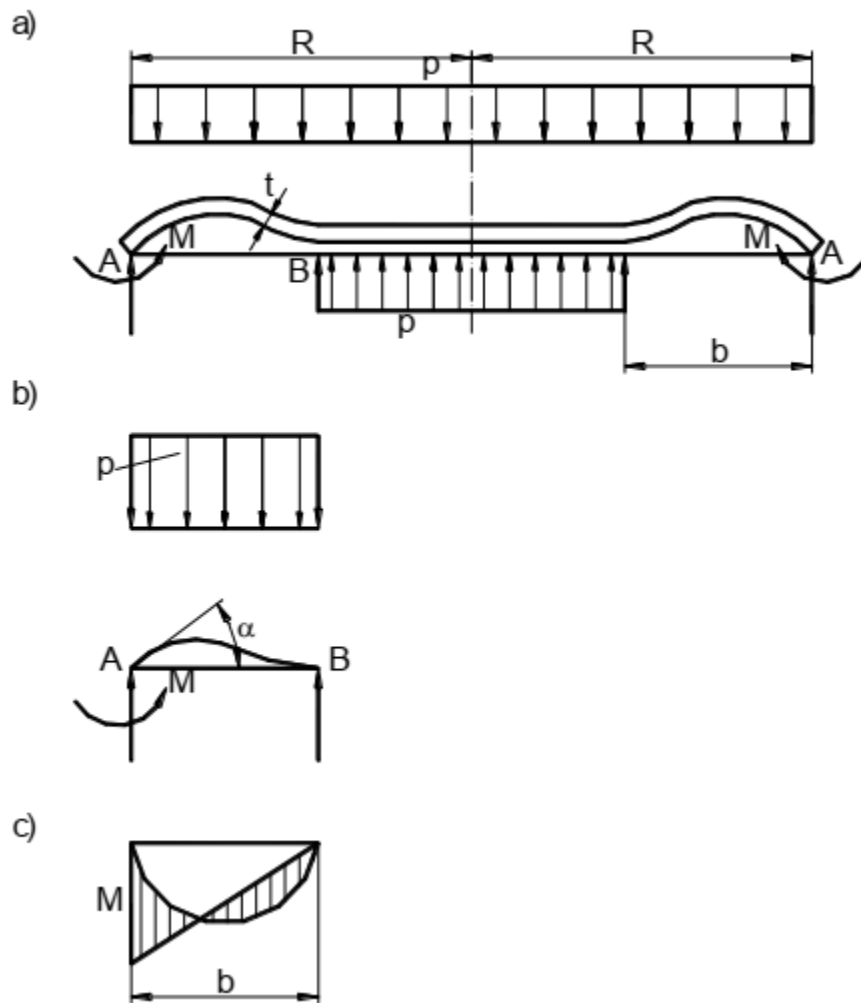
Izraditi dokumentaciju koja opisuje seizmički proračun, uključujući tehničke crteže i izvještaje.

Seizmički proračun je kompleksan proces koji zahtijeva poznavanje seizmičke inženjeringa i relevantnih standarda. Preporučuje se angažovanje stručnjaka koji će osigurati da rezervoar bude otporan na seizmičke sile i siguran tokom potresa.

6.7. Dijagrami cirkularnog i aksijalnog naponana primeru vertikalnog atmosferskog rezervoara zapremine 3000 m³



Slika 9. Dejstvo sila i momenata na spoju dno - omotač u slučaju ravnog dna



Slika 10. Deformacija dna rezervoara

A) Podaci:

$R = 800$ cm poluprečnik rezervoara

$H = 1447$ cm visina punjenja tečnošću

$H_1 = 199$ cm visina prvog prstena

$\delta = 0,9$ cm debljina lima omotača

$t = 1,0$ cm debljina lima dna

$\gamma = 0,0014$ dN/cm² spec. težina tečnosti

$E = 2100\,000$ dN/cm²

$\mu = 0,3$

B) Opterećenje dna

$$p = \gamma \cdot H = 0,0014 \cdot 1447 = 2,0258 \text{ dN/cm}^2 \quad (33)$$

C) Izračunavanje ivične sile i momenta

Pomoću veličina λ

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{R \cdot \delta}} \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} = \frac{1}{\sqrt{800 \cdot 0,9}} \cdot \sqrt[4]{3(1-0,3^2)} = 0,0372 \cdot 1,2854 = 0,0479 \text{ cm}^{-1} \quad (34)$$

Jednačine za izračunavanje ivične sile i momenta na mestu spajanja dna i omotača

$$\frac{R^2}{E\delta} \gamma \cdot H - \frac{P}{2K\lambda^3} + \frac{M}{2K\lambda^2} - \frac{PR}{Et}(1-\mu) = 0$$

$$\frac{R^2}{E\delta} \gamma \cdot H = \frac{800^2}{2100000 \cdot 0,9} \cdot 0,0014 \cdot 1447 = 0,686 \quad (35)$$

$$K = \frac{E^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{2100000 \cdot 0,9^3}{12(1-0,3^2)} = 140192,31$$

$$\frac{P}{2K\lambda^3} = \frac{P}{2 \cdot 140192,31 \cdot 0,0479^3} = 0,032451 P$$

$$\frac{M}{2K\lambda^2} = \frac{M}{2 \cdot 140192,31 \cdot 0,0479^2} = 0,0015544 M \quad (36)$$

$$\frac{PR}{Et}(1-\mu) = \frac{P \cdot 800}{2100000 \cdot 1} (1-0,3) = 0,0002666 P$$

$$\begin{aligned} 0,032717 P - 0,0015544 M &= 0,686 / 10^2 \\ 3,2717 P - 0,15544 M &= 68,6 \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned}\frac{R^2}{E\delta} \gamma - \frac{P}{2K\lambda^2} + \frac{M}{K\lambda} + \frac{4(1-\mu^2)}{Et^3} \sqrt{\frac{M^3}{p}} &= 0 \\ \frac{R^2}{E\delta} \gamma &= \frac{800^2}{2100000 \cdot 0,9} \cdot 0,0014 = 0,000474 \\ \frac{P}{2K\lambda^2} &= \frac{P}{2 \cdot 140192,31 \cdot 0,0479^2} = 0,0015544 \quad P \\ \frac{M}{K\lambda} &= \frac{M}{140192,31 \cdot 0,0479} = 0,0001489 \quad M \\ \frac{4(1-\mu^2)}{Et^3} \sqrt{\frac{M^3}{p}} &= \frac{4(1-0,3^2)}{2100000 \cdot 1^3} \sqrt{\frac{M^3}{2,0258}} = 0,0000012178 \sqrt{M^3}\end{aligned}\tag{38}$$

$$\begin{aligned}1,5544 \quad P - 0,1489 \quad M - 0,0012178 \sqrt{M^3} &= 0,474 \\ 3,2717 \quad P - 0,15544 \quad M &= 68,6 \\ 1,5544 \quad P - 0,1489 \quad M - 0,0012178 \sqrt{M^3} &= 0,474 \\ 3,2717 \quad P - 0,15544 \quad M &= 68,6 \\ -3,2717 \quad P + 0,31340 \quad M + 0,0025632 \sqrt{M^3} &= -0,99767\end{aligned}\tag{39}$$

$$0,15796 \quad M + 0,0025632 \sqrt{M^3} = 67,602325$$

$$\sqrt{M^3} = 26376,249 - 61,626092 \quad M/{}^2\tag{40}$$

$$M^3 = 6,957 \cdot 10^8 - 3250930,3M + 3797,7752 M^2$$

$$M^3 - 3797,7752 M^2 + 3250930,3M - 6,957 \cdot 10^8 = 0$$

Rešavanje ove jednačine se svodi na rešavanje jednačine oblika:

$$M^3 + a_1 M^2 + a_2 M + a_3 = 0 \quad (41)$$

uvodeći smenu:

$$M = x - \frac{a_1}{3}$$

$$(x - \frac{a_1}{3})^3 + a_1(x - \frac{a_1}{3})^2 + a_2(x - \frac{a_1}{3}) + a_3 = 0$$

Dobija se jednačina oblika:

$$x^3 + px + q = 0 \quad (42)$$

gde su:

$$p = a_2 - \frac{1}{3}a_1^2 \quad \text{i} \quad q = \frac{2}{27}a_1^3 - \frac{a_1a_2}{3} + a_3$$

Upoređujući jednačine (41) i (42) koeficijenti a_1 , a_2 i a_3 biće:

$$a_1 = -3797,7752$$

$$a_2 = -3250930,3$$

$$a_3 = -6,957 \cdot 10^8$$

Zamenjujući ove vrednosti u izraze za p i q dobija se:

$$p = -1556768,5$$

$$q = -6,377 \cdot 10^8$$

Diskriminanta jednačine biće:

$$D = \left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3 \quad (43)$$

$$D = \left(\frac{-6,377 \cdot 10^8}{2}\right)^2 + \left(\frac{-1556768,5}{3}\right)^3 = -3,807 \cdot 10^{16} < 0 \quad (44)$$

Pošto je:

$D < 0$ jednačina ima tri različita realna korena.

Jednačina se može u tom slučaju rešiti trigonometrijskim putem.

Iz trigonometrije poznat obrazac

$$4\cos^3 \frac{\Theta}{3} - 3\cos \frac{\Theta}{3} = \cos \Theta \quad (45)$$

Pomoću koga se može izračunati $\cos \frac{\Theta}{3}$ kad je poznat $\cos \Theta$. Kako se $\cos \Theta$ ne menja kad se Θ smeni sa $\Theta + 2K\pi$, $K = 0 \pm 1 \pm 2 \pm \dots$ jednačinu (45) zadovoljavaju tri vrednosti:

$$\cos \frac{\Theta}{3}, \quad \cos \frac{\Theta + 2\pi}{3}, \quad \cos \frac{\Theta + 4\pi}{3} \quad (46)$$

Kod obe strane jednačine (45) pomnožimo sa $\frac{1}{4}\varsigma^3$ gde je ς za sada neodređen pozitivan broj, i stavimo da je $x = \varsigma \cos \frac{\Theta}{3}$ dobićemo jednačinu

$$\varsigma^3 \cos^3 \frac{\Theta}{3} - \frac{3}{4}\varsigma^3 \cos \frac{\Theta}{3} = \frac{1}{4}\varsigma^3 \cos \Theta$$

$$x^3 - \frac{3}{4}\varsigma^2 x - \frac{1}{4}\varsigma^3 \cos \Theta = 0$$
(47)

Poređenjem koeficijenata jednačina (45) i (47) dobijamo:

$$p = -\frac{3}{4}\varsigma^2 \quad q = -\frac{1}{4}\varsigma^3 \cos \Theta$$

Odakle je:

$$\varsigma = 2\sqrt{\frac{-p}{3}} \quad \cos \Theta = -\frac{4q}{\varsigma^3} \quad (48)$$

Prema tome rešenja se nalaze u obliku:

$$x_1 = \varsigma \cos \frac{\Theta}{3}$$

$$x_2 = \varsigma \cos \frac{\Theta + 2\pi}{3}$$

$$x_3 = \varsigma \cos \frac{\Theta + 4\pi}{3} \quad (49)$$

$$\varsigma = 2\sqrt{+\frac{1556768,5}{3}} = 1440,726$$

$$\cos \Theta = -\frac{4 \cdot (-6,377 \cdot 10^8)}{(1440,726)^3} = 0,85296 \quad (50)$$

$$\Theta = 31^{\circ}27'54''$$

$$\cos \frac{\Theta + 2\pi}{3} = \cos \frac{31,464911 + 360^{\circ}}{3} = 0,64929$$

$$\cos \frac{\Theta + 4\pi}{3} = \cos \frac{31,464911 + 720^{\circ}}{3} = -0,33399$$
(51)

Na osnovu prethodnog rešenja jednačine biće:

$$\begin{aligned}x_1 &= \zeta \cos \frac{\Theta}{3} = 1440,726 \cdot 0,85296 = 1228,8816 \\x_2 &= \zeta \cos \frac{\Theta + 2\pi}{3} = 1440,726 \cdot (-0,64929) = -935,44898 \quad (52) \\x_3 &= \zeta \cos \frac{\Theta + 4\pi}{3} = 1440,726 \cdot (-0,33399) = -481,18808\end{aligned}$$

Polazeći od uvedene smene $M = x - \frac{a_1}{3}$ rešenje jednačine (43) biće:

I par rešenja:

$$\begin{aligned}M &= x_1 - \frac{a_1}{3} = 1228,8816 + \frac{3797,752}{3} = 2494,7989 \quad \text{dN.cm/cm} \\P &= \frac{68,6 + 0,15544M}{3,2717} = 139,49676 \quad \text{dN/cm}\end{aligned} \quad (53)$$

II par rešenja:

$$\begin{aligned}M &= x_2 - \frac{a_1}{3} = -935,44898 + \frac{3797,752}{3} = 330,468 \text{dNcm/cm} \\P &= 36,668 \text{dN/cm}\end{aligned} \quad (54)$$

III par rešenja:

$$\begin{aligned}M &= x_3 - \frac{a_1}{3} = -481,18808 + \frac{3797,752}{3} = 784,729 \text{dNcm/cm} \\p &= 58,25 \text{DN/cm}\end{aligned} \quad (55)$$

Sistem jednačina (35), (38) jedino zadovoljava II par rešenja pa je konačno

$$M = 330,468 \quad \text{dNcm/cm}$$

$$P = 36,668 \quad \text{dN/cm}$$

- **Izračunavanje širine B ivične zone duž koje se dno odiže od podloge**

$$B = 2 \sqrt{\frac{M}{p}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{330,468}{2,0258}} = 25,544 \text{cm} \quad (56)$$

- **Izračunavanje sila u pojedinim presecima N_θ**

Ukupna sila po jedinici dužini preseka biće jednaka zbiru sila od dejstva hidrostatičkog

pritiska, od ivične sile P i od ivičnog momenta M :

$$N_{\Theta} = N_{\Theta_0} + N_{\Theta_p} + N_{\Theta_M} \quad (57)$$

Ukupna sila u nekom preseku biće:

$$N_{\Theta} = \gamma R(H-x) + \frac{E\delta e^{-\lambda x}}{2RK\lambda^3} \{M\lambda[\cos\lambda x - \sin\lambda x] - P\cos\lambda x\} \quad (58)$$

Na osnovu izraza (58) za pojedine preseke a polazeći od dna prema vrhu rezervoara, izračunate su vrednosti sila N_{Θ} i date u tabeli 4 .

Tabela 4 .

x	N_{Θ}	$\sigma_{\Theta} = \frac{N_{\Theta}}{\delta}$
cm	dN/cm	dN/cm ²
0	22,823	25,359
66	1615,421	1794,912
265	1323,834	1470,928
464	1100,96	1223,289
647	896	995,555
797	728	808,889
947	560	622,222
1097	392	435,555
1247	224	248,889
1397	56	62,222
1447	0	0

Na osnovu dobijenih vrednosti u tabeli 4 dat je dijagram cirkularnog napona σ_{Θ} u zadatim presecima. Sa slike se vidi da se najveća vrednost cirkularnog napona nalazi nešto iznad spoja dno-omotač (u preseku $x = 66$ cm) a ne u samom spoju. Objašnjenje leži u poremećaju

membranskog stanja napona na mestu spoja kojisprečava širenje omotača. U slučaju da nema dna, omotač rezervoara bi se mogao nesmetano širiti pod dejstvom hidrostatičkog pritiska i imali bi membransko stanje napona.

• **Izračunavanje momenata u pojedinim presecima M_x [dN cm/cm]**

Ukupni moment po jedinici dužine preseka biće jednak zbiru momenta od ivične sile i ivičnog momenta:

$$M_x = M_{xp} + M_{xM} \quad (59)$$

Ukupni moment u preseku M_x biće:

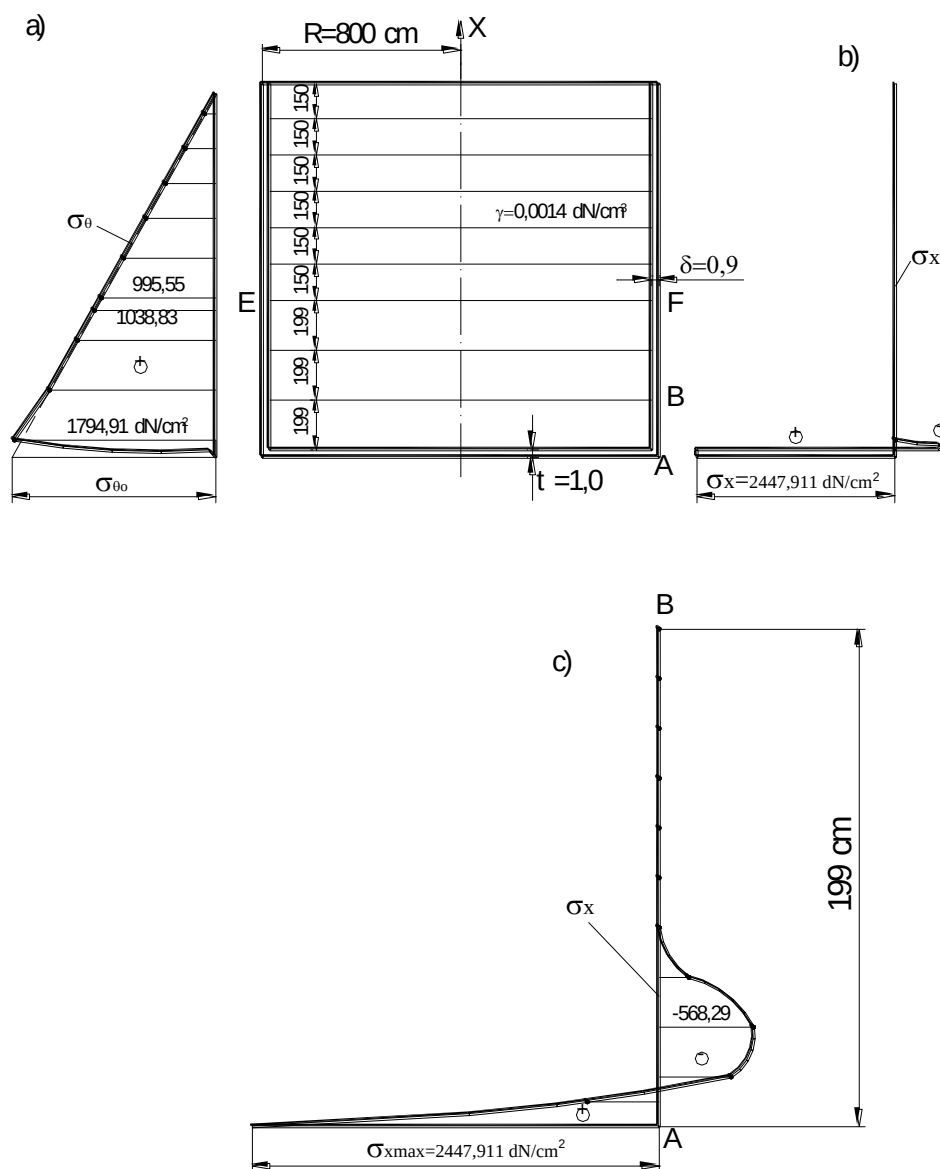
$$M_x = Me^{-\lambda x} (\cos \lambda x + \sin \lambda x) - \frac{P}{\lambda} e^{-\lambda x} \sin \lambda x \quad (60)$$

U tabeli 5 su date vrednosti momenta M_x za pojedine preseke kao i vrednosti napona u aksijalnom pravcu.

Tabela 5.

x	M_x	$\sigma_x = \frac{6M_x}{\delta^2}$
cm	dNcm/cm	dN/cm ²
0	330,468	2447,911
10	57,338	424,722
20	-63,629	-471,324
40	-76,719	-568,29
60	-24,456	-181,152
80	0,484	3,582
100	8,87	65,704
120	1,614	11,952
140	0,15	1,11
160	-0,171	-1,266
180	-0,0977	-0,726
200	-0,0179	-0,132

Na osnovu vrednosti u tabeli 5 prikazani su naponi u aksijalnom pravcu. Uočljivo je da se najveća vrednost ovog napona nalazi na mestu uklještenja. Takođe se uočava promena znaka ovog napona i njegovo naglo opadanje. Karakteristika ovog napona savijanja je da se već u prvom prstenu rezervoara prigušuje i da se njegov uticaj dalje prema vrhu rezervoara može zanemariti. Otuda se na dovoljnom odstojanju od dna rezervoara može primeniti membranska teorija.



Slika 11. Dijagram cirkularnog i aksijalnog naponaza vertikalni atmosferski rezervoar $V = 3000 \text{ m}^3$

7.PRIMENA METODE KONAČNIH ELEMENATA U PRORAČUNU REZERVOARA

Metoda konačnih elemenata (Finite Element Method, FEM) je numerička tehnika koja se često koristi u inženjerskom proračunu kako bi se analiziralo ponašanje složenih struktura pod različitim opterećenjima. Primena FEM-a u proračunu rezervoara velikih zapremina za naftu omogućuje detaljnu analizu naprezanja, deformacija i ponašanja konstrukcije pod različitim uslovima opterećenja, uključujući unutrašnje pritiske, seizmičke sile, opterećenje vetrom itd. Primena metode konačnih na proračun rezervoara podrazumeva:

7.1.Modeliranje geometrije

Prvi korak je modeliranje geometrije rezervoara u softveru za analizu konačnih elemenata. Ovde se koriste složeni 3D modeli koji precizno opisuju oblik rezervoara, uključujući zidove, dno, krov i sve relevantne detalje. Modeliranje geometrije rezervoara u softveru za analizu konačnih elemenata obično uključuje stvaranje virtualnog trodimenzionalnog modela rezervoara i okolnog okruženja. Ovo modeliranje pomaže inženjerima i analitičarima da simuliraju ponašanje rezervoara pod različitim uslovima opterećenja, promenama temperature, deformacijama tla itd. Postupak kako modelirati geometriju rezervoara u softveru za analizu konačnih elemenata podrazmeva:

- **Pripremu geometrije:**

Prvi korak je prikupljanje ili stvaranje trodimenzionalnog modela geometrije rezervoara. Ovo možete učiniti pomoću CAD (računalno podržano dizajniranje) alata kao što su AutoCAD, SolidWorks ili FreeCAD. Geometrija bi trebala uključivati dimenzije, oblike i sve relevantne detalje rezervoara, kao što su ulazi, izlazi, ventili, spojevi, podržavajuće strukture itd.

- **Uvoz u FEA softver:**

Nakon što imamo geometriju rezervoara, ulazi se u softver za analizu konačnih elemenata (FEA). Popularni FEA softveri uključuju ANSYS, Abaqus, COMSOL Multiphysics, MSC Nastran i slični. U ovom koraku, izvozite geometriju iz CAD alata u format koji se može uvesti u FEA softver, kao što su STEP, IGES ili direktne veze ako softver to podržava.

- **Definisanje materijala:**

Za svaki deo rezervoara, treba definisati materijalna svojstva kao što su gustina, elastičnost, koeficijenti termičke ekspanzije, itd. Ova svojstva igraju ključnu ulogu u analizi ponašanja materijala pod različitim opterećenjima.

- **Definisanje uslova opterećenja:**

Zavisno od vrste analize koju želite sprovesti, treba definisati različite uslove opterećenja. Tu se mogu uključiti statičko opterećenje, dinamičke sile, termalni efekti, hidrostatski pritisak, vibracije itd.

- **Mrežau elemenata i čvorova:**

FEA softver podeliće geometriju na manje elemente kako bi se lakše izvršila analiza. Ovi elementi su obično trouglovi, kvadrati ili kocke, zavisno od dimenzionisanja problema.

- **Primenu granica i uslova:**

Definisati granice i uslove na rubovima i unutar rezervoara. To mogu biti fiksni rubovi, pričvršćeni čvorovi ili bilo koji drugi relevantni uslovi koji simuliraju stvarne uslove.

- **Analizu:**

Pokrenuti analizu u softveru. Softver će izračunati deformacije, naprezanja, temperaturne promene i druge relevantne veličine. Zavisno od softver i analize, rezultati mogu uključivati pomeranja, naprezanja, temperaturne raspone, deformacije i slično.

- **Tumačenje rezultata:**

Analizirati rezultate kako bi dobili dublje razumevanje ponašanja rezervoara pod različitim uslovima. To može uključivati procenu sigurnosti, identifikaciju potencijalnih problema poput prekomernih deformacija ili naprezanja te optimizaciju dizajna.

- **Izmene i iteracije:**

Na temelju analize rezultata, možda će morati napraviti izmene u dizajnu kako bi poboljšali performanse ili rešili identificirane probleme. Ovo može uključivati promene u geometriji, materijalima ili uslovima opterećenja.

- **Izveštavanje:**

Na kraju, potrebno je izraditi izveštaj o analizi koje će sadržati opis modela, postupak analize, dobivene rezultate, zaključke i preporuke.

Važno je napomenuti da modeliranje rezervoara u softveru za analizu konačnim elementima zahteva razumevanje principa FEA, strukturalne mehanike i materijalnih svojstava. Takođe,

pravilna validacija i interpretacija rezultata ključni su koraci kako bis osigurati da model pruža realne i pouzdane informacije.

7.2.Podela na elemente

Model rezervoara podeli se na manje, geometrijske oblike poznate kao konačni elementi. Ovi elementi mogu biti trouglovi, četverougli, tetraedri, heksaedri itd. Elementi čine diskretizaciju modela. Automatska podela modela rezervoara na konačne elemente jedan je od ključnih koraka u analizi konačnih elemenata (FEA) kako bi se simuliralo ponašanje konstrukcije pod različitim uslovima opterećenja. Ova podela omogućava preciznu analizu deformacija, naprezanja i drugih karakteristika modela. Podela na elemente podrazumeva:

- **Generisanje mreže elemenata:**

FEA softver koristi mrežu konačnih elemenata kako bi modelirao stvarni objekt. Ova mreža sastoji se od elemenata i čvorova. Elementi mogu biti različitih oblika, poput trougla (u 2D analizama) ili tetraedara i heksaederi (u 3D analizama). Čvorovi su tačke unutar elemenata koje se koriste za definisanje geometrije i granica.

- **Tipovi elemenata:**

FEA softver često nudi različite tipove elemenata, svaki sa svojim karakteristikama i prednostima. Na primjer, elementi s većom preciznošću mogu zahtevati više vremena za analizu, dok elementi s manjom preciznošću mogu dovesti do manje preciznih rezultata.

- **Automatska generacija mreže:**

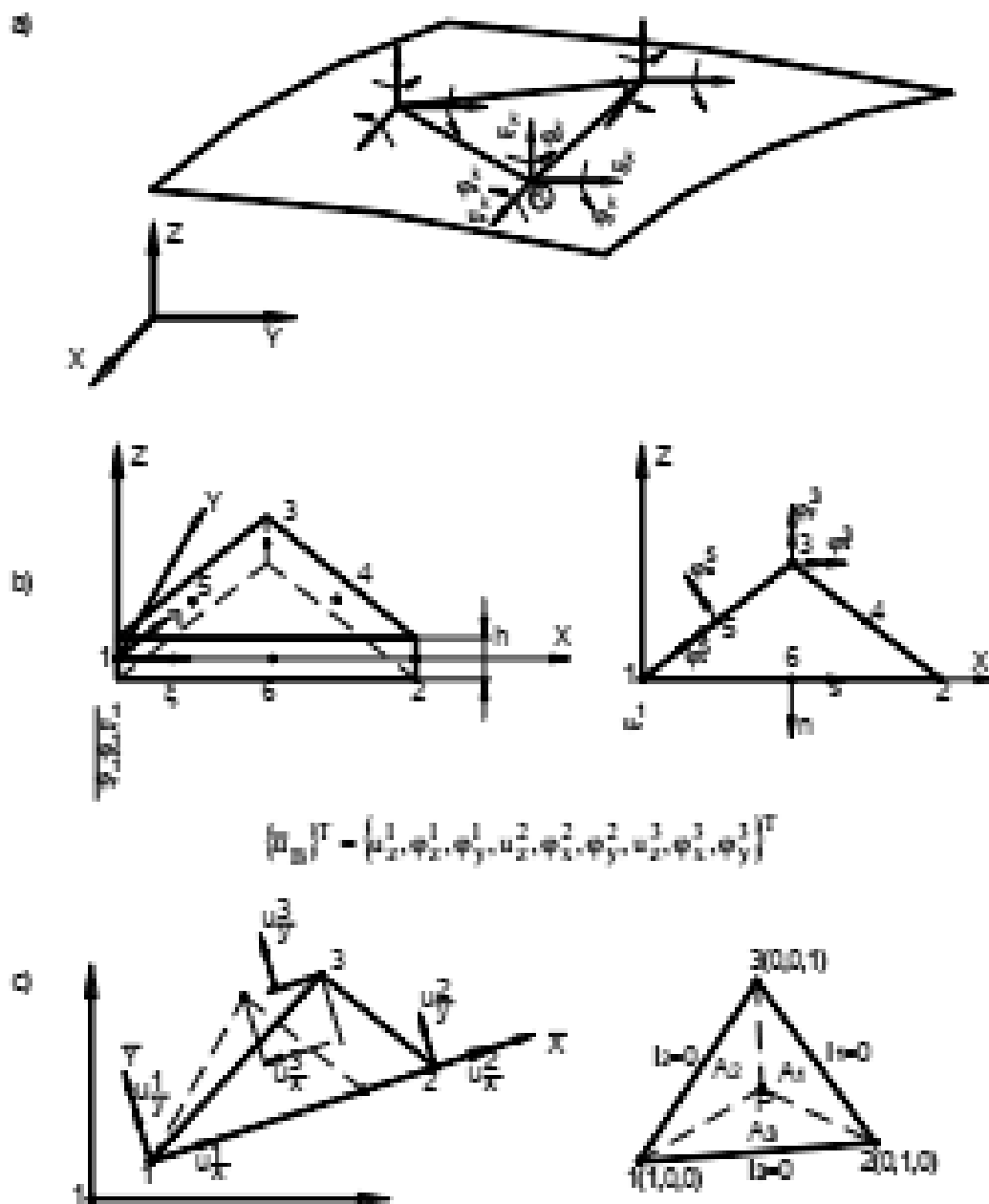
Većina FEA softvera sadrži alate za automatsku generaciju mreže elemenata. To obično uključuje odabir odgovarajućih parametara poput gustine mreže, veličine elemenata, kvalitete elemenata i slično. Na temelju tih parametara, softver generiše mrežu koja odgovara geometriji objekta.

- **Prilagođavanje mreže:**

Nakon automatske generacije mreže, možda će se morati prilagoditi mreža ručno kako bi osigurali da su elementi postavljeni tamo gde je to potrebno. To se posebno odnosi na složenije geometrije gde automatska generacija možda neće uvek zadovoljiti sve zahteve analize.

- **Kvalitet elemenata:**

Kvaliteta elemenata igra važnu ulogu u preciznosti analize. Elementi koji su previše iskrivljeni, imaju loše odnose stranica ili druge deformacije pa mogu dovesti do nepouzdanih rezultata. Softveri često nude alate za procenu i poboljšanje kvaliteta elemenata.



Slika 12. Konačni element ljuske sa rasporedom čvorova

- Prilagodljivost gustoći mreže:

Gustoća mreže može se prilagoditi kako bi imali više elemenata u područjima koja su podložna većim deformacijama ili opterećenjima, dok manje gustoće možemo koristiti u manje značajnim područjima.

- **Optimizacija:**

U nekim slučajevima, možda će se morati eksperimentisati sa različitim postavkama mreže kako bi postigli optimalan balans između preciznosti analize i vremena izvođenja.

- **Validacija mreže:**

Nakon što generišemo mrežu elemenata, važno je sprovesti validaciju kako bi osigurali da su rezultati realni i pouzdani. To može uključiti usporedbu s analitičkim rešenjima, ispitivanjima konzistencije rezultata i sl.

Automatska podela modela na konačne elemente olakšava proces pripreme za analizu, smanjuje ljudsku grešku i štedi vrijeme. Međutim, važno je razumeti kako prilagoditi ovu automatizaciju kako bi se osigurao kvalitet i pouzdanost rezultata analize.

7.3. Definisanje materijala

Svatom elementu dodeljuju se materijalne karakteristike uključujući modul elastičnosti, gustinu, Poissonov broj i druge relevantne parametre koji definišu mehanička svojstva materijala. Definiranje materijala za konačne elemente rezervoara za naftu velikih zapremina ključno je za provođenje tačnih analiza konačnih elemenata. Materijalne karakteristike igraju ključnu ulogu u određivanju ponašanja rezervoara pod različitim opterećenjima i uslovima. Definisanje materijala za konačne elemente rezervoara za naftu podrazumeva:

- **Odabir materijala:**

Prvi korak je odabrati materijal koji će najbolje odgovarati konstrukciji rezervoara. Materijali koji se često koriste za izgradnju rezervoara za naftu uključuju čelik, nerđajući čelik i specijalne legure.

- **Svojstva materijala:**

Pre svega, treba znati osnovna mehanička svojstva materijala koji će se koristiti. To uključuje svojstva kao što su elastični modul (Youngov modul), Poissonov broj, čvrstoća na različitim naprezanjima, granica tečenja, granica pucanja, koeficijent termičke ekspanzije, gustinu, itd.

- **Termalna svojstva:**

Za rezervoare za naftu, bitno je uzeti u obzir i termalna svojstva materijala. To uključuje koeficijent termičke provodljivosti i specifičnu toplotni kapacitet. Ova svojstva su važna kada se analiziraju promene temperature i termički efekti.

- **Kreiranje materijalnog modela:**

Nakon prikupljanja potrebnih podataka, kreira se materijalni model u FEA softveru. Zavisno od softvera, mogu se odabrati različite modele kao što su elastični linearan materijal, anelastični materijal, hiperelastični materijal ili čak termoelastični materijal, zavisno od potreba analize.

- **Unos materijalnih svojstava:**

Unose se sva prikupljena mehanička i termalne svojstva u softver za analizu. To uključuje Youngov modul, Poissonov omjer, koeficijent termičke ekspanzije, granicu tečenja, granicu pucanja, itd.

- **Ponašanje materijala:**

Zavisno od karakteristika materijala, treba uzeti u obzir linearno ili nelinearno ponašanje materijala pod opterećenjem. Nelinearno ponašanje uključuje plastičnost, viskoelastičnost i druge deformacijske modele koji mogu biti relevantni za analizu rezervoara.

- **Validacija:**

Ako imamo dostupne podatke o stvarnim svojstvima materijala ili rezultatima testiranja, važno je uporediti definisana materijalna svojstva s tim podacima kako bi osigurali da su podaci uneseni ispravno i da će analiza biti realistična.

Definiranje materijala za konačne elemente rezervoara za naftu zahteva tačne podatke i razumevanje mehaničkih i termalnih svojstava materijala. To je ključni korak u osiguranju pouzdanosti analize konačnih elemenata.

7.4. Definisanje uslova opterećenja

Definišu se uslovi opterećenja kao što su unutarnji pritisak, seizmičke sile, opterećenje vetrom i druge sile koje djeluju na rezervoar. Takođe, određuju se granice i uslovi koji će simulirati stvarne uslove u kojima će se rezervoar koristiti. Definisanje uslova opterećenja za

konačne elemente rezervoara za naftu važno je kako bi simulirali stvarne uslove rada i analizirali ponašanje rezervoara pod različitim opterećenjima. Zavisno od specifičnih uslova i scenarija koje želimo simulirati, mogu se uključiti različite vrste opterećenja:

- **Hidrostatski pritisak:**

Glavno opterećenje koje se mora uzeti u obzir kod rezervoara za naftu je hidrostatski pritisak nafte koja se nalazi unutar rezervoara. Zavisno od dubine rezervoara i gustine nafte, pritisak će varirati po visini rezervoara.

- **Statički teret:**

Ako rezervoar ima dodatne opreme, kao što su ventili, spojnice ili druge komponente, treba uzeti u obzir njihovu težinu i distribuirati je na odgovarajući način kao statičko opterećenje.

- **Dinamička opterećenja:**

Rezervoar može biti izložen dinamičkim opterećenjima poput potresa, vibracija ili udaraca. U takvim slučajevima, treba definisati prikladne dinamičke sile koje će se primjenjivati na rezervoar.

- **Termalna opterećenja:**

Ako je rezervoar izložen promenama temperature, treba uzeti u obzir termalne efekte. To uključuje ekspanziju i kontrakciju materijala te moguće termički indicirane deformacije.

- **Spoljni uticaji:**

Rezervoar za naftu može biti izložen spoljnim opterećenjima poput vetra, snega ili drugih spoljnih uticaja. Ovi uslovi mogu uticati na stabilnost rezervoara i zahtevati dodatne analize.

- **Opterećenje zbog promene nivoa nafte:**

Ako će nivo nafte u rezervoaru varirati, to može uzrokovati promene u hidrostatskom pritisku. Treba uzeti u obzir ovu promenu pritiska kao dodatno opterećenje.

- **Smetnje tokom transporta i postavljanja:**

Ako se rezervoar premešta ili postavlja, treba uzeti u obzir smetnje tokom transporta, dizanja i postavljanja, te osigurati da rezervoar može izdržati takve uslove.

Kada se definišu uslovi opterećenja, važno je odabrati odgovarajuće veličine opterećenja, distribuciju i smer primene. Takođe, treba uzeti u obzir interakciju različitih opterećenja i njihov utjecaj na ponašanje rezervoara. U FEA softveru, definisanje uslova opterećenja obično

uključuje odabir odgovarajućih opcija za svaki tip opterećenja, kao što su pričvršćeni rubovi, sile, momenti, temperature, itd. Također, možda će morati prilagoditi vrednosti opterećenja, kako bi dobili relevantne i realistične rezultate.

7.5. Rešavanje sistema jednačina

Na temelju matematičkih formulacija koje opisuju ponašanje materijala i geometrije, rešavaju se sistemi jednačina koji opisuju odziv konstrukcije na opterećenja. U analizi konačnih elemenata (FEA), rešavanje sistema jednačina koje proizlaze iz diskretizacije modela rezervoara za naftu ključan je korak kako bi se dobili odgovarajuća pomeranja, deformacije, naprezanja i ostali rezultati. Osnovna procedura rešavanja sistema jednačina u kontekstu FEA:

- **Formulacija konačnih elemenata:**

Prvo, model rezervoara se diskretizira na manje elemente (trouglove, kvadrate, tetraedre, heksaedre itd.), a elementima se pridružuju čvorovi s odgovarajućim koordinatama.

- **Formulacija ravnoteže:**

Na temelju principa ravnoteže, formulišu se jednačine koje opisuju ponašanje materijala i struktura pod određenim opterećenjima. Ove jednačine uključuju ravnotežu sila i momenata.

- **Primena graničnih uslova:**

Definišu se granični uslovi koji opisuju ponašanje strukture na granicama ili pričvršćenim tačkama. To uključuje npr. fiksiranje čvorova ili primenu različitih vrsta sila i momenata.

- **Formiranje sistema jednačina:**

Na temelju formulisanih jednačina i primijenjenih graničnih uslova, stvaraju se matrice i vektori koji čine sastav jednačina. Svaki čvor modela odgovara jednoj nepoznatoj u sastavu.

- **Rešavanje sastava jednačina:**

Nakon što se formira sastav jednačina, koristi se numerička metoda za rešavanje tog sastava. Često se koriste metode kao što su metoda konjugiranih gradijenata, LU dekompozicija, Cholesky dekompozicija ili iterativne metode.

- **Pronalaženje pomeranja i rezultati:**

Nakon što se reši sastav jednačina, dobivaju se pomeranja čvorova koji opisuju deformacije strukture. Koristeći ta pomeranja, izračunavaju se naprezanja, pomaci i ostali rezultati.

- **Post-procesiranje rezultata:**

Nakon dobivanja rezultata, oni se često vizuelizuju u obliku kontura, grafova, dijagrama itd. Ovo omogućava analitičarima da bolje razumeju ponašanje rezervoara pod različitim uslovima.

- **Validacija i interpretacija rezultata**

Konačno, rezultati se upoređuju s očekivanjima i stvarnim uslovima kako bi se osigurala valjanost analize. Interpretacija rezultata može dati uvid u sigurnost, deformacije, naprezanja i druge aspekte ponašanja rezervoara. Rešavanje sistema jednačina za konačne elemente zahteva poznavanje numeričkih metoda, matematičke formulacije, principa FEA i strukturalne mehanike. Kvalitetna FEA softverska rešenja često imaju ugrađene alate za rešavanje sistema jednačbi, što pojednostavljuje ovaj korak u analizi.

7.6. Analiza rezultata

Nakon rešavanja sastava jednačina, dobijamo rezultate koji prikazuju deformacije, naprezanja, pomake i ostala ponašanja konstrukcije pod opterećenjem. Ovi rezultati omogućuju procenu sigurnosti i stabilnosti konstrukcije. Analiza rezultata nakon rešavanja sistema jednačbi za konačne elemente rezervoara za naftu važan je korak kako biste razumjeli ponašanje rezervoara pod različitim uslovima opterećenja. Ovi rezultati pružaju uvid u deformacije, naprezanja, pomake i druge relevantne veličine unutar rezervoara. U analizi rezultata posebna pažnja se odnosi na:

- **Vizualizaciju rezultata:**

FEA softver obično omogućuje vizualizaciju rezultata u obliku kontura, dijagrama, grafikona i drugih prikaza. Vizualizacija omogućava brzo razumevanje raspodele naprezanja, deformacija i drugih veličina unutar rezervoara.

- **Konture naprezanja i deformacija:**

Analiziranje kontura naprezanja pomaže u identifikovanju područja s najvećim napreznjima. Deformacijske konture pružaju uvid u područja s najvećim deformacijama. Ovo može biti ključno za procenu sigurnosti i integritet rezervoara.

- **Analiza faktora sigurnosti:**

Procena faktora sigurnosti temelji se na analizi naprezanja i deformacija. Ako naprezanja premaše granice tečenja ili granice pucanja materijala, rezervoar može biti ugrožen. Analiza faktora sigurnosti pomaže u određivanju stabilnosti konstrukcije.

- **Interpretacija pomeranja:**

Analiza pomeranja pomaže u razumevanju kako se rezervoar deformiše pod opterećenjem. Velika pomeranja mogu ukazivati na potencijalne probleme u konstrukciji ili nepoželjno ponašanje.

- **Prikaz promena temperature**

Ako se analizira termičko ponašanje, rezultati mogu uključivati promene temperatura unutar rezervoara. Prikazi temperatura omogućavaju identifikaciju područja s ekstremnim temperaturnim promenama.

- **Analiza modova vibracija:**

Ako se analizira dinamičko ponašanje, može biti korisno analizirati modove vibracija rezervoara. Ovi rezultati pomažu u proceni stabilnosti rezervoara pod uticajem vibracija i potresa.

- **Uporedba s očekivanjima:**

Uporediti dobivene rezultate s očekivanjima i inženjerskim normama. Ako se rezultati značajno razlikuju ili su izvan dopuštenih granica, treba proveriti svoje modele, materijalne parametre i druge postavke.

- **Iteracija i optimizacija:**

Ako rezultati ukazuju na probleme ili potrebu za poboljšanjem, može biti potrebno izvršiti iterativne promene u modelu, materijalu ili opterećenjima kako bi postigli željene rezultate.

- **Izveštavanje:**

Na kraju analize, izradite izveštaj mora sadržavati opis modela, postupak analize, definisane parametre, dobijene rezultate, tumačenje i zaključke.

Analiza rezultata je ključni korak u FEA procesu jer vam omogućuje da donesete informirane odluke o dizajnu, sigurnosti i performansama rezervoara za naftu.

7.7.Poboljšavanje dizajna

Na temelju analize rezultata, možemo optimizirati dizajn rezervoara kako bi osigurali da konstrukcija zadovoljava sve sigurnosne kriterije i funkcionalne zahteve. Nakon što dobijemo rezultate analize rješavanjem sistema jednadžbi za konačne elemente rezervoara za naftu, važno je pažljivo analizirati te rezultate kako bi identifikovali potrebu za poboljšanjem dizajna. Moguća poboljšanja dizajna na temelju analiziranih rezultata:

- **Identifikacija slabih područja:**

Proučiti konture naprezanja, deformacija i drugih rezultata kako bi identifikovali područja koja su podložna prekomernim naprezanjima, deformacijama ili drugim nepoželjnim efektima.

- **Procena faktora sigurnosti:**

Ako analiza pokazuje da su faktori sigurnosti ispod dopuštenih granica, to ukazuje na potrebu za pojačanjem ili promenama u dizajnu kako bi se osigurala sigurnost konstrukcije.

- **Optimizacija materijala:**

Ako su naprezanja ili deformacije prekomerne, razmotriti upotrebu materijala s boljim mehaničkim svojstvima ili većom čvrstoćom.

- **Izmene geometrije:**

Ako rezultati ukazuju na problematična područja, razmotriti izmene u geometriji kako bi smanjili naprezanja ili deformacije. To može uključiti promene oblika, debljine zidova ili podržavajućih struktura.

- **Revidiranje uslova opterećenja:**

Proučite kako različiti uslovi opterećenja utiču na rezervoar. Možda se određeni uslovi značajno razlikuju od očekivanih, što bi moglo zahtevati prilagodbu analize.

- **Dodatna ispitivanja i testiranja:**

Ako postoje područja nesigurnosti ili nedostatka informacija, razmisliti o dodatnim ispitivanjima materijala, testiranju prototipa ili drugim metodama kako bi validirali rezultate analize.

- **Promene u pričvršćenju i potporama:**

Ako je potrebno, razmotriti promene u načinu pričvršćenja i potpora kako bi bolje raspodelili opterećenja i minimizirali deformacije.

- **Ponovna analiza i verifikacija:**

Nakon izmjena u dizajnu, ponovo sprovesti analizu kako bi proverili kako su te izmjene uticale na ponašanje rezervoara. Obezbediti da su naprezanja, deformacije i drugi rezultati unutar prihvatljivih granica.

- **Kontinuirano iteriranje:**

Poboljšanje dizajna je iterativan proces. Može biti potrebno nekoliko ciklusa analize, dizajna, optimizacije i verifikacije kako bi postigli optimalan dizajn rezervoara.

- **Dokumentovanje izmena:**

Važno je dokumentovati sve uočene izmene kako bi imali jasan pregled dizajnerskog procesa i razloga za svaku promjenu.

Poboljšavanje dizajna na temelju analize rezultata FEA omogućava da se razvije sigurna i pouzdana konstrukcija. Važno je biti sistematičan i pažljiv u ovom procesu kako bi se osigurao kvalitet i sigurnost krajnjeg proizvoda. Metoda konačnih elemenata omogućuje detaljan i precizan proračun ponašanja rezervoara pod različitim opterećenjima. Međutim, za pravilnu primjenu ove metode potrebno je stručno znanje u području analize konačnih elemenata te sofisticirani softver za izvođenje analiza. Osim toga, dobri ulazni podaci o materijalnim svojstvima, opterećenjima i geometriji ključni su za dobivanje pouzdanih rezultata.

7.8. Primer rešenja i analiza rezultata

Odabran je vertikalni atmosferski rezervoar zapremine $V=3000\text{m}^3$. Naznačene su mere, diskretizacija na konačne elemente i skica opterećenja.

Posmatran je rezervoar sa promenljivom debljinom zida ojačan na gornjem delu prstenom DB. Što se tiče opterećenja uzeto je u obzir: koncentrisano opterećenje od krovne konstrukcije rezervoara $F=1200\text{daN}$, pritisak vetra $p_v=0,009\text{ bar}$ i pritisak tečnosti $G_H=0,0014\text{ daN/cm}^3$. Zbog ojačanja prstenom DB uzetu su uslovi da nema radijalnih pomeranja na tom krugu¹.

¹ H.R. Qananah, R. Petrović, A. Banaszek, M. Anđelković, R. Cvejić, N. Đorđević, N. Milovanović; Stress State Optimisation of Vertical Atmospheric Large-Volume Tanks. Structural Integrity and Life, Vol. 22, No 2 (2022), pp. 247–251.

Na slici su nacrtani deformisani oblici izvodnica CD I AB, kao i raspored radijalnog napona σ_y , duž AB I cirkularnog σ_x , za kružnu liniju EF.

Primenom metode konačnih elemenata (MKE) omogućeno je detaljno sagledavanje polja pomeranja I napona za različite uslove opterećenja.

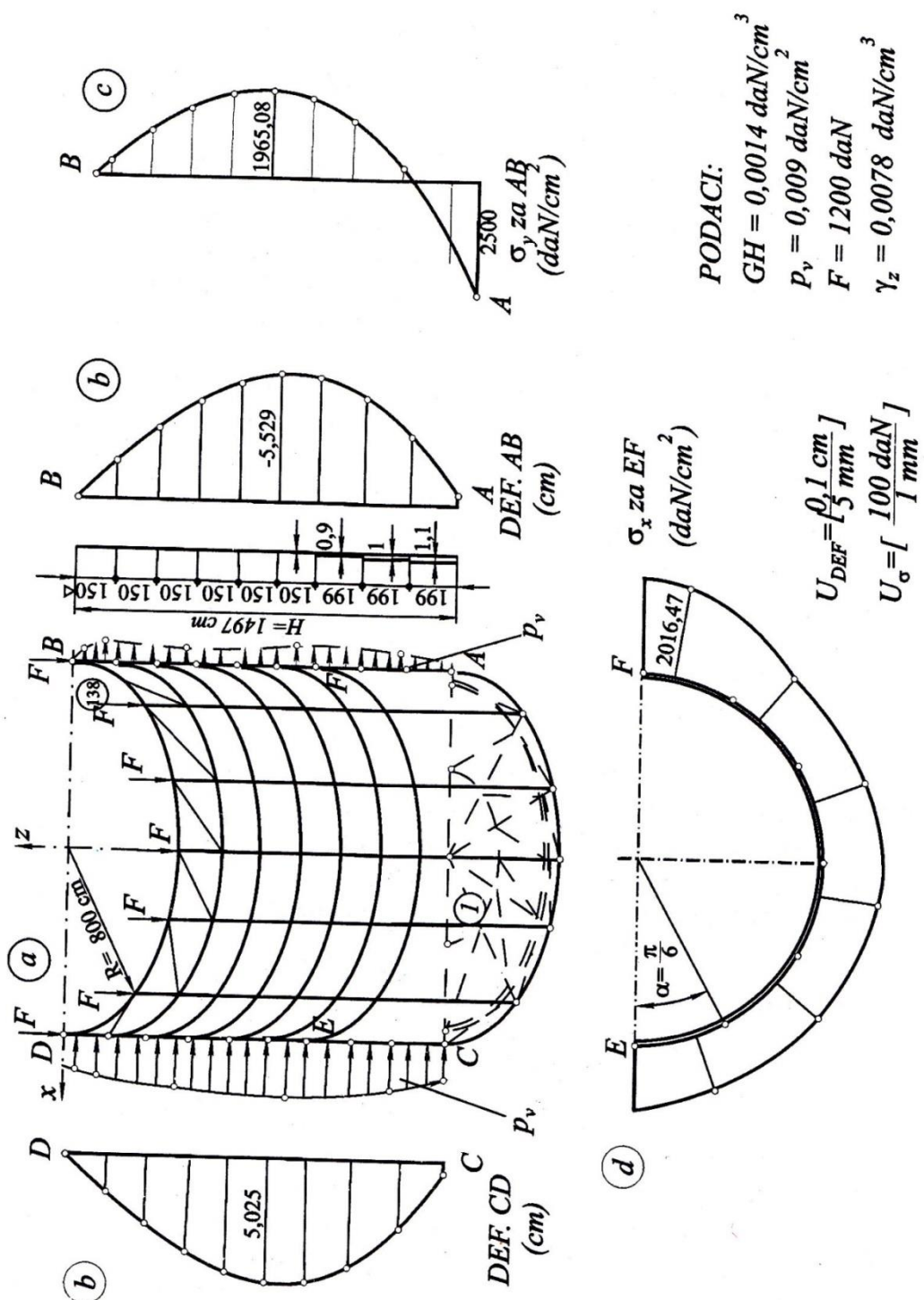
Analitičkim metodama bilo je moguće posmatrati membransko stanje napona I samo delimično na mestu uklještenja omotača I dna analizirati poremećaj membranskog stanja napona. Pri analitičkom rešavanju posebne teškoće se javljaju pri proračunu rezervoara sa stepenastom debljinom zida. Svako mesto sa skokom u debljini zida prouzrokuje poremećaj membranskog stanja napona. Imajući u vidu da je unutar svakog člana debljina zida konstantna, to važi za svaki članak jedna jednačina, pri čemu se konstante C_1 do C_4 svakog člana određuju iz graničnih uslova i uslova na spoju dva članka (prelazni uslovi).

Na mestu spoja dva članka moraju biti ispunjena četiri uslova:

- Da imaju jednake ugibe w ,
- Da imaju jednake nagibe elastične linije $\frac{dw}{dx}$,
- Da im se podudaraju poprečne sile P_x ,
- Da im se podudaraju momenti savijanja M_x ,

Ako dakle postoji r članaka, treba da se ispune $4r$ uslova, a isto toliko imamo I konstanti koje treba odrediti. Za vertikalni atmosferski rezervoar pored promenljive debljine zida, imamo dejstvo vetra, koncentrisanih terete I zadatu netačnost što analitičke metode ne mogu istovremeno obuhvatiti.

Metodom konačnih elemenata moguće je analizirati sve uticaje posebno, a takođe I njihov ukupan uticaj na ponašanje konstrukcije.



Slika 13. Vertikalni atmosferski rezervoar zapremine $V=3000\text{m}^3$

Na prikazanom primeru (razmere na slikama se odnose na format A4) uočava se promena membranskog stanja napona prouzrokovana koncentrisanim silama, dejstvom vetra, stepenastom debljinom zida, ukrucenjem na vrhu rezervoara i uklještenjem na spoju dno omotač.

Sa slike se vidi da se najveći poremećaj membranskog stanja napona javlja na spoju omotač-dno gde dolazi i do promene znaka radijalnog napona σ_x . U konkretnom slučaju veličina ovog napona iznosi $\sigma_x = -2500 \text{ daN/cm}^2$ i predstavlja najveću vrednost. Pri projektovanju se mora posebna pažnja obratiti na dimenzionisanje prva dva članka omotača kao i na dimenzionisanje dna rezervoara. Ovde je za oslanjanje dna rezervoara pretpostavljena kruta podloga tj. ograničeno pomeranje čvorova dna u pravcu z ose. Ukoliko podloga nije apsolutno kruta moguće je, uz poznavanje karakteristika tla, u kompjuterskom programu obuhvatiti i ove uticaje.

Posmatrajući dijagram radijalnog napona σ_x duž izvodnice AB uočava se još jedna ekstremna vrednost napona na sredini rezervoara ($1965,08 \text{ daN/cm}^2$) na mestu maksimalnog radijalnog pomeranja. Imajući u vidu da uticaj uklještenja na mestu dno-omotač opada prema sredini rezervoara, a takođe opada i uticaj gornjeg ukrutnog prstena DB, to je ova vrednost najpribližnija membranskom stanju napona na tom mestu. Naravno, moramo imati u vidu da i na sredini rezervoara vlada antisimetrično opterećenje vetra (p_v) kao i da imamo uticaj koncentrisanih tereta (F). Ovo približenje membranskom stanju napona na sredini rezervoara podrazumeva za glavno opterećenje pritisak tečnosti.

Vrednost radijalnog napona opada prema vrhu rezervoara pri čemu su na prstenu DB ograničena pomeranja u pravcima x i y osa.

Što se tiče cirkularnog napona σ_x uočena je njegova maksimalna vrednost na elementima četvrtog članka debljine $0,7 \text{ cm}$ - linija EF. Objašnjenje leži u skokovitoj promeni debljine sa $0,9 \text{ cm}$ na $0,7 \text{ cm}$. Veličina maksimalnog napona od $2016,47 \text{ daN/cm}^2$ javlja se u elementu najbližem izvodnici DB, što je posledica, pored navedenih uticaja, i uticaja pritiska vetra koji na toj strani stvara sile sisanja.

Deformacije izvodnica AB i CD su približno simetrične u odnosu na z osu. Najmanje su u tačkama spoja dno i omotač a najveće na sredini rezervoara. Njihove veličine su reda $0,299 \text{ cm}$ na dnu do $5,529 \text{ cm}$ na sredini rezervoara. Na sredini izvodnica AB i CD uočava se razlika u pomeranjima koja potiče od dejstva vetra čiji se uticaj ogleda u povijanju rezervoara prema izvodnici CD. Posmatran je uticaj netačnosti izrade omotača na polje pomeranja i napona. Zadana je netačnost izrade $NETC = 40 \text{ mm}$. Dijagram deformacija i napona dat je isprekidanim linijama. Uočava se da pri zadatoj netačnosti imamo nešto manje deformacije izvodnica a takođe i veličine radijalnog i cirkularnog napona.

Objašnjenje leži u promeni oblika rezervoara koji teži obliku lopte. Poznato je da rezervoari oblika lopte, oslonjeni po tangentama na srednju površinu, imaju membransko stanje napona potpuno oslobođeno od napona savijanja.

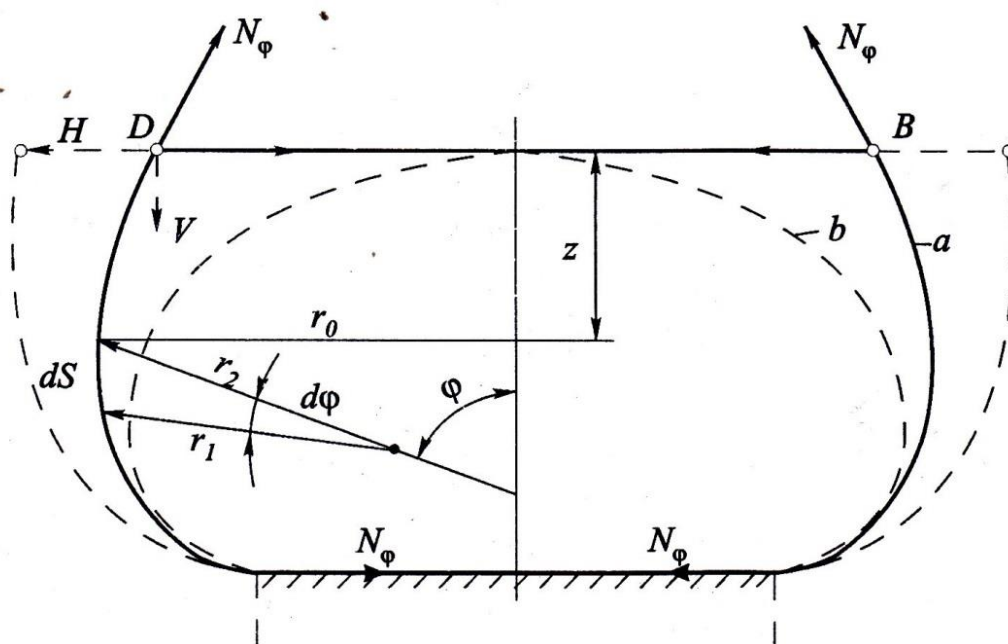
U konkretnom slučaju imamo delimično oslobađanje napona od savijanja, što ima za posledicu smanjenje ukupnog napona.

Ispupčenjem omotača može se proizvesti bitno smanjenje sila u cirkularnom pravcu N_θ , jer u tom slučaju dolazi do prenosa sila u pravcu meridijana silama N_φ . Pri tom omotač na gornjem kraju mora biti pridržan horizontalnim prstenom DB, na koji on može preneti svoje ivične sile N_φ .

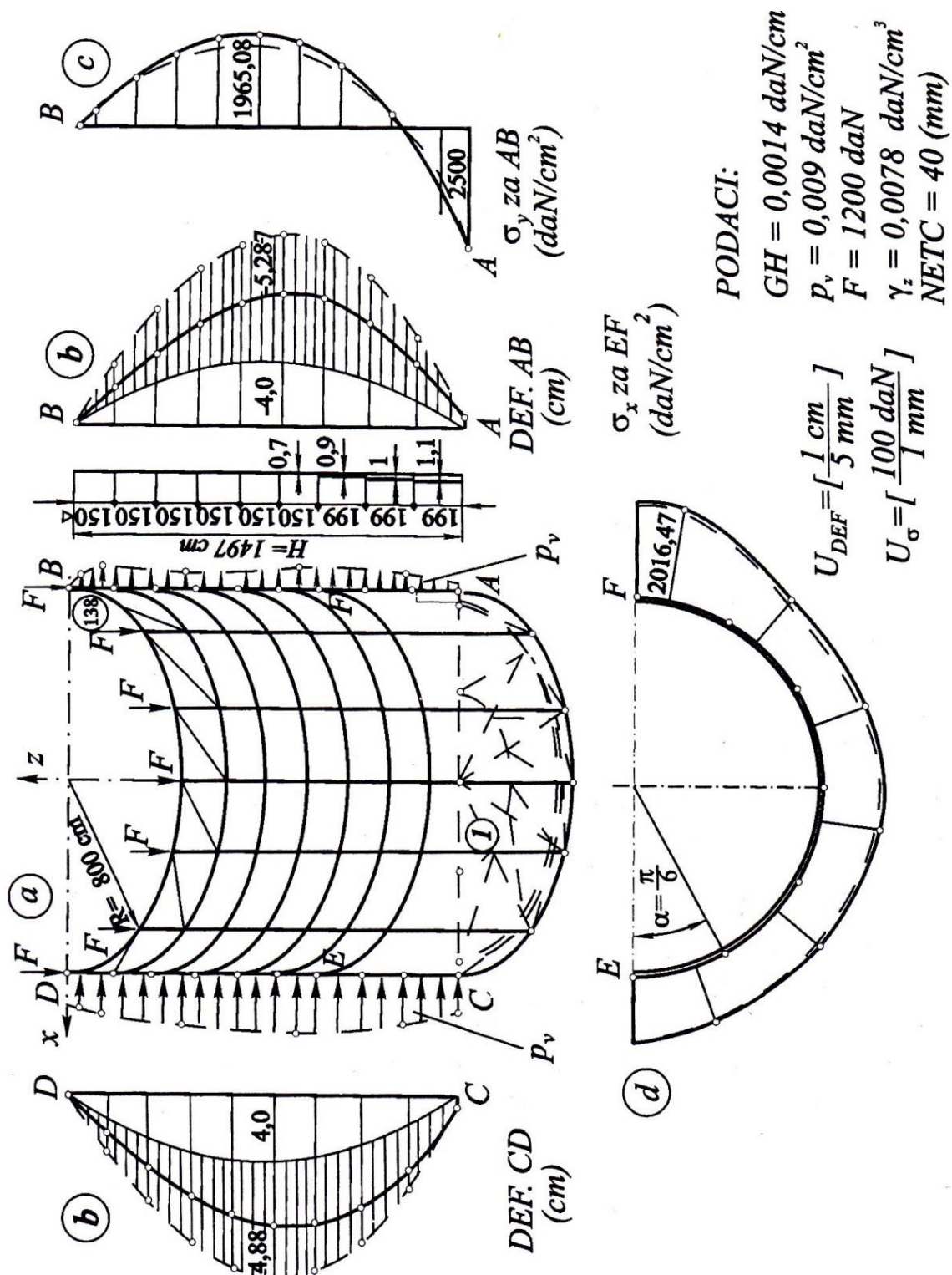
Horizontalne komponente (H) sila N_φ preuzima prsten DB a vertikalne komponente (V) preuzimaju vertikalni oslonci koji se moraju predvideti u tačkama D i B.

Dobijene rezultate pri zadatoj netačnosti, potvrđuje analiza rezervoara jednake otpornosti. Kod takvih rezultata u cilju što boljeg iskorišćenja materijala omotač se oblikuje kao ispupčen, koji kontinualno prelazi u tlo, kao ljuska jednake otpornosti, tako da na svakom mestu važi odnos:

$N_\theta = N_\varphi = \sigma \cdot \delta$ gde je σ dopušten napon a δ debljina ljuske.



Slika14. Ljuska jednake otpornosti

Slika15. Vertikalni atmosferski rezervoar zapremine $V=3000 \text{ m}^3$

Oblik meridijanske krive linije definisan je diferencijalnom jednačinom,

$$\frac{d(r_0 \sin \varphi)}{r_0 dr_0} = \frac{\gamma}{\sigma \delta} z \quad (61)$$

koja je izvedena posmatranjem elementarne površine dS opterećene pritiskom tečnosti.

Rešenje ove jednačine se more dobiti grafičkim putem ili pomoću numeričke integracije. Ljuska jednake otpornosti može imati i zatvoren oblik koji naliči na "kap kiše": "Rezervoar oblika kapi" imaće čisto membransko stanje samo u slučaju jednolikog unutrašnjeg pritiska.

Posmatran je uticaj samo vetra na omotač rezervoara bez gornjeg ukrutnog prstena DB. Dijagrami pomeranja i napona pokazuju da se omotač ponaša kao konzola. Najveća pomeranja javljaju se na gornjem kraju rezervoara, i za tačku D iznosi - 0,446 cm a za tačku B -0,228 cm. Tačka D ima veće pomeranje jer je pritisak vetra na elemente u blizini izvodnice CD veći od onog na elemente duž izvodnice AB.

Dijagram radijalnog napona σ_y pokazuje da se maksimalni napon nalazi u uklještenju (spoju dno-omotač) gde je pomeranje nula.

Oblik dijagrama cirkularnog napona sličan je dijagramu opterećenja vetra na omotaču rezervoara. Maksimalna vrednost ovog napona javlja se na mestu najvećeg pritiska vetra i iznosi 10,86 daN/cm².

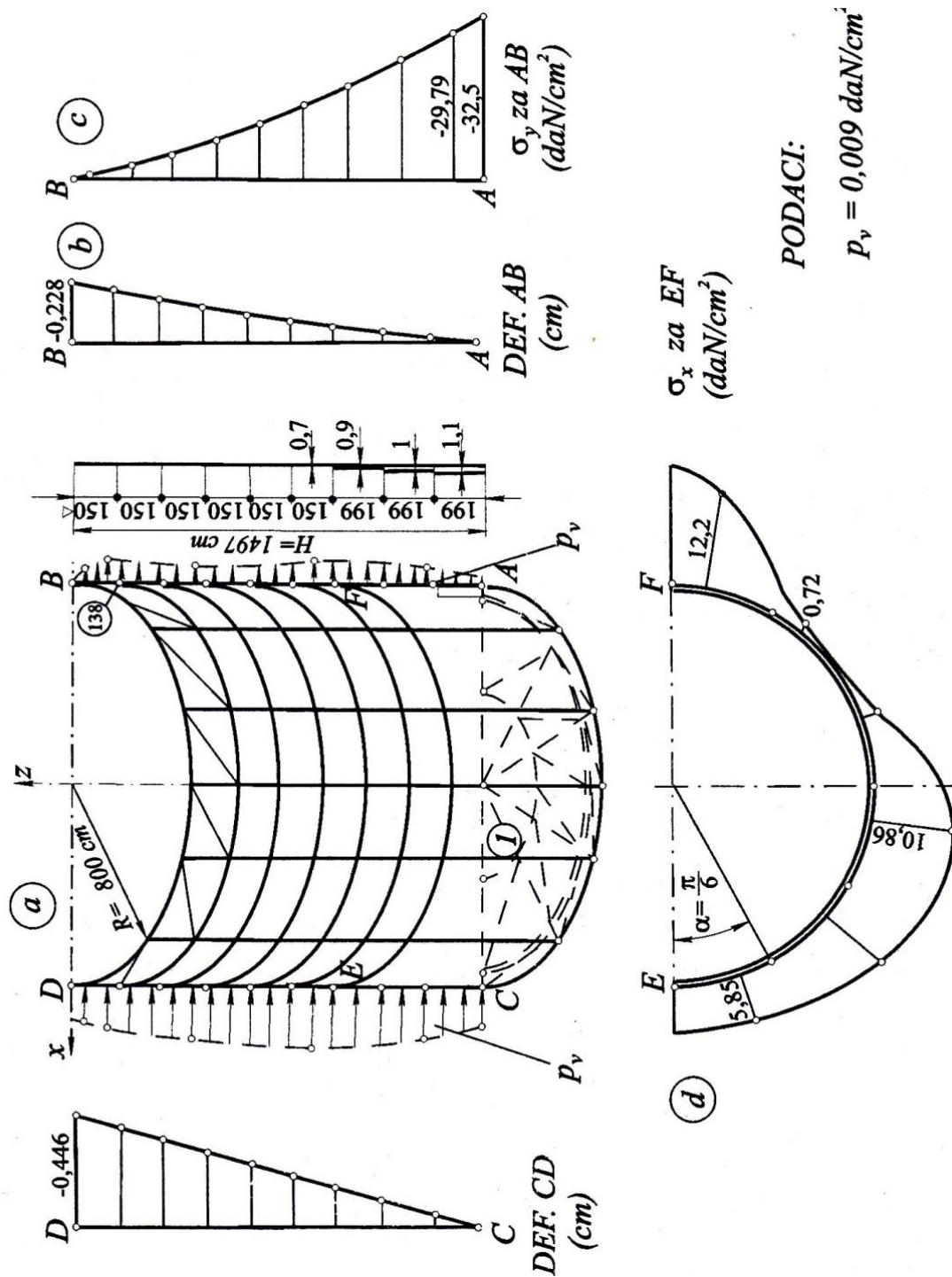
Dejstvo vetra je posebno značajno pri montaži prstenova rezervoara i njihovom delimičnom zavarivanju u više slojeva. Dužina delimično zavarenih mesta mora biti takva da obezbedi sigurnost pri montaži imajući u vidu veličine napona u pojedinim slojevima.

Pokazan je uticaj vetra u slučaju da je gornji kraj rezervoara ukrućen prstenom DB. Ukrućenje na gornjem kraju rezervoara, gde su ograničena pomeranja u pravcu x i y osa, bitno utiče na raspored napona i pomeranja duž izvodnica AB i CD. Zbog pomenutih ograničenja imamo i promenu znaka radijalnog napona σ_y na izvodnici AB. Elementi u blizini izvodnice AB u prva dva članka izloženi su pritisku a dalje prema vrhu naponu zatezanja.

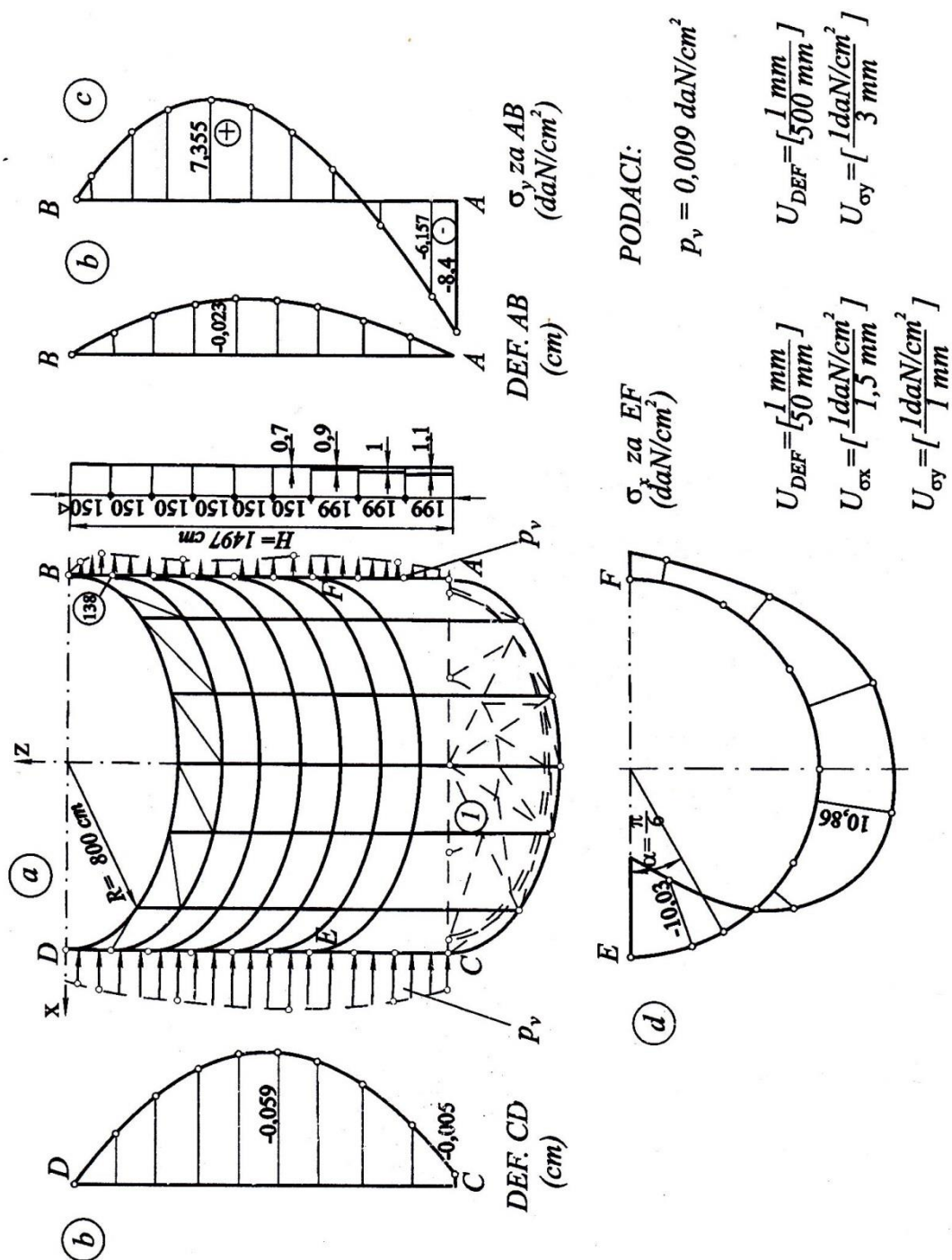
Takođe je interesantan tok cirkularnog napona σ_x za kružnu liniju EF. Uticaj pomenutih ograničenja na vrhu rezervoara se manifestuje tako da su elementi u blizini izvodnice CD izloženi naponima pritiska a dalje za elemente u blizini linije EF naponima zatezanja.

Ovakav tok cirkularnog napona je sasvim logičan obzirom na dijagram opterećenja omotača od pritiska vetra.

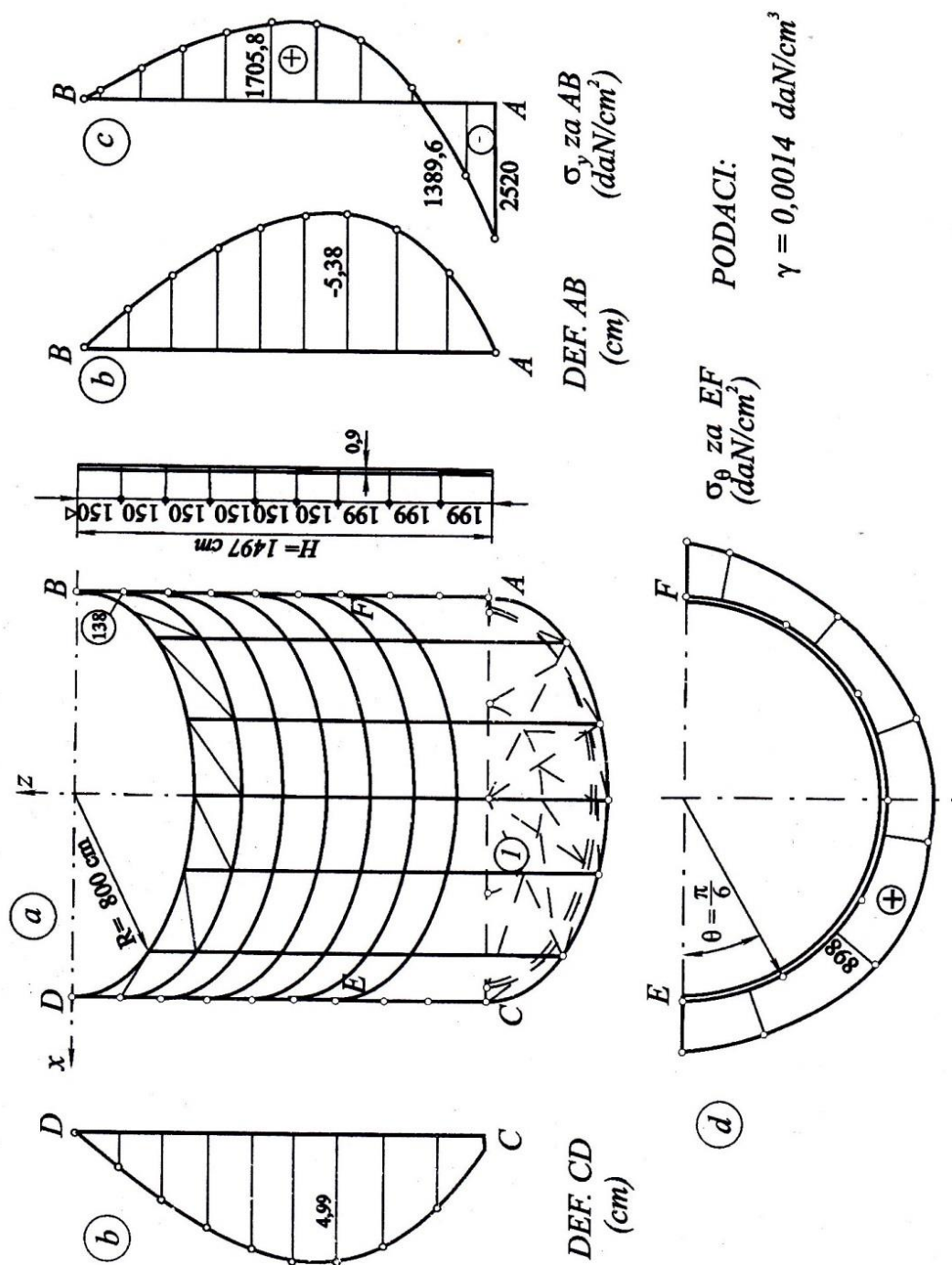
Na kraju posmatran je uticaj hidrostatičkog pritiska na rezervoar konstantne debljine sa ciljem da se izvrši upoređenje sa analitičkim rešenjem.



Slika16. Dijagrami radijalnog napona



Slika 17. Dijagrami cirkularnog napona



Slika 18. Dijagrami napona sa gornjim ukrutnim prstenom

Upoređujući dobijene rezultate metodom konačnih elemenata sa analitičkim rešenjem vidimo veliku podudarnost dobijenih radijalnih napona σ_y na mestu uklještenja:

-2520daN/cm² - MKE, analitičko - 2447,911daN/cm².

Upoređivanjem veličina cirkularnih napona σ_θ za kružnu liniju EF, uočavaju se približne vrednosti: 898 daN/cm² - MKE, analitičko 1038,38 daN/cm². Pri analizi ovog odstupanja treba imati u vidu da je pri rešavanju metodom konačnih elemenata uzeto u obzir ukrućenje gornjeg kraja rezervoara ukrutnim prstenom DB, koje utiče na pomenuta odstupanja. Takođe, ovo ograničenje utiče na znak radijalnog napona, gde se promena znaka uočava pri kraju drugog članka rezervoara za razliku od analitičkog rešenja gde se ta promena vrši u prvom članku pod uticajem samo uklještenja na mestu spoja omotač-dno.

Inače u slučaju da imamo samo omotač rezervoara konstantne debijine bez ograničenja gornjim ukrutnim prstenom i bez dna, bilo bi moguće membransko stanje napona pod dejstvom hidrostatičkog pritiska.

Zato se na dovoljnom odstojanju od vrha i dna kod ovakvih rezervoara može primeniti membranska teorija. Problem je složenije prirode za mesta gde su privareni određeni konstrukcijski delovi i gde se pored membranskih napona javljaju i drugi, pre svega naponi savijanja, čiji uticaj se može rešavati samo približnim metodama, a efikasno jedino metodom konačnih elemenata.

Automatsko generisanje podataka o geometriji i opterećenjima za metodu konačnih elemenata (MKE) značajno olakšava proces numeričke simulacije i analize struktura. Metoda konačnih elemenata je numerička tehnika koja se koristi za analizu ponašanja materijala i struktura pod različitim uslovima opterećenja.

Automatizacija ovog procesa može uveliko ubrzati analizu i omogućiti efikasnije inženjerske odluke. Prvi korak je kreiranje geometrijskog modela strukture koja se analizira. Softverski alati za modeliranje, kao što su CAD (Computer-Aided Design) programi, omogućavaju kreiranje i modifikaciju 3D modela. Automatizacija može obuhvatiti generisanje geometrije na osnovu parametara ili čak automatski iz generičkih šablona.

8.DIZAJNIRANJE REZERVOARA IMPLEMENTACIJOM SOFTVERA

Dizajniranje atmosferskih rezervoara velikih zapremina uključuje projektovanje, konstrukciju i implementaciju softverskih alata koji pomažu u pravilnom planiranju i upravljanju rezervoarima. Ovo može biti složen proces koji zahteva razumevanje različitih aspekata inženjeringa, sigurnosti i tehnologije. Prilikom dizajniranja atmosferskih rezervoara velikih zapremina uz korištenje softvera zahteva strogu proceduru.

8.1. Analiza zahteva i specifikacija

Prvi korak je razumjeti specifične potrebe i zahtjeve za rezervoarom. To uključuje određivanje vrste tvari koja će se skladištiti (tekućina, plin, kemikalije), kapaciteta rezervoara, okolišnih uvjeta, potrebnih sigurnosnih standarda itd.

Analiza zahtjeva i specifikacija pri dizajniranju rezervoara velikih zapremina za naftu ključna je faza kako bi se osiguralo da rezervoar zadovoljava sve potrebne tehničke, sigurnosne i regulatorne standarde. Implementacija softvera može olakšati ovaj proces automatizacijom, simulacijama i optimizacijom. Pri dizajniranju rezervoara velikih zapremina za naftu ključna je faza kako osigurati da rezervoar zadovoljava sve potrebne tehničke, sigurnosne i regulatorne standarde.

Implementacija softvera može olakšati ovaj proces automatizacijom, simulacijama i optimizacijom. Koristeći softverske alate možemo pravilno proceniti kakvu vrstu nafte možemo skladištiti (sirova nafta, rafinirana nafta, plinsko kondenzat itd.) i koliki će biti ukupni kapacitet rezervoara. Ovo će pomoći u definisanju temeljnih parametara rezervoara. Softver može uzeti u obzir geografske i klimatske uvjete na lokaciji rezervoara.

Parametri kao što su temperatura, vlažnost, visina nadmorske visine i sezonske promene mogu utjecati na dizajn. Softver može pružiti pristup važećim regulatornim standardima i propisima za dizajn rezervoara za skladištenje nafte. To uključuje sigurnosne standarde, zahteve za zaštitu okoline, građevinske kodekse i druge relevantne propise.

Softverski alati omogućuju simulacije sigurnosnih scenarija kao što su curenje nafte, požari ili eksplozije. To pomaže da identifikujemo potencijalne rizike i planiramo sigurnosne mere. Softver može simulirati širenje vatre i toplotne uticaje te pomoći u identifikaciji ključnih područja koja treba zaštititi. Na temelju vrste nafte i atmosferskih uslova, softver može

preporučiti odgovarajuće materijale i konstrukcijske parametre za rezervoar. Ovo uključuje debljinu zidova, vrstu premaza i druge tehničke detalje.

8.2.Optimizacija dizajna

Softveri za optimizaciju mogu analizirati različite scenarije dizajna i proračuna kako bi pronašli optimalne dimenzije, oblike i materijale koji zadovoljavaju sve zahtjeve.

Optimizacija dizajna pri dizajniranju rezervoara velikih zapremina za naftu uz pomoć softvera može značajno poboljšati sigurnost i ekonomičnost projekta.

Prednosti korišćenja softvera su sledeće:

- variranje različitih parametara kao što su geometrija rezervoara, debljina zidova, materijali i drugi faktori. Korišćenje alata za parametarsku optimizaciju omogućuje brzo eksperimentiranje s različitim konfiguracijama kako bi se pronašlo rešenje koje optimizira različite ciljeve kao što su čvrstoća, sigurnost i troškovi.
- simulaciju različitih opterećenja poput unutarnjeg pritiska, opterećenja vetrom i seizmičkih opterećenja. Ovo pomaže identifikaciji kritičnih područja i dimenzija rezervoara kako bi se osigurao njegov strukturni integritet.
- Odabir optimalnih materijale na temelju svojstava nafte koja se skladišti, okolišnih uvjeta i troškova materijala. Ovo uključuje uzimanje u obzir čvrstoće, korozije, toplinske provodljivosti i drugih svojstava materijala.
- analizu troškova različitih varijanti dizajna, uključujući troškove materijala, izgradnje, održavanja i operacija. Cilj je pronaći balans između kvaliteta dizajna i ukupnih troškova
- simulirati različite sigurnosne scenarije i identifikovati područja koja su najosjetljivija na rizike. Na temelju tih informacija, moguće je optimizirati dizajn kako bi se povećala otpornost na potencijalne opasnosti.
- vizualizaciju rezultata optimizacije, što olakšava razumevanje kako će promene uticati na dizajn rezervoara.
- uporedbu različitih scenarija dizajna kako bi mogli donositi odluke o odabiru najboljeg rešenja
- brzu i jednostavnu iteraciju kroz različite varijante dizajna, što ubrzava proces donošenja odluka.

- automatizirati deo analitičkog procesa, čime se smanjuje ljudski angažman i potencijalne greške.
- pomoć u identifikaciji ekoloških aspekata i održivih praksi pri dizajniranju rezervoara.

Kombinacija optimizacije dizajna i korištenje softvera omogućava stvaranje efikasnih, sigurnih i ekonomičnih rezervoara velikih zapremina za naftu. Međutim, važno je imati na umu da softver ne zamjenjuje stručnost inženjera i ispravnu procenu faktora kao što su sigurnost, uticaj okoline i tehničke zahteve.

8.3.Finansijska analiza

Softver može pomoći u proceni troškova materijala, konstrukcije, održavanja i tehnoloških operacija rezervoara, što je ključno za donošenje odluka. Finansijska analiza igra ključnu ulogu pri dizajniranju rezervoara velikih zapremina za naftu jer omogućava procenu troškova projekta, održavanja i operacija te donošenje važnih odluka. Implementacija softvera olakšava ovaj proces pružajući alate za detaljnu analizu troškova i mogućnosti optimizacije.

- **Troškovi izgradnje:**

Softver omogućava detaljnu procenu troškova materijala, rada, opreme i drugih faktora koji utiču na izgradnju rezervoara. Na temelju dizajna i tehničkih specifikacija, softver može automatski generisati procene troškova.

- **Tehnički troškovi:**

Softver može simulirati troškove tehnološke opreme, instrumentacije, kontrolnih sastava i drugih tehničkih komponenata koje su potrebne za rad rezervoara.

- **Održavanje i popravke:**

Softver može uzeti u obzir troškove rutinskog održavanja, inspekcija, popravaka i eventualnih nadogradnji rezervoara tokom njegovog životnog veka.

- **Operativni troškovi:**

Softver može pomoći u proceni operativnih troškova kao što su energetska potrošnja za grejanje, hlađenje ili mešanje nafte, troškovi osoblja, transporta i sl.

- **Analiza životnog cikla:**

Softver omogućava analizu troškova tokom celog životnog ciklusa rezervoara, uključujući troškove investicije, održavanja i zbrinjavanja na kraju životnog veka.

- **Optimizacija troškova:**

Softveri za optimizaciju omogućuju istraživanje različitih scenarija i varijanti kako bi se pronašlo rešenje koje minimizira ukupne troškove uz zadovoljenje tehničkih i sigurnosnih zahteva.

- **Vreme povratka investicije:**

Softver može pomoći u računu vremena povratka investicije, što je ključno za donošenje finansijskih odluka.

- **Skeniranje rizika:**

Softver može analizirati finansijske rizike i nestabilnosti te pomoći u razumevanju kako bi potencijalni događaji mogli uticati na troškove i profitabilnost projekta.

- **Vizualizacija rezultata:**

Softveri obično omogućavaju vizualizaciju finansijskih rezultata kroz grafikone, dijagrame i tablice, što olakšava razumevanje.

- **Donošenje odluka:**

Na temelju rezultata finansijske analize, tim može donositi odluke o daljem toku dizajna, izgradnje i operacije rezervoara.

Ukupno gledano, softver za finansijsku analizu omogućava temeljitu procenu troškova i pruža korisne informacije koje su ključne za uspešno vođenje projekta izgradnje rezervoara velikih zapremina za naftu

8.4. Vizualizacija i dokumentacija

Softver može generirati detaljne tehničke crteže, 3D modele i vizualizacije kako bi se bolje razumelo kako će rezervoar izgledati i kako će funkcionisati. Vizualizacija i dokumentaciji su ključni aspekti pri dizajniranju rezervoara velikih zapremina za naftu implementacijom softvera. Kvalitetna vizualizacija omogućava jasno razumijevanje dizajna i tehničkih detalja, dok dobra dokumentacija olakšava komunikaciju, saradnju i buduće održavanje. Korištenjem softvera moguće je:

- **3D modeliranje i vizualizacija:**

Softveri za CAD omogućavaju stvaranje detaljnih 3D modela rezervoara. Ovi modeli omogućavaju vizualizaciju kako će rezervoar izgledati u stvarnom svetu, pomažući inženjerima, klijentima i drugim da bolje razumeju dizajn.

- **Interaktivna vizualizacija:**

Neke softverske platforme omogućavaju interaktivnu vizualizaciju 3D modela rezervoara. To omogućava korisnicima da istražuju različite uglove i poglede unutar rezervoara kako bi dobili bolji uvid u unutrašnju strukturu.

- **Animacije i simulacije:**

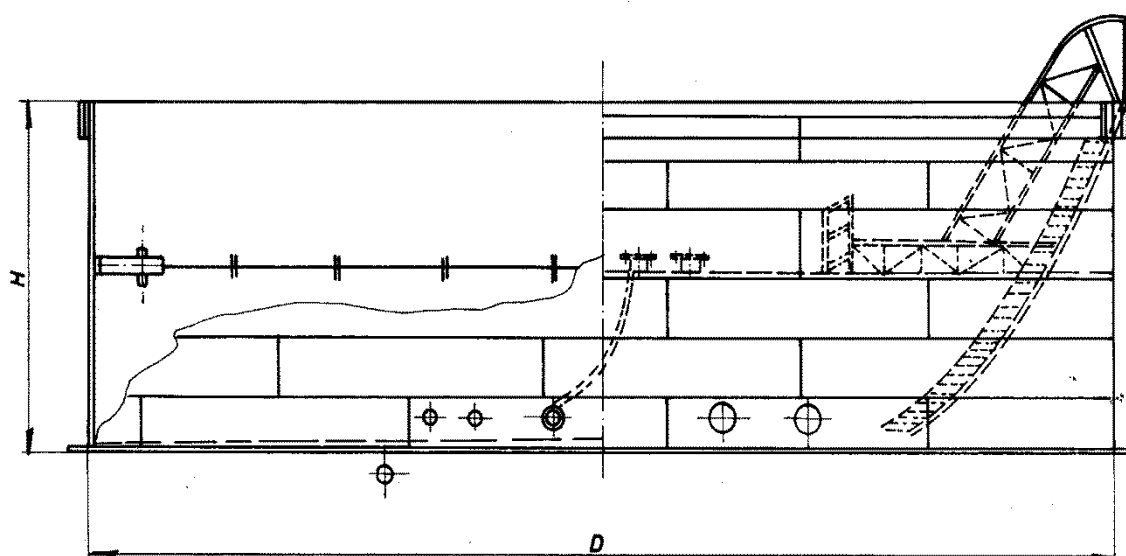
Softveri mogu generisati animacije i simulacije koje prikazuju kako bi rezervoar mogao reagovati na različite scenarije kao što su curenje, promene pritiska ili temperaturne fluktuacije.

- **Tehnički crteži:**

Softveri omogućuju generiranje tehničkih crteža rezervoara sa svim potrebnim dimenzijama, detaljima i oznakama. Ovi crteži su ključni za izradu i konstrukciju.

REZERVOAR SA PLIVAJUĆIM KROVOM ZA SKLADIŠTENJE NAFTE I NAFTINIH DERIVATA

REZERVOARI SA PLIVAJUĆIM KROVOM UPOTREBLJAVAJU SE ZA SKLADIŠTENJE NAFTE I NAFTINIH DERIVATA ČIJA GUSTINA NIJE MANJA OD 700 kg/m^3 . IZRAĐENI SU OD MATERIJALA KOJI VAŽI ZA OVAKVU VRSTU KONSTRUKCIJE. POSTAVLJAJU SE NA VEĆ PRI-
PREMLJEN TEMELJ. ELEMENTI REZERVOARA SU PRETHODNO FABRIKOVANI U RADIONICI. IZRAĐUJU SE KAO PONTONSKI KROVOVI SA MEMBRANOM I REZERVOARI SA DVOSTRUKIM POKRIVAČEM. NAJMANJA ZAPREMINA PONTONA KROVA SA MEMBRANOM I DVOSTRUKIM POKRIVAČEM MORA BITI DO-
VOLJNA DA DRŽI KROV U STANJU PLIVANJA NA TEČNOSTI GUSTINE $\gamma_{\text{min}} = 0,7 \text{ kg/dm}^3$. REZERVOARI SU SNABDEVENI SA SVOM POTREBNOM ARMATUROM I OPREMOM KOJA OBEZBEĐUJE SIGU-
RAN RAD U EKSPLOATACIJI.



TIP	P.R.K. —18.2.	P.R.K. —18.5.	P.R.K. —18.10.	P.R.K. —18.15.	P.R.K. —18.23.	P.R.K. —18.24.	P.R.K. —18.30.	P.R.K. —18.40.
Zapremina rez. $V \text{ (m}^3\text{)}$	2000	5000	10000	15000	23000	24000	30000	40000
Unutrašnji preč- nik $D_u \text{ (mm)}$	14360	24830	30480	36230	42670	42670	56022	56022
Visina rezerv. $H \text{ (mm)}$	13396	11032	14408	14820	16225	16520	12000	16000
Masa (kg)	71291	242377	247265	413101	496312	498842	710640	745811

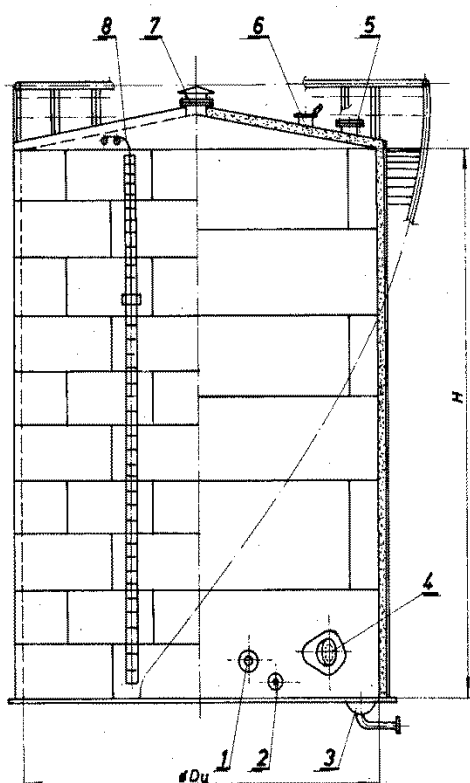
Slika 19. Rezervoar sa plivajućim krovom

REZERVOARI ZA NAFTU I NAFTINE DERIVATE većih dimenzija

VERTIKALNI NADZEMNI CILINDRIČNI REZERVOARI UPOTREBLJAVAJU SE ZA SKLADIŠTENJE NAFTI I NAFTNIH DERIVATA ČIJA SPECIFIČNA TEŽINA NE PRELAZI $\gamma = 1 \text{ kg/dm}^3$. PROJEKTUJU SE I IZRAĐUJU U SVIM VELIČINAMA PREMA API — 650; DIN 4119 KAO I JUGOSLOVENSKIM PROPISIMA.

IZRAĐENI SU OD MATERIJALA KOJI VAŽI ZA OVAKVU VRSTU KONSTRUKCIJE. POSTAVLJAJU SE NA VEĆ PRI-
PREMLJEN TEMELJ. ELEMENTI REZ. SU PRETHODNO FABRIKOVANI U RADIONICI.

REZERVOARI SU SNABDEVENI POSEBNOM OPREMOM I ARMATUROM.
ANTIKOROZIJA ZAŠTITA VRŠI SE PREMA PROPISIMA SL. LIST 32/70.



Rezervoar je snabdeven sledećom opremom:

1. PRIKLJUČAK ZA PUNJENJE
2. PRIKLJUČAK ZA PRAŽNJENJE
3. OTVOR ZA ČIŠĆENJE
4. DONJI ULAZNI OTVOR
5. GORNJI ULAZNI OTVOR
6. OTVOR ZA UZORKE
7. ODUŠNI OTVOR
8. MEHANIČKI MERAČ NIVOVA

Oprema po posebnoj narudžbi:

- PRIKLJUČAK ZA GAŠENJE PENOM
- HLAĐENJE OMOTAČA
- TERMIČKA IZOLACIJA REZERVOARA
- PRIKLJUČAK ZA AUTOMATSKI MERAČ NIVOVA
- PODNI GREJAČ
- POMOĆNI GREJAČ
- DIŠNI VENTIL

TIP	R.N.-19/A 1250	R.N.-19/A 1500	R.N.-19/A 1800	R.N.-19/A 2000	R.N.-19/A 2500	R.N.-19/A 3000	R.N.-19/A 4000	R.N.-19/A 5000
Zapremina rez. V (m ³)	12500	15000	18000	20000	25000	30000	40000	50000
Unutrašnji prečn. Du (mm)	30000	33000	36000	39000	42000	48000	61000	66000
Visina rezerv. H (mm)	17500	18000	18000	17500	17500	17000	14500	15000
Masa (kg)	290000	340000	400000	450000	580000	730000	988000	1150000

Slika 20. Rezervoar za naftu I naftnew derivate većih dimenzija

- **Dokumentacija specifikacija:**

Softver omogućava generisanje detaljnih tehničkih specifikacija za rezervoar, uključujući materijale, dimenzije, tehničke parametre, sigurnosne standarde i druge informacije.

- **Prototipiranje virtualne stvarnosti (VR):**

Neki softveri omogućavaju kreiranje VR iskustava, gdje korisnici mogu "prošetati" kroz 3D model rezervoara, dobivajući osjećaj stvarnog prisustva.

- **Arhiviranje:**

Softver omogućava arhiviranje svih crteža, modela i dokumentacije kako bi se omogućilo jednostavno povlačenje potrebnih informacija tokom celog životnog ciklusa rezervoara.

- **Redovno ažuriranje:**

Ako dođe do promena u dizajnu ili specifikacijama, softver omogućava brzo ažuriranje svih relevantnih dokumentacija i vizualnih prikaza.

- **Jednostavan pristup informacijama:**

Korištenje softvera omogućava brz i jednostavan pristup svim relevantnim informacijama o dizajnu, što je ključno za uspešno upravljanje projektom.

Vizualizacija i dokumentacija putem softvera omogućavaju jasniju komunikaciju, poboljšavaju razumevanje dizajna i olakšavaju saradnju svih učesnika u projektu izgradnje rezervoara velikih zapremina za naftu.

8.5. Komunikacija i saradnja

Softver može olakšati komunikaciju i suradnju između različitih timova kao što su inženjeri, projektanti, sigurnosni stručnjaci i regulatorne agencije. Komunikacija i suradnja su ključni faktori pri dizajniranju rezervoara velikih zapremina za naftu, a implementacija softvera može značajno olakšati ovaj proces omogućavajući efikasnu razmjenu informacija i suradnju među članovima tima i dionicima. Evo kako se to može postići korištenjem softvera:

- **Centralizovana platforma:**

Koristi se softver kao centralna platforma na kojoj će svi članovi tima moći pristupiti dokumentaciji, modelima i komunikaciji. To osigurava da svi imaju pristup najnovijim informacijama.

- **Real-time saradnja:**

Softveri omogućavaju real-time saradnju, gde članovi tima mogu zajedno raditi na istom projektu u stvarnom vremenu. Ovo je posebno korisno ako članovi tima rade na različitim lokacijama.

- **Upravljanje verzijama:**

Softveri često podržavaju sastav upravljanja verzijama, omogućavajući praćenje promena u dokumentima i modelima te povratak na prethodne verzije ako je potrebno.

- **Komentarisanje i povratne informacije:**

Većina softvera omogućava dodavanje komentara i povratnih informacija izravno na modele i dokumente. To olakšava komunikaciju među članovima tima bez potrebe za dodatnim komunikacijskim kanalima.

- **Online sastanci i prezentacije:**

Softveri omogućavaju organizovanje online sastanaka, prezentacija i radionica. Ovo je posebno korisno ako tim radi na različitim geografskim lokacijama.

- **Deljenje resursa:**

Softveri omogućavaju jednostavno deljenje dokumentacije, modela i drugih resursa među članovima tima. To osigurava da svi imaju pristup potrebnim informacijama.

- **Sigurnost i pristup:**

Softveri često omogućavaju kontrolu pristupa, što znači da možete odrediti ko ima pravo pristupa određenim dokumentima ili modelima.

- **Automatizovano obaveštavanje:**

Softveri mogu automatski obaveštavati članove tima o novim promenama, komentarima ili događanjima u projektu.

- **Baza znanja:**

Softveri često omogućavaju stvaranje baze znanja koja sadrži sve informacije, dokumentaciju i modele vezane za projekat. Ovo olakšava pretragu i pristup informacijama.

- **Integracija s drugim alatima:**

odabrani softver podržava integraciju s drugim alatima koji se koriste u projektu kako bi se osigurala koherentnost i doslednost informacija.

Efikasna komunikacija i saradnja ključni su za uspešan ishod projekta dizajniranja rezervoara velikih zapremina za naftu. Korišćenje softvera olakšava ovaj proces, osiguravajući da svi članovi tima budu informisani i usmereni prema istim ciljevima.

8.6.Mesto i uloga atmosferskih rezervoara u lučkim terminalima

Atmosferski rezervoari igraju važnu ulogu u lučkim terminalima kao sastavni deo infrastrukture za skladištenje različitih materijala, kao što su nafte, tečni gasovi, hemikalije i drugi fluidi. Evo nekoliko ključnih uloga i mesta atmosferskih rezervoara u lučkim terminalima:

- **Skladištenje i Distribucija:**

Atmosferski rezervoari služe za skladištenje velikih količina nafte i drugih tečnih materijala koji dolaze brodovima ili drugim transportnim sredstvima. Ovi rezervoari omogućavaju terminalima da privremeno akumuliraju zalihe i efikasno rasporede isporuke.

- **Balansiranje Potražnje i Snabdevanja:**

Lučki terminali obično doživljavaju fluktuacije u potražnji i snabdevanju tečnim materijalima. Atmosferski rezervoari omogućavaju terminalima da uskladište višak materijala kada je ponuda veća od potražnje i osiguraju kontinuiranu isporuku kada je potražnja veća od ponude.

- **Osiguranje Kontinuirane Dostupnosti:**

Rezervoari omogućavaju lučkim terminalima da skladište materijale čak i kada proizvodnja ili isporuka prelazi uobičajeni tok. Ovo osigurava kontinuiranu dostupnost materijala klijentima i tržištu.

- **Prilagodavanje Tržišnim Promenama:**

Tržišne promene, kao što su fluktuacije cena i promene potražnje, zahtevaju fleksibilnost u skladištenju i distribuciji. Atmosferski rezervoari omogućavaju lučkim terminalima da prilagode svoje zalihe u skladu sa trenutnim tržišnim uslovima.

- **Bezbednost i Kontrola:**

Kontrolisano skladištenje tečnih materijala u rezervoarima doprinosi smanjenju rizika od curenja, isparenja ili eksplozija. Terminali su u mogućnosti bolje kontrolisati uslove skladištenja i obezbediti odgovarajuće mere zaštite.

- **Tranzit i Transport:**

Atmosferski rezervoari se često koriste kao tranzitne tačke za prenos materijala između različitih transportnih sredstava, kao što su brodovi, železnički vagoni i kamioni. To omogućava efikasno pražnjenje ili punjenje različitih transportnih sredstava.

- **Praćenje i Upravljanje:**

Lučki terminali koriste sofisticirane sisteme praćenja i upravljanja za praćenje nivoa zaliha, kvaliteta materijala, uslova skladištenja i druge parametre. Ovi podaci pomažu u donošenju informisanih odluka o upravljanju zalihama i distribuciji.

Ukratko, atmosferski rezervoari su vitalni elementi lučkih terminala koji omogućavaju skladištenje, distribuciju, zaštitu i efikasno upravljanje tečnim materijalima u skladu sa zahtevima tržišta.

9.ZAKLJUČCI

Cilj i značaj disertacije “*Dizajniranje vertikalnih atmosferskih rezervoara implementacijom softvera u rafinerijama nafte*” su ključni faktori koji treba uzeti u obzir prilikom analize. Cilj disertacije je implementacija softverskih alata za dizajn vertikalnih atmosferskih rezervoara u rafinerijama nafte. To podrazumeva upotrebu specijalizovanog softvera koji omogućava precizno modeliranje, simulaciju i optimizaciju dizajna rezervoara.

- **Glavni ciljevi disertacije uključuju:**

Poboljšanje dizajna i efikasnosti: Cilj je postizanje preciznijeg i optimiziranog dizajna vertikalnih atmosferskih rezervoara. Softverski alati omogućavaju inženjerima da bolje razumeju uticaj različitih faktora na performanse rezervoara i da optimizuju dimenzije, oblike i materijale kako bi postigli bolje performanse uz manje resursa.

Smanjenje troškova i grešaka: Implementacija softvera omogućava brzu analizu i simulaciju različitih scenarija. Ovo može dovesti do smanjenja potrebe za fizičkim prototipima, čime se štede vreme i resursi, a istovremeno se smanjuje verovatnoća grešaka u dizajnu.

Unapređenje bezbednosti i održivosti: Precizna simulacija softvera može pomoći u identifikaciji potencijalnih rizika i problema unutar dizajna rezervoara, što može doprineti poboljšanju bezbednosti i smanjenju rizika od curenja, eksplozija ili drugih opasnosti.

Bolja integracija sa drugim sistemima: Softverski alati omogućavaju bolju integraciju dizajna rezervoara sa drugim sistemima u rafinerijama, kao što su cevovodi, transport i skladištenje. Ovo može poboljšati celokupnu efikasnost i koordinaciju procesa.

Značaj disertacije: Značaj dizajniranja vertikalnih atmosferskih rezervoara implementacijom softvera u rafinerijama nafte može se istaći na sledeći način:

Tehnička unapređenja: Implementacija softverskih alata omogućava rafinerijama da koriste najnovije tehnologije za precizan i optimiziran dizajn rezervoara. To može poboljšati performanse rafinerija, smanjiti gubitke i poboljšati kvalitet nafte.

Ekonomska efikasnost: Smanjenje troškova dizajna, proizvodnje i održavanja rezervoara dovodi do ekonomske efikasnosti. Precizniji dizajn i optimizacija mogu povećati produktivnost i profitabilnost rafinerija.

Smanjenje negativnih uticaja: Precizno dizajnirani rezervoari smanjuju rizike od curenja i drugih nepoželjnih događaja. To doprinosi smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu, zajednicu i zaposlene.

Povećanje konkurentske prednosti: Rafinerije koje uspešno primenjuju softverski podržan dizajn imaju konkurentske prednosti na tržištu. Brži razvoj, bolja efikasnost i viši standardi bezbednosti mogu privući nove klijente i investitore.

Ubrzanje razvoja: Softverski alati omogućavaju brži razvoj novih rezervoara i adaptaciju na promene zahteva tržišta. Ovo omogućava rafinerijama da brže reaguju na dinamične promene u potražnji i tehnologiji.

Savremenost i inovacija: Implementacija softverskog pristupa pokazuje angažovanje rafinerija u savremenim tehničkim i tehnološkim inovacijama, što može imati pozitivan uticaj na imidž kompanije i percepciju kvaliteta.

U celini, disertacija “Dizajniranje vertikalnih atmosferskih rezervoara implementacijom softvera u rafinerijama nafte” ima za cilj postizanje tehničkih i ekonomskih dobrobiti, unapređenje bezbednosti i smanjenje ekološkog uticaja rafinerijskih operacija. Ovo je od suštinskog značaja za dalji razvoj rafinerijske industrije i prilagođavanje savremenim tehničkim izazovima.

Literatura

1. Petrović R, Kojić M, Đorđević D, Projektovanje rezervoara za skladištenje i transport fluida, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kraljevu, 2005. godine, ISBN 86-82631-21-0, CIP-621.642.02/03, COBISS.SR-ID 121137932
2. Bathe KJ, Finite Element Procedures, Cambridge, MA: Klaus-Jurgen Bathe, ISBN 9780979004902, 2006.
3. Klaus TD, Guide to Medical Image Analysis, Methods and Algorithms, Springer-Verlag London, ISBN 978-1-4471-7318-2, DOI 10.1007/978-1-4471-7320-5, 2017.
4. Kojić M, Bathe KJ, Inelastic Analysis of Solids and Structures. Computational Fluid and Solid Mechanics. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH KG, Berlin, 2005.
5. Kojić M, Slavković R, Živković M, Grujović N, PAK-S: Program for FE Structural Analysis, Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, 1999
6. Kojić M, Slavković R, Živković M, Grujović N, PAK-T: Program for Heat Transfer Analysis, Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, 1999.
7. Jovičić G., Živković M., Vulović S., Proračunska mehanika loma i zamora, Monografija, Fakultet Inženjerskih nauka, Kragujevac, 2011.
8. Hartley RI, Zisserman A, Multiple View Geometry in computer vision (2nd ed.). Cambridge University Press. ISBN 0-521-54051-8, 2004.
9. Peters WH, Ranson WR, Digital imaging techniques in experimental stress analysis, Optical Engineering, Vol. 21, No. 3, pp. 213-427, ISSN 1560-2303, DOI <http://dx.doi.org/10.1117/12.7972925>, 1982.
10. Bruck H, McNeill S, Sutton M, Peters W, Digital image correlation using newton-raphson method for partial differential correction. Experimental Mechanics, Vol. 29, No. 3, pp 261–267, ISSN 1741-2765, <http://doi.org/10.1007/BF02321405>, 1989.
11. Zienkiewicz OC, Zhu JZ, Adaptivity and mesh generation, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 32, No. 4, pp 783–810, ISSN 1097-0207, <http://doi.org/10.1002/nme.1620320409>, 1991.
12. Sjodahl M, Benckert LR, Electronic speckle photography: analysis of an algorithm giving the displacement with subpixel accuracy, Applied Optics, Vol. 32, No. 13, pp 2278-2284, ISSN 2155-3165, DOI <http://doi.org/10.1364/AO.32.002278>, 1993.
13. Cerveri P, Borghese NA, Pedotti A, Complete calibration of a stereo photogrammetric system through control points of unknown coordinates, Journal of Biomechanics, Vol. 31, No. 10, pp 935–940, ISSN 0021-9290, [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(98\)00104-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(98)00104-3), 1998.
14. Yoneyama S, Kikuta H, Kitagawa A, Kitamura K, Lens distortion correction for digital image correlation by measuring rigid body displacements, Optical Engineering, Vol. 45, No. 2, pp. 023602, ISSN 0091-3286, DOI <http://dx.doi.org/10.1117/1.2168411>, 2006.
15. Besnard G, Hild F, Roux S, "Finite-Element" displacement field analysis from digital images: Application to Portevin–Le Châtelier Bands, Experimental Mechanics, Vol. 46, No. 6, pp 789–803, ISSN 1741-2765, <https://doi.org/10.1007/s11340-006-9824-8>, 2006.
16. Sutton MA, Yan JH, Tiwari V, Schreier HW, Orteu JJ, The effect of out-of-plane motion on 2d and 3d digital image correlation measurements, Optics and Lasers in Engineering, Vol. 46, No. 10, pp 746-757, ISSN 0143-8166, DOI, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2008.05.005>, 2008. *Doktorska disertacija*
17. Sutton M, Orteu J, Schreier H, Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements, Basic Concepts, Theory and Applications, Springer, Boston, MA, ISBN 978-0-387-78746-6, DOI <http://doi.org/10.1007/978-0-387-78747-3>, 2009.
18. Wang Y, Sutton M, Bruck H, Schreier V, Quantitative error assessment in pattern matching: Effects of intensity pattern noise, interpolation, strain and image contrast on

- motionmeasurements, *Strain*, Vol. 45, No. 2, pp 160-178, ISSN 1475-1305, DOI: 10.1111/j.1475-1305.2008.00592.x, 2009
19. Pan B, Asundi A, Xie H, J Gao, Digital image correlation using iterative least squares and point wise least squares for displacement field and strain field measurements, *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 47, No. 7-8, pp. 865– 874, ISSN 0143-8166, DOI <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2008.10.014>, 2009.
 20. Pan B, Qian K, Xie H, Asundi A, Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review, *Measurement Science and Technology*, Vol.20, No. 6, 062001 (17pp), ISSN 1361-6501, DOI <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/20/6/062001>, 2009.
 21. Pan B, Recent progress in digital image correlation, *Experimental Mechanics*, Vol. 51, No.7, pp 1223–1235, ISSN 0014-4851, <https://doi.org/10.1007/s11340-010-9418-3>, 2010.
 22. Kammers AD, Daly S, Small-scale Patterning Methods for Digital Image Correlation Under Scanning Electron Microscopy, *Measurement Science and Technology*, Vol. 22, No. 12, 125501 (12pp), ISSN: 1361-6501, DOI <https://doi.org/10.1088/0957-0233/22/12/125501>, 2011.
 23. Hild F, Roux S, Comparison of local and global approaches to digital image correlation, *Experimental Mechanics*, Vol. 52, No. 9, pp 1503–1519, ISSN 1741-2765, <http://doi.org/10.1007/s11340-012-9603-7>, 2011.
 24. De Santis G, De Beule M, Van Canneyt K, Segers P, Verdonck P, Verheghe B, Full hexahedral structured meshing for image-based computational vascular modeling, *Medical Engineering & Physics*, Vol. 33, No. 10, pp 1318-1325, ISSN 1350-4533, <http://doi.org/10.1016/j.medengphy.2011.06.007>, 2011.
 25. Huang J, Pan X, Peng X, Yuan Y, Xiong C, Fang J, Yuan F, Digital Image Correlation with Self-Adaptive Gaussian Windows, *Experimental Mechanics*, Vol. 53, No. 3, pp 505–512, ISSN 1741-2765, DOI <http://doi.org/10.1007/s11340-012-9639-8>, 2012.
 26. Stoilov G, Kavardzhikov V, Pashkouleva D, A Comparative Study of Random Patterns for Digital Image Correlation, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, Vol.42, No.2, pp.55-56, ISSN 0079-3701, DOI <http://doi.org/10.2478/v10254-012-0008-x>, 2012
 27. Besnard G, Leclerc H, Hild F, Roux S, Swiergiel N, Analysis of image series through global digital image correlation, *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, Vol. 47, No. 4, pp 214-28, ISSN 2041-3130, <https://doi.org/10.1177/0309324712441435>, 2012.
 28. Wang Y, Lava P, Coppieters S, Houtte PV, Debruyne D, Application of a Multi-Camera Stereo DIC Set-up to Assess Strain Fields in an Erichsen Test: Methodology and Validation, *Strain* Vol. 49, No. 2, pp 190–198, ISSN 1475-1305, DOI <http://doi.org/10.1111/str.12027>, 2013.
 29. Pritchard RH, Lava P, Debruyne D, Terentjev EM, Precise determination of the poisson ratio in soft materials with 2d digital image correlation, *Soft Matter*, Vol. 9, pp 6037–6045, ISSN 1744-6848, DOI <http://dx.doi.org/10.1039/C3SM50901J>, 2013.
 30. Lava P, Van Paepegem W, Coppieters S, De Baere I, Wang Y, Debruyne D, Impact of lens distortions on strain measurements obtained with 2d digital image correlation, *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 51, No. 5, pp. 576-584, ISSN 0143-8166, DOI <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2012.12.009>, 2013.
 31. Lionello G, Cristofolini L, A practical approach to optimizing the preparation of speckle patterns for digital-image correlation, *Measurement Science and Technology*, Vol. 25, No.10, ISSN: 1361-6501, DOI <https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/10/107001>, 2014.
 32. Pan B, Yu L, Wu D, High-accuracy 2d digital image correlation measurements using low cost imaging lenses: implementation of a generalized compensation method, *Measurement Science and Technology*, Vol. 25, No. 2, ISSN 1361-6501, DOI <https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/2/025001>, 2014

33. Seghir R, Witz JF, Coudert S, YaDICs - Digital Image Correlation 2/3D software, <http://www.yadics.univ-lille1.fr>, 2014.
34. Blaber J, Adair B, Antoniou A, Ncorr: Open-Source 2D Digital Image Correlation MatlabSoftware, *Experimental Mechanics*, Vol. 55, No. 6, pp 1105-1122, ISSN 1741-2765, DOI<http://dx.doi.org/10.1007/s11340-015-0009-1>, 2015.
35. Blaber J, Adair BS, Antoniou A, A methodology for high resolution digital image correlation in high temperature experiments, *Review of Scientific Instruments*, Vol. 86, No. 3, pp. 035-111, ISSN 1089-7623, DOI <http://dx.doi.org/10.1063/1.4915345>, 2015.
36. GOM Testing, Technical Documentation as of V8 SR1, Digital Image Correlation and Strain Computation Basics, 0000001118_004_EN_16-11-2016
37. Wang Y, Lava P, Reu P, Debruyne D, Theoretical Analysis on the Measurement Errors of Local 2D DIC: Part I Temporal and Spatial Uncertainty Quantification of Displacement Measurements, *Strain*, Vol. 52, No. 2, pp 110–128, ISSN 1475-1305, DOI <http://doi.org/10.1111/str.1217>, 2016.
38. Wang Y, Lava P, Reu P, Debruyne D, Theoretical Analysis on the Measurement Errors of Local 2D DIC: Part II Assessment of Strain Errors of the Local Smoothing Method—Approaching an Answer to the Overlap Question, *Strain*, Vol. 52, No. 2, pp 129–147, ISSN 1475-1305, DOI <http://doi.org/10.1111/str.12174>, 2016.
39. Khoo SW, Karuppanan S, Tan CS, A Review Of Surface Deformation And Strain Measurement Using Two-Dimensional Digital Image Correlation, *Metrology and Measurement Systems*, Vol. 23, No. 3, pp. 461–480, ISSN 0860-8229, DOI <http://dx.doi.org/10.1515/mms-2016-0028>, 2016.
40. Wang Y, Coppieters S, Lava P, Debruyne D, Anisotropic yield surface identification of sheet metal through stereo finite element model updating, *Journal of Strain Analysis*, Vol. 51, No. 8, pp 598–611, ISSN 2041-3130, DOI <http://dx.doi.org/10.1177/0309324716666437>, 2016.
41. Zaidao L, Limodin A, Tandjaoui A, Quaegebeur P, François Witz J, Balloy D, Damage investigation in A319 aluminum alloy by digital image correlation during in-situ tensile tests, *Procedia Structural Integrity*, Vol. 2, Pp 3415-3422, ISBN 2452-3216, DOI <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.426>, 2016
42. Housner, G.W.: Dynamic Pressures on Accelerated Containers, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, Vol. 47, (1957) pp 15-35
43. Velestos, A. S.: Seismic Effects in Flexible Liquid Storage Tanks, *Proc. 5th World Conf. on Earthquake Engineering*, Session 2B (1976)
44. Wozniak, R. S. and Mitchel, W. W.: Basis of Seismic Design Provisions for Welded Steel Storage Tanks, API Refinery Department 43rd Midyear Meeting, (1978)
45. API: Welded Steel Tanks for Oil Storage, App.E, API Standard 650, (1979)
46. Ishida, K and Kobayashi, S.: An Effective Method of Analyzing Rocking Motion for Unanchored Cylindrical Tanks Including Uplift, *Trans., ASME, J. Pressure Vessel Technology*, Vol. 110 :o.1 (1988) pp 76-87
47. H.R. Qananah, R. Petrović, A. Banaszek, M. Anđelković, R. Cvejić, N. Đorđević, N. Milovanović; Stress State Optimisation of Vertical Atmospheric Large-Volume Tanks. *Structural Integrity and Life*, Vol. 22, No 2 (2022), pp. 247–251.