

# Barijere kod izrade, opremanja i održavanja bušotina

---

Orešković, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:273380>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET**

Diplomski studij naftnog rudarstva

**BARIJERE KOD IZRADE, OPREMANJA I  
ODRŽAVANJA BUŠOTINA**

Diplomski rad

Antonio Orešković

N126

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET**

Diplomski studij naftnog rudarstva

**BARIJERE KOD IZRADE, OPREMANJA I  
ODRŽAVANJA BUŠOTINA**

Diplomski rad

Antonio Orešković

N126

Zagreb, 2015.

## **BARIJERE KOD IZRADE, OPREMANJA I ODRŽAVANJA BUŠOTINA**

Antonio Orešković

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Razvojem tehnologije te površinske i dubinske opreme, princip dvostruke barijere omogućava ostvarivanje cjelovitosti bušotine, proizvodnje i generiranje profita. Detaljnim razmatranjem mogućih problema, analizom stabla kvarova i dijagramom barijera, uz adekvatnu organizaciju ne dopušta se dovođenje bušotine u rizične situacije. Određivanje zahtjeva i odgovornosti, međusobna komunikacija, definiranje kriterija prihvatljivosti i djelotvornosti pojedinih elemenata barijere, inicijalnim i redovnim ispitivanjem te stalnim nadziranjem rada opreme, povećava se mogućnost sigurne izvedbe operacija i umanjuje potreba izvođenja popravaka i održavanja bušotine. Filozofija dvostruke barijere prilikom izrade, opremanja i održavanja bušotine i održavanje njenog integriteta predstavljena je i objašnjena u skladu s Norsok D-010 standardom.

Ključne riječi: primarna i sekundarna barijera, integritet bušotine, postupak upravljanja, organizacija, shematski prikaz, bušotinska oprema, izrada, opremanje, održavanje

Diplomski rad sadrži: 45 stranica, 5 tablica, 12 slika

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Prof. dr. sc. Davorin Matanović, redoviti profesor RGNf-a

Ocjenjivači: 1. Prof. dr. sc. Davorin Matanović, redoviti profesor RGNf-a  
2. Prof. dr. sc. Nediljka Gaurina Međimurec, redovita profesorica RGNf-a  
3. Prof. dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNf-a

Datum obrane: 24. rujna 2015.

**SAFETY BARRIER ANALYSIS IN DRILLING, COMPLETION AND  
WORKOVER OPERATION**

Antonio Orešković

Master's Thesis written: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Institute of Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, Zagreb 10 000

Summary

By development of technology and well equipment, two well barrier philosophy allows us to produce while having integrity of well. With detailed analysis of potential failures, using fault tree analysis and barrier diagram and well integrity management system the well is not supposed to reflect as possible risk threat. Determination of the requirements and responsibilities, internal communication, defining acceptance criteria and the effectiveness of barrier element, initial and regular test and constant monitoring of equipment increases the possibility of safe performance and reduces the need for maintenance and workover. Two well barrier philosophy in drilling, completion and workover operations and maintaining the integrity is presented by NORSOK D-010 standard.

Keywords: primary and secondary well barriers, well integrity, management system, organisation, barrier schematic, well equipment in drilling, completion, workover

Master's Thesis contains: 45 pages, 5 tables, 12 pictures

Language: Croatian

Master's Thesis stored: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum  
Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: PhD. Davorin Matanović, Full Professor

Reviewers: 1. PhD. Davorin Matanović, Full Professor  
2. PhD. Nediljka Gaurina Međimurec, Full Professor  
3. PhD. Zdenko Krištafor, Full Professor

Date of presentation: September 24th, 2015.

## Sadržaj

<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>III</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 POSTUPAK UPRAVLJANJA INTEGRITETOM BUŠOTINE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Organizacija .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Dizajn integriteta .....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Barijere .....	6
<b>2.3 Operativni postupci .....</b>	<b>8</b>
2.3.1 Ispitivanje elemenata barijera .....	8
<b>2.4 Rukovođenje podacima .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Analiza integriteta.....</b>	<b>14</b>
<b>3 BARIJERE POJEDINIH OPERATIVNIH SITUACIJA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Barijere pri izradi bušotine.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 Kriterij prihvatljivosti barijera tijekom izrade kanala bušotine.....	21
3.1.2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijera.....	21
<b>3.2 Barijere tijekom opremanja bušotine .....</b>	<b>30</b>
3.2.1 Kriterij prihvatljivosti barijera tijekom opremanja kanala bušotine.....	31
3.2.2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijera.....	31
<b>3.3 Održavanje barijera bušotine.....</b>	<b>41</b>
3.3.1 Kriterij prihvatljivosti barijera tijekom održavanja .....	41
3.3.2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijera.....	42
<b>4 ZAKLJUČAK .....</b>	<b>44</b>
<b>5 LITERATURA .....</b>	<b>45</b>

## **POPIS TABLICA**

<i>Tablica 2 - 1 Dokumentacija ispitivanja barijera (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>10</i>
<i>Tablica 2 - 2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijere (Norsok Standard D-010, 2013.) 11</i>	
<i>Tablica 2 - 3 Shematski prikaz barijera (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>13</i>
<i>Tablica 2 - 4 FMECA tablica (WIF, NTNU &amp; UiS, 2012.).....</i>	<i>17</i>
<i>Tablica 3 - 1 Postupak i učestalost ispitivanja preventerskog sklopa (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>29</i>

## POPIS SLIKA

<i>Slika 2. 1. Zakonodavna hijerarhija integriteta bušotine (Expro-Well Integrity Capability, 2011.).....</i>	<i>3</i>
<i>Slika 2. 2. Elipsa naprezanja konstruiranja opreme (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>6</i>
<i>Slika 2. 3. Zajednička barijera: krilni ventili (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 2. 4. Zajednička barijera: cementni čep (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 2. 5. Dijagram barijera (WIF, NTNU &amp; UiS, 2012.).....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 2. 6. Grafički prikaz analize stabla kvara (WIF, NTNU &amp; UiS, 2012.).....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 3. 1. Grafički prikaz barijera prilikom bušenja (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 3. 2. Cementni kamen u svojstvu primarne i sekundarne barijere (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 3. 3. Grafički prikaz barijera tijekom opremanja; spuštanje alata kroz BOP (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 3. 4. Grafički prikaz barijera tijekom opremanja; otpajanje BOP-a i postavljanje vertikalnog erupcijskog uređaja (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 3.5. Grafički prikaz barijera tijekom opremanja; opremljena proizvodna bušotina (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>40</i>
<i>Slika 3. 6. Grafički prikaz barijera tijekom održavanja; utiskivanje kroz tubing niz (Norsok Standard D-010, 2013.).....</i>	<i>43</i>



# 1 UVOD

Integritet bušotine, odnosno konstrukcijska cjelovitost predstavlja primjenu operativnih, tehničkih i organizacijskih rješenja sa svrhom umanjivanja pojave rizičnih situacija poput nekontroliranog izbacivanja ležišnog fluida tijekom životnog vijeka bušotine. Princip integriteta bušotine se sastoji od dvije temeljne pretpostavke: potpune djelotvornosti bušotine za svaku pojedinu operaciju i dvije testirane i kvalificirane barijere. Primarna barijera predstavlja skup elemenata, tj. podzemnu bušotinsku opremu koja je u konstantnom kontaktu s tlakom u ležištu, a njihova zadaća je onemogućiti dotok ležišnog fluida u podzemnu opremu stvaranjem početne i unutarnje omotnice primarne barijere. Isplaka, cementni kamen, zaštitne cijevi, podzemni protupovratni ventili samo su neki od navedenih elemenata primarne barijere. Sekundarna barijera predstavlja dodatnu vanjsku omotnicu u obliku pričuvnog slučaja sprječavanja prodora ležišnog fluida do površine, ukoliko elementi primarne barijere ne obave temeljnu zadaću. Predstavnicima sekundarne barijere su cementni kamen, zaštitne cijevi, bušotinska glava, sustav preventera, sustav erupcijskog uređaja s pripadajućim ventilima. Standard Norveške naftne industrije, Norsok D-010, je specijaliziran za definiranje zahtjeva i smjernica vezanih za integritet od početka planiranja do napuštanja bušotine. Za svrhu ima unaprijediti ili zamijeniti smjernice, dokumente i preporuke naftnih kompanija i njihovih operatera s ciljem povećanja vrijednosti i sigurnosti operacije, te smanjiti vrijeme izvođenja i popratne troškove. Predstavlja osnovne operativne i sigurnosne zahtjeve za opremu i postupke, no prepušta operateru radova odabir optimalnog rješenja u skladu s trenutnom situacijom. Primarna usmjerenost standarda je na: uspostavljanju barijera, analizi pojedinih elemenata barijere, dozvoljenim kriterijima primjene, pravilima korištenja opreme i testiranja, izvođenju radova i postupaka upravljanja i vođenja cjelokupnim procesom. Navedeni postupak je ostvariv uz adekvatno upravljanje postupcima i operacijama od strane obučenog kadra za svaku pojedinu operaciju. Nadopunjeno izdanje standarda iz 2013. godine je potaknuto nesrećom poluuronjive platforme Deepwater Horizon u Meksičkom zaljevu 2010. godine. U potonjem izdanju je pored spomenutih definicija integriteta bušotine, detaljnije razrađen kriterij prihvatljivosti cementiranja i svojstva cementnog kamena u operacijama bušenja, opremanja i održavanja bušotine. Predložen je shematski prikaz trenutnog položaja i stanja

u bušotini s popratnim tekstualnim objašnjenjem načina nadziranja i ispitivanja primarne i sekundarne barijere.

## 2 POSTUPAK UPRAVLJANJA INTEGRITETOM BUŠOTINE

Sistematična provedba postupaka, vezana za integritet i barijere, je obavezna prije provedbe aktivnosti u bušotini. Operateri nadležni za operacije bušenja, opremanja i održavanja su obvezni poznavati postupak upravljanja integritetom bušotine. Takav sustav objedinjuje ljudstvo, opremu i standarde koje osigurava operater s ciljem upravljanja i nadziranja integriteta. Upravljanje integritetom je razvijeno u skladu s operaterom, koji se prema financijskim i operativnim mogućnostima fokusira na detalje i relevantne zakone i standarde. Opširan sustav upravljanja integriteta bušotine je nužan kako bi se prikazala usklađenost zakona s industrijskom praksom i standardima te sigurnost za ljudstvo, okoliš i opremu. Slikom 2. 1. se prikazuje zakonodavna hijerarhija koju je potrebno provoditi tijekom životnog vijeka bušotine. Upravljanje integritetom bušotine u operativnom kontekstu, od izrade do napuštanja bušotine, se sastoji od pet glavnih stavki: organizacije, projektiranja, operativnih postupaka, rukovođenja podacima i analize nadziranja bušotine.



Slika 2. 1. Zakonodavna hijerarhija integriteta bušotine (Expro-Well Integrity Capability, 2011.)

### 2.1 Organizacija

Organizacija održivog sustava upravljanja integritetom se ostvaruje određivanjem zahtjeva i odgovornosti, a potvrda sposobnosti nadležne osobe se ispituje pisanim provjerama, trening programom i praktičnim radom. Međusobnom komunikacijom, prijedlozima

rješenja i primopredajom rezultata se postiže održivost organizacije. Osobe nadležne za očuvanje barijera i cjelokupnog integriteta bušotine su obvezne razumjeti i obraditi sljedeće stavke:

- uloge i odgovornosti koje se provode za održavanje integriteta te postupke konstruiranja i održavanja bušotine,
- svojstva stijena i ležišta te pripadajući razvoj tlaka i temperature,
- princip izrade, cementiranja, opremanja te postupak i tijek održavanja uz slučajeve opterećenja opreme i formacije,
- postupak izrade, rukovanja i primopredaje podataka,
- uspostavljanje integriteta u bušotini na temelju filozofije dvostruke barijere te izrada i rukovanje grafičkim prikazom i dijagramom barijera,
- nadziranje postupka, ispitivanje, dijagnoza problema i rješavanje situacije.

Stranka koja izdaje standard, kontinuirano nadzire rad operatera gdje je operater dužan uspostaviti, provoditi i dodatno razvijati sustav organizacije i upravljanja integritetom kako bi se utvrdila usklađenost s regulativama standarda. Odgovornost operatera je, također, imati pod nadzorom sve prisutne podizvođače radova i ne dozvoliti odmak od provedbe standarda. Norsok D-010 standard, kao sveprihvaćeni standard, se zajedno s operaterom razvija i stvara strategiju i ciljeve integriteta bušotine obuhvaćajući ljudstvo, opremu i okoliš. S obzirom na predviđeno stanje u bušotini, izrada dijagrama mogućih kvarova je potrebna kako bi se sa što većom sigurnosti i uspješnosti premostile takve situacije. Iskustvo i rezultati rješavanja rizičnih situacija preporuča se dokumentirati, opisati i predati arhivi operatora kako bi se u budućnosti smanjile ili u potpunosti izbjegle slične neželjene situacije.

## **2.2 Dizajn integriteta**

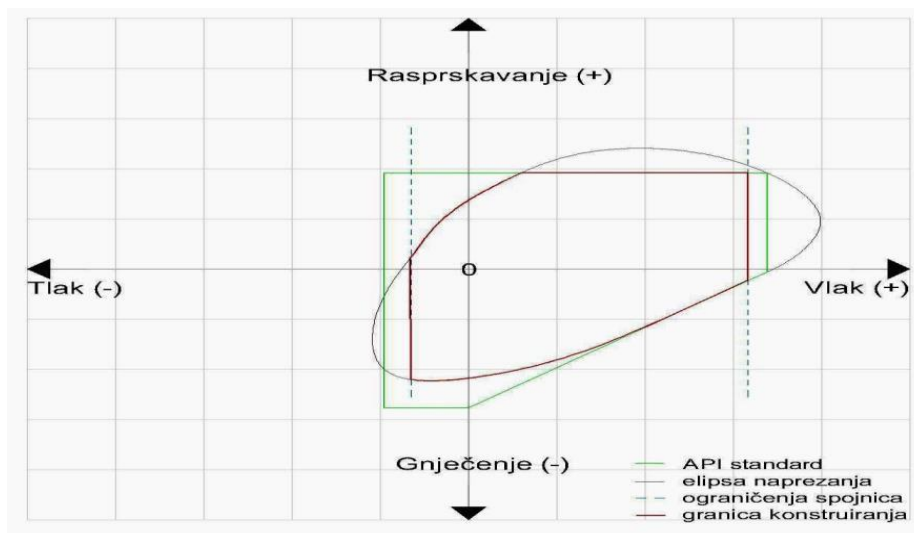
Projektiranje, odnosno dizajn bušotine predstavlja proces s ciljem uspostavljanja, potvrđivanja i dokumentiranja odabranog tehničkog rješenja koje ispunjava svrhu bušotine, sukladnost s traženim zahtjevima i koje sadrži procjenu rizika unutar prihvatljivih granica tokom životnog vijeka bušotine. Zahtjevi su određeni Norsok D-010 standardom koji se temelji na filozofiji dvostruke barijere tijekom životnog vijeka bušotine, uključujući i

napuštene bušotine. Prilikom projektiranja integriteta osnovne stavke koje se razmatraju su: tehnički standardi, barijere, zahtjevi koje oprema mora ispuniti, sigurnosni sustavi barijera i ograničenje djelovanja elemenata.

Takav proces se provodi:

- prilikom konstrukcije nove bušotine,
- u slučaju prepravki i izmjeni elemenata na postojećoj bušotini, te
- za slučajeve promjena u temeljnom dizajnu ili za pretpostavke.

Prisutne elemente u bušotini je potrebno dizajnirati kako bi izdržali planirana i očekivana opterećenja te opterećenja izazvana naknadnim operacijama održavanja u bušotini, a period tokom kojeg trebaju odolijevati opterećenjima je predstavljen životnim ciklusom bušotine, od postavljanja elemenata do napuštanja bušotine. Opterećenja na elemente, statička ili dinamička i opremu korištenu tijekom kombiniranih opterećenja je potrebno dokumentirati, a izračuni opterećenja će biti uspoređeni s dozvoljenim kriterijem korištenja i odlučiti o daljnjem korištenju. Princip dizajniranja opreme se temelji na elastičnim deformacijama, a dozvoljeni raspon korištenja tj. opterećivanja opreme je prikazan na slici 2. 2. Granice korištenja se temelje na API standardu za referentni element opreme, Von Miseses elipsi naprezanja i na dozvoljenim kapacitetima opterećenja spojnice opreme, a granica korištenja je označena crvenom linijom unutar navedenih ograničavajućih faktora. Također je potrebno spomenuti da pored ispitivanja opreme na opterećenja (rasprskavanje, gnječenje, aksijalno opterećenje i triaksijalno opterećenje) je potrebno izvršiti ispitivanja na trošenje i koroziju materijala. Ukoliko su proračuni dizajna u prihvatljivim granicama, uspostavlja se uvjet za ugradnju sigurnosnih mehanizama. Elementi koji se ponašaju prema principu sigurnosnih mehanizama su u normalnim uvjetima rada otvoreni, a kada nastupi gubitak energije koja ih drži otvorenim, automatski se zatvaraju i sprječavaju prodor fluida u više pozicije.



Slika 2. 2. Elipsa napreznja konstruiranja opreme (Norsok Standard D-010, 2013.)

### 2.2.1 Barijere

Barijere je potrebno definirati prije provođenja aktivnosti u bušotini i to identificiranjem: potrebnih elemenata barijera, specifičnih kriterija prihvatljivosti i djelotvornosti, te postupaka i učestalosti nadziranja.

Barijera predstavlja omotnicu, sastavljenu od jednog ili više zavisnih elemenata, sa zadaćom sprječavanja prodiranja fluida iz ležišta u okolinu ili ušće bušotine. Glavni cilj barijere je spriječiti prodor ležišnog fluida u susjedne slojeve tijekom operacija i u slučaju izvanredne situacije omogućiti trenutno zatvaranje bušotine. Zahtjevi za djelotvornost barijere su podijeljene na trenutne i trajne zahtjeve. Trenutni zahtjevi održavaju barijeru cjelovitom na način da djeluje u onom trenutku kada je aktivirana i održava takvo stanje dok uvjeti ne dopuste suprotno; primjer je zatvaranje preventera. Trajni zahtjevi ostvaruju kontinuiranu zadaću poput isplake u procesu bušenja koja ostvaruje protutlak na stijenke kanala bušotine odnosno na ležište. Zahtjev Norsok standarda je osiguravanje bušotine s minimalno dvije barijere, primarnom i sekundarnom. Primarna barijera je u stalnom kontaktu s ležišnim fluidom gdje svojim svojstvima ostvaruje protutlak na ležište. U slučaju da primarna barijera ne obavi svoju zadaću, sekundarna barijera služi kao pomoćna omotnica koja ne dopušta dotok fluida na površinu.

### ***Odabir i konstrukcijska načela barijera***

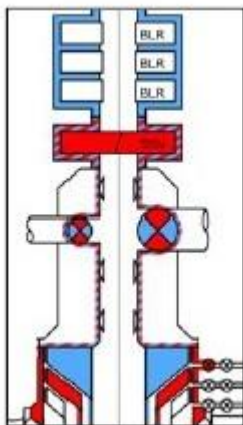
Barijere sa svojim konstrukcijama, odabirom i postavljanjem u bušotinu imaju zadaću:

- izdržati maksimalne diferencijalne tlakove i temperature kojima mogu biti izložene,
- omogućiti ispitivanje na tlak i djelotvornost elemenata,
- osigurati integritet u slučaju kvara jednog elementa ili jedne barijere,
- ponovo uspostaviti izgubljenu barijeru ili uspostaviti alternativnu barijeru,
- djelovati u području ležišta cijeli ciklus bušotine,
- odrediti mehanička svojstva, lokaciju i status ležišta,
- biti neovisne na način da kvar jednog elementa ne izaziva direktni kvar na drugom.

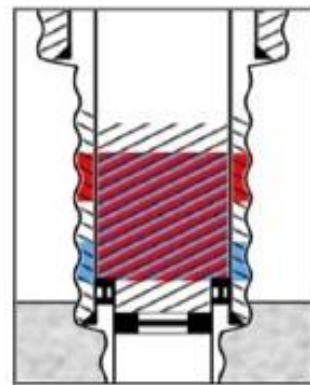
### ***Zajednička barijera***

Za pojedine bušotinske aktivnosti, nije moguće uspostaviti dvije neovisne barijere, već je potrebna njihova kombinacija u zasebnu cjelinu s izmijenjenim svojstvima. Kada se zajednička barijera upotrebljava, provodi se nova analizu i mjere za umanjivanje potencijalnih rizika. Njihova upotreba zahtijeva dodatnu primjenu sigurnosnih mjera i kriterija prihvatljivosti prilikom ocjene i nadziranja.

Prvim primjerom su prikazani bočni ventili erupcijskog uređaja kao zajednička barijera, tijekom održavanja bušotine, tj. bočni ventil ima svojstva primarne i sekundarne barijere. Drugi primjer zajedničke barijere predstavlja cementni čep u cementiranoj zaštitnoj cijevi.



Slika 2. 3. Zajednička barijera: krilni ventili (Norsok Standard D-010, 2013.)



Slika 2. 4. Zajednička barijera: cementni čep (Norsok Standard D-010, 2013.)

## 2.3 Operativni postupci

Organizacijski i tehnički postupci prethode operativnim, gdje postavljanje uvjeta, projektiranje i filozofija dvostruke barijere predstavljaju temelj za provedbu operacije u bušotini koji će biti detaljnije opisani u narednom poglavlju. Operator je dužan uspostaviti kriterije za pojedine elemente izložene dinamičkim promjenama i njihovo nadziranje za moguće hazardne situacije. U slučaju kvara ili otkazivanja barijere, trenutne aktivnosti se prekidaju i pristupa se obnovi ili zamjeni degradirane barijere da do spomenutih situacija ne dođe, pristupa se ispitivanju i analizi elemenata barijera.

### 2.3.1 Ispitivanje elemenata barijera

Po završetku postavljanja statičnih elemenata barijera u bušotinu, integritet elemenata je potrebno verificirati ispitivanjima pomoću narinutog tlaka s kojim se ostvaruje diferencijalni tlak na elemente opreme. Za dinamičke elemente, tj. podzemnu i površinsku opremu, koji zahtijevaju aktivaciju fluidom, tlakom ili mehaničkim djelovanjem, potrebno je ispitati i njihovu djelotvornost. Naknadna verifikacija elemenata se provodi u slučaju promjene trenutnog stanja elemenata i promjene opterećenja elementa koje utječe na nadolazeće operacije.

#### *Ispitivanje elemenata na tlak*

Operacije bušenja, opremanja i održavanja zahtijevaju primjenu niskog i visokog tlaka ispitivanja. Niski tlak ispitivanja se provodi prije ispitivanja visokim tlakom i podrazumijeva petominutno jednolično ispitivanje narinutim tlakom od 15 do 20 bar na pojedine elemente. Ispitivanje visokim tlakom ima za cilj provesti deset minutno ispitivanje s najvećim dopuštenim očekivanim diferencijalnim tlakom kojem će element barijere biti izložen. Dopušteno propuštanje treba biti jednako nuli, osim ako nije navedeno drukčije, a smjer ispitivanja se izvršava u smjeru protjecanja.

#### *Ispitivanje elemenata i barijera se provodi:*

- prije izlaganja diferencijalnom tlaku nadolazeće operacije,
- nakon zamjene ograničavajućih komponenata elemenata barijere,
- u slučaju sumnje na propuštanje elementa,



- kada će element biti podvrgnut većem opterećenju nego izvorno testiranom,
- ukoliko je element slučajno bio izložen tlaku većem nego izvorno testiranom i
- periodično, prema preporukama proizvođača elementa.

### ***Ispitivanje djelotvornosti***

Ispitivanje elemenata na djelotvornost, koji zahtijevaju aktivaciju, se provodi:

- prije postupka instalacije opreme, podzemne i nadzemne,
- nakon postupka instalacije opreme,
- ukoliko je element podvrgnut abnormalnim opterećenjima,
- nakon postupka popravka opreme i
- periodično, prema preporukama proizvođača.

### ***Dokumentacija ispitivanja na tlak i djelotvornost***

Ispitivanja potrebna za uspostavu integriteta bušotine potvrđuju i dokumentiraju osobe odgovorne za mjerodavnu operaciju. Podaci koji se trebaju nalaziti u dokumentaciji ispitivanja na tlak ili djelotvornost su prikazani u tablici 2 - 1.

Tablica 2 - 1 Dokumentacija ispitivanja barijera (Norsok Standard D-010, 2013.)

Podaci	Ispitivanje tlakom	Ispitivanje djelotvornosti
Naziv lokacije i bušotine	+	+
Odgovarajuće mjerilo testa	+	
Vrsta testa	+	+
Diferencijalni tlak	+	
Ispitivanje fluida	+	
Ispitivanje sustava/komponenta	+	
Procijenjen tlačni i obujamski sustav	+	
Utiskivanje i ispuštanje fluida	+	
Period i datum ispitivanja	+	+
Procjena trajanja ispitivanja	+	
Promatranje trenda promjene tlaka i protoka	+	
Kriterij prihvatljivosti elemenata	+	+
Rezultati ispitivanja	+	
Potrebno vrijeme za aktivaciju i prekidanje rada ventila		+

### *Nadziranje elemenata barijera*

Učestalost i metode nadziranja elementa barijere, koji utječu na sprječavanje utoka fluida u bušotinu, potrebno je definirati i dokumentirati za pojedinu operaciju. Kontrola razine fluida u bušotini, kada je fluid primarna barijera. Tlak u prstenastom prostoru je potrebno kontinuirano nadzirati, a opremu za nadziranje se kontrolira i kalibrira. Slučajevi u kojima je barijera oslabljena, ali i dalje djeluje u dozvoljenim granicama, potrebno je kontinuirano dokumentirati, grafički naznačiti i sigurnosno potvrditi.

Tablica kriterija prihvatljivosti elemenata je potrebna za svaki pojedini element u barijeri. Opći tehnički i izvedbeni zahtjevi kao i smjernice vezane za elemente barijera su naznačeni u tablici i mjerodavni su za sve operacije u bušotini. Bitno je za spomenuti da kriterij prihvatljivosti i prijedlozi u tablici ne služe za zamjenu tehničkih i operativnih zahtjeva operatera već imaju svrhu odabira i instalacije elemenata.

Tablica 2 - 2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijere (Norsok Standard D-010, 2013.)

Značajke	Kriterij prihvatljivosti	Veza
A: Opis	Opis elementa barijere	
B: Uloga	Prikaz osnovne svrhe elementa barijere	
C: Dizajn, konstrukcija i odabir	<p>a) za elemente konstruirane i izrađene na terenu; isplaka, cement:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kriterij maksimalnih opterećenja i djelotvornosti za period korištenja element</li> <li>-zahtjevi izrade elemenata i referiranje na normative</li> </ul> <p>b) za prethodno izrađene elemente; ventili, pakeri:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-usmjerenost na proučavanje i odabir parametara sa ciljem odabira pravilne opreme i postupka ugradnje</li> </ul>	Naziv referentnih normativa
D: Početno ispitivanje i potvrda	Opis načina ispitivanja i potvrđivanja elementa barijere kako bi se ukomponirao i smatrao dijelom omotnice barijere	
E: Način korištenja	Opis pravilnog korištenja elementa barijere kako bi se ostvarila i održala funkcionalnost	
F: Nadziranje, ispitivanje	Opis postupaka za provjeru i potvrđivanje da će element barijere biti nenarušen i ispunjavati zadane kriterije	
G: Zajednička barijera	Opis dodatnih kriterija ukoliko se korištena barijera smatra zajedničkom	

## 2.4 Rukovođenje podacima

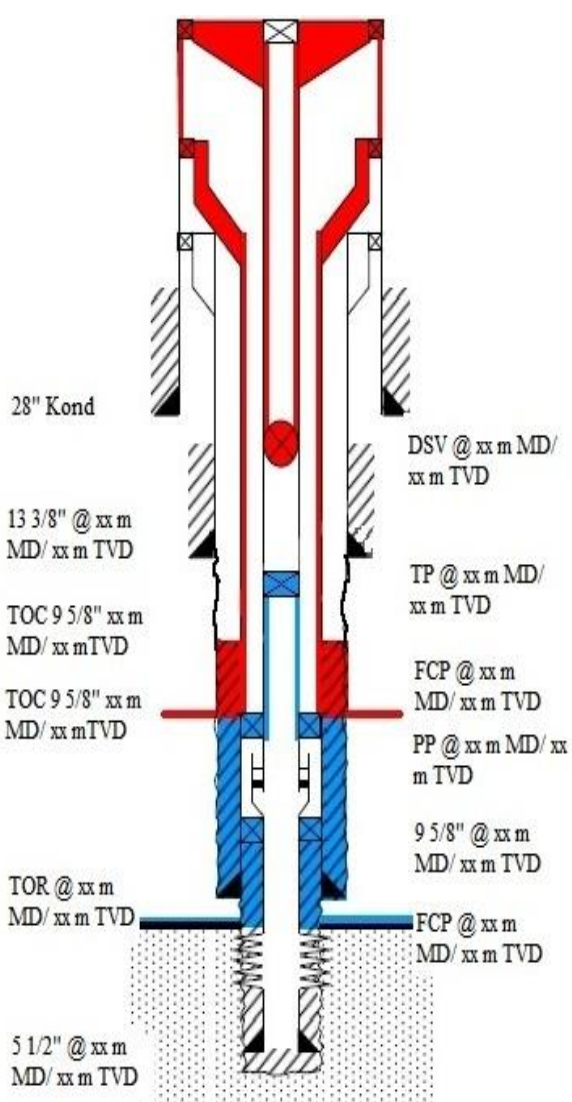
Prikupljanje, dokumentiranje, primopredaja i arhiviranje informacija i podataka je potrebno adekvatno odraditi. Ograničenje ili kriterij je potrebno identificirati i zapisati od postupka dizajna barijera do operativnih postupaka u bušotini. Operaterima je dostupnost podataka, ograničenja i kritičnih parametara elemenata, potrebna za zadovoljavanje korištenih standarda. Primjer općeg shematskog prikaza stanja u bušotini je dan shemom barijera prikazanom u tablici 2 - 3, a prikaz u obliku dijagram je prikazan na slici 2. 5.

### *Grafički prikaz barijere*

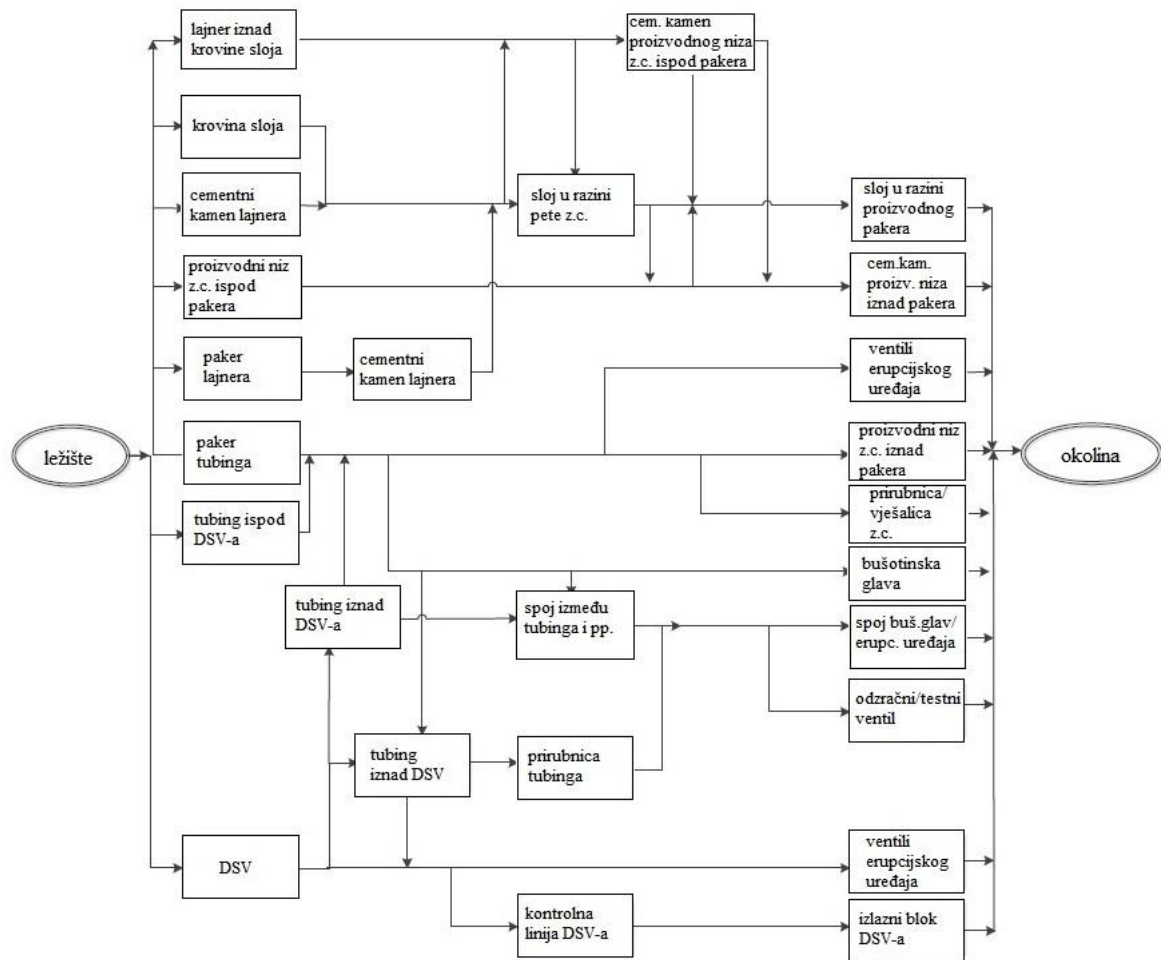
Prikaz barijere je podijeljen na shematski i tablični oblik. Predstavlja važan alat za određivanje pouzdanosti i procjenjivanje rizika. Shematski prikaz barijere prikazuje stanje bušotine i pripadajućih glavnih barijera, gdje je primarna barijera označena plavom, a sekundarna crvenom bojom. Izradu sheme je potrebno provesti prije početka pojedine operacije, u slučaju promjene elemenata i za buduće trajno napuštene bušotine. Shematski prikaz sadržava informacije: grafičkog prikaza elemenata bušotine, podatke o integritetu sloja, tablični prikaz elemenata barijera s referentnim brojem tablice za pojedini element u Norsok D-010 standardu, početnim verifikacijama i zahtjevima nadziranja te odjeljak za dodatne napomene vezane uz anomalije u bušotini.

Tablica 2 - 3 Shematski prikaz barijera (Norsok Standard D-010, 2013.)

Podaci bušotine	Elementi barijere	EAC	Potvrđivanje/ Nadziranje
Područje/ugradnja: Naziv bušotine: Vrsta bušotine: Status bušotine: Maksimalni tlak u bušotini: Revizija broj: Datum izrade/revizije: Izradio: Potvrđeno/odobreno:	<b>PRIMARNA BARIJERA</b>		
	Cem. kam. oko lajner	22	xx m MD CBL
	Lajner	2	PT xx bar s xx ρ
	Paker lajnera	43	PT xx bar s xx ρ
	Formacija	51	FCP xx s xx ρ
	Cementni kamen oko proizvodnog niza z.c.	22	xx m MD, CBL kontinuirano
	Proizvodni niz z.c.	2	PT xx bar s xx ρ kontinuirano
	Paker tubinga	7	PT xx bar s xx ρ
	Tubing	25	PT xx bar s xx ρ kontinuirano
	Ubacujući čep tubinga	6	LT xx bar
	<b>SEKUNDARNA BARIJERA</b>		
	Formacija	51	FCP xx s xx ρ
	Cementni kamen oko proizvodnog niza z.c.	22	xx m MD, CBL kontinuirano
	Proizvodni niz z.c. iznad pakera tubinga	2	PT xx bar s xx ρ kontinuirano
Bušotinska glava	5	PT xx bar dnevno	
Vješalica tubinga	10	PT xx bar povremeno LT xx bar	
Tubing	25	PT xx bar s xx ρ kontinuirano	
DSV	8	LT/PT xx bar povremeni LT	
Napomena:			
Nomenklatura:			
EAC-tablica kriterija prihvatljivosti elemenata barijere			
MD-mjerena dubina; TVD-stvarna vertikalna dubina			
TOR-krovina sloja; TOC-vrh cementnog kamena			
FCP-tlak zatvaranja fraktura; PT-tlak ispitivanja			
CBL-karotaža cementne veze; LT-tlak propuštanja			
DSV-dubinski sigurnosni ventil; PP-paker tubinga; TP-izvlačivi čep u tubingu			



Barijera prikazana pomoću dijagrama, (slika 2. 5.), predstavlja mrežu s mogućim putevima propuštanja fluida iz ležišta u okolinu. Prikaz barijera i mogućih puteva propuštanja je koristan u operacijama poput proizvodnje fluida i u onim situacijama kada je potrebno analizirati raspored elemenata barijera i njihov međusobni utjecaj.



Slika 2. 5. Dijagram barijera (WIF, NTNU & UiS, 2012.)

## 2.5 Analiza integriteta

Analiza integriteta bušotine se provodi upotrebom dostupnih podataka koji imaju za cilj otkriti i ocijeniti učestalost pojave rizika, utjecaj na preostale elemente te kontinuirano poboljšavanje u daljnjim procesima. Za razumijevanje, komunikaciju i analiziranje integriteta potrebno je uključiti sve strane koje su sudjelovale u provedbama operacija. Postupak provedbe analize je naveden u narednim koracima.

### ***Analiziranje elemenata barijera***

U kontekstu integriteta bušotine, metode analize elemenata je potrebno provesti za određivanje i ocjenjivanje uzroka i razmjera kvarova elemenata barijera. Struktura analize elemenata sadrži sljedeće korake:

- definiranje i upoznavanje s trenutnim stanjem u bušotini,
- otkrivanje mogućih kvarova, uzroka i posljedica,
- analizu stabla kvarova i
- pregled rezultata.

### ***Definiranje funkcija barijera***

Za razumijevanje otkazivanja cjelokupnog sustava barijera potrebno je razlikovati: osnovne, informacijske i zaštitne funkcije barijera.

Osnovne funkcije barijere odgovaraju razlogu njihova postavljanja, tj. služe za odjeljivanje ležišnog fluida od okoline. Gubitak ove funkcije predstavlja moguće puteve propuštanja u okolinu.

Informacijske funkcije pružaju informacije o stanju i trenutnom statusu barijera, poput položaja protupovratnog ventila ili tlaka u bušotini. Gubitak informacijske funkcije daje nepotpune ili netočne podatke o svojstvu elementa barijere.

Zaštitne funkcije barijere su ukomponirane u elektro-programibilnu opremu s ciljem sprječavanja njihovog otkazivanja kao što je gubitak električne energije koji utječe na rukovanje ventilima. Gubitak zaštitne funkcije dovodi do pojave rizičnih situacija za cjelokupni sustav barijera.

### ***Procjena rizika***

Procjena rizika integriteta bušotine se provodi za svaku operaciju u bušotini, a razlozi kvara primarne te dostupnost i djelotvornost sekundarne barijere se uvrštavaju u analizu rizika. Ukoliko barijera ne djeluje svojim cjelokupnim opsegom, procjena rizika za takvo stanje treba biti provedena i sastojati se od sljedećeg:

- uzrok degradacije barijere,
- kvantitativni potencijal eskalacije degradirane barijere,
- pouzdanost i slučajevi kvara elemenata primarne barijere,
- dostupnost i pouzdanost elemenata sekundarne barijere,
- okvirni plan popravka ili zamjene degradirane barijere ograničen vremenskim i tehničkim uvjetima.

### ***Otkrivanja i analiza kvarova - procjena pouzdanosti sustava***

U trenutku neispunjavanja kriterija djelotvornosti elementa, dolazi do kvara. Kvar elementa predstavlja završetak mogućnosti provedbe tražene funkcije. Okolnosti tijekom proizvodnje ili upotrebe koji su doveli do kvara predstavljaju uzrok kvara. Kvar mehanizma i temeljni kvar se proučavaju FMECA i FTA analizama.

### ***FMECA metoda***

FMECA metoda (otkrivanje mogućih kvarova, uzroka i posljedica) podrazumijeva intuitivni i strukturirani pristup analizi kvara elementa barijere te odgovara na sljedeća pitanja:

- Koji je način gubitka elementa sustava ?
- Koji su ishodišni uzroci kvara ?
- Kako se kvar može prepoznati ?
- Kako se kvar elementa odražava na ostatak sustava ?
- Koji je stupanj opasnosti kvara na ljudstvo, okoliš i opremu ?

Provedba FMECA analize, (tablica 2 - 4), se sastoji od pripreme i provedbe postupka. Priprema analize obuhvaća odabir relevantne osobe, podatke vezane za razmatrani problem i dodatne informacije o kvaru u obliku prethodnih sličnih situacija i iskustava odgovornih osoba. Provedba se sastoji od: definiranja granica i komponenata koje je potrebno uvrstiti ili izostaviti iz analize zbog prekomjernog grananja rješenja; definiranja i opisivanja svrhe sustava; raščlambe na podsustave s ciljem određivanja elemenata; definiranja utjecaja između podsustava i od ispunjavanja i predaje rezultata.



Tablica 2 - 4 FMECA tablica (WIF, NTNU & UiS, 2012.)

Opis stavke			Opis kvara			Posljedice kvara		Učestalost kvara	Rang ozbiljnosti kvara	Mjere za umanjivanje rizika	Komentari kvara
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l

Legenda:

- a) Referentni broj stavke - broj vezan za stavku ili grafički prikaz analizirajuće stavke.
- b) Uloga sustava - predstavlja sveukupni opis zadaće sustava; opisuje aktivnost sustava uz dodatno objašnjenje koliko, kako, do kada se izvršava aktivnost.
- c) Opis operativnog postupka - definicija operativnog postupka ili podpostupaka poput: integritet bušotine je očuvan, integritet bušotine narušen ili izgubljen.
- d) Stanje kvara - način na koji je kvar uzrokovan, odnosi se na stavku u pitanjima na koje FMECA odgovara, npr. kvar ventila može biti nemogućnost zatvaranja, nemogućnost otvaranja.
- e) Uzrok kvara - objašnjenje uzroka kvara; uzrokovan od strane čovjeka ili kvar materijala, korozija, erozija, zamor materijala.
- f) Otkrivenost kvara - otkriven ili ne otkriven, evidentan ili prekriven.
- g) Utjecaj na podsustave - podjela na posljedice koje ne uzrokuju nestabilno stanje sustava i na opasne posljedice koje uzrokuju stvaranje nestabilnog stanja.
- h) Utjecaj na cjelokupni sustav - podjela na posljedice koje ne uzrokuju nestabilno stanje sustava i na opasne posljedice koje uzrokuju stvaranje nestabilnog stanja.
- i) Učestalost kvara - jednom u tisuću godina, jednom u sto godina, jednom u deset godina, jednom godišnje i jednom ili više puta mjesečno.
- j) Rang ozbiljnosti kvara - ne degradira ukupne performanse izvan prihvatljivih granica, degradira ukupne performanse izvan prihvatljivih granica, degradiranje sustava izvan prihvatljivih granica s mogućom posljedicom ozljede ili smrt, kvar izravno dovodi do ozbiljnih ozljeda i smrti i nemogućnosti provedbe planiranog.
- k) Mjere za umanjivanje rizika - se dijele na mjere koje mogu spriječiti kvar i na mjere koje umanjuju rang ozbiljnosti kvara.
- l) Komentar - dodatni komentar kvara izvan opsega predloženog.

### ***Analiza stabla kvarova - FTA***

Analiza stabla kvarova je grafički model kojim je prikazan opseg kombinacija kvarova koji mogu dovesti do kvara u sustavu. Deduktivna grafička analiza kvara u kojoj se neželjeno stanje - kvar u sustavu postavlja na vršnu poziciju te postavljajući upit: "Zašto se pojedini kvar u sustavu događa", daje odgovor i uključuje podsustave koji su također podvrgnuti istom upitu. Analiza stabla kvarova uključuje glavne stavke:

Vršni događaj - detaljno objašnjava kvar sustava i odgovara na pitanja:

- Što predstavlja kvar sustava ? (prodiranje fluida u okolinu)
- Gdje se nalazi pozicija pojavljivanja kvara ? (na bušotinskoj glavi)
- Kada se pojavio kvar ? (nakon ugradnje)

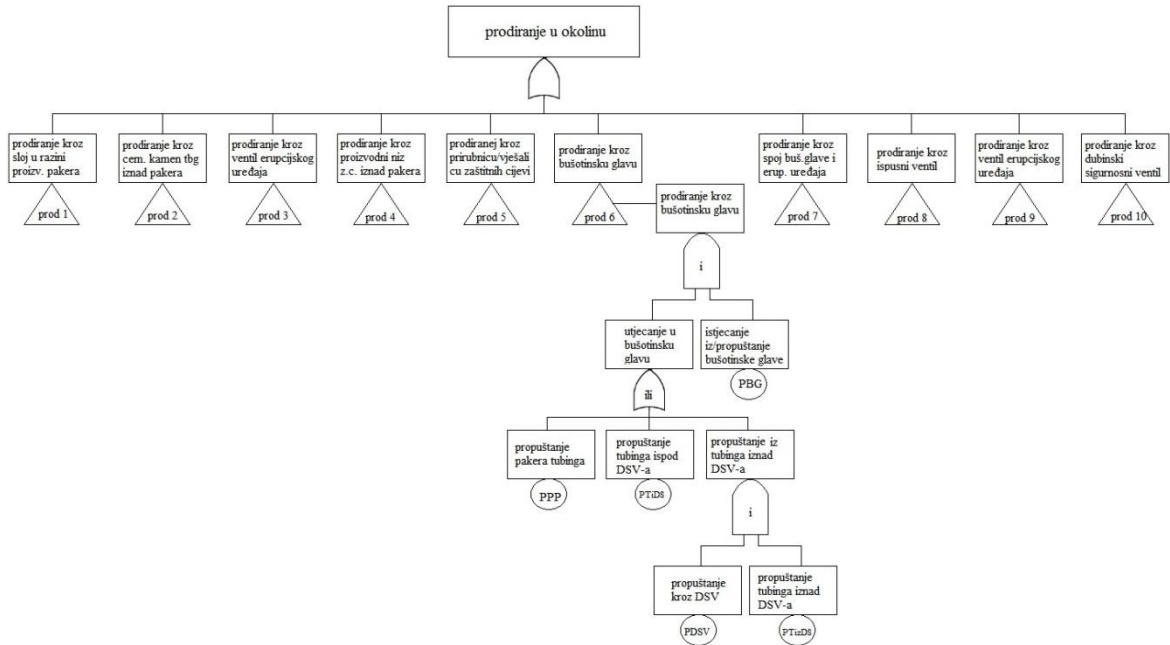
Logička vrata:

- ili - definiraju ostvarenje događaja ukoliko se ostvari jedan ili drugi zahtjev,
- i - definiraju ostvarenje događaja ukoliko se ostvari i prvi i drugi zahtjev.

Osnovni događaj - zaključuje razvoj analize kao najniži stupanj događaja koji može uzrokovati kvar sustava.

Grafički prikaz analize stabla kvarova na slici 2. 6., je konstruiran na temelju dijagrama barijera prikazan na slici 2. 5. Događaji, osnovni i izlazni, su prikazani pravokutnicima a alfanumerička oznaka u kružnici ispod pravokutnika predstavlja kraticu stanja. Trokut vezan za osnovni događaj predstavlja mogućnost dodatnog grananja analize.

Bazirajući se na primjer dijagrama barijera, vršna pozicija predstavlja prodiranje fluida u okolinu a deset mogućih puteva protjecanja do okoline je naznačeno pravokutnicima. Vršni događaj je povezan logičkim vratima "ili" s deset mogućih puteva protjecanja i označava da ukoliko jedan od puteva propušta, ostvareno je neželjeno prodiranje fluida u okolinu. Dodatna razrada jednog od puteva, dotok fluida u bušotinsku glavu, se prikazuje, gdje trokut pridružen pravokutniku definira da će protjecanje fluida kroz bušotinsku glavu biti ostvareno ukoliko sama bušotinska glava propušta "i" ukoliko postoji utok u bušotinsku glavu. Daljnja razrada utoka se svodi na dodatne moguće puteve utoka u bušotinsku glavu. Razvoj analize stabla kvarova se provodi i za ostale potencijalne puteve prodiranja.



Slika 2. 6. Grafički prikaz analize stabla kvara (WIF, NTNU & UiS, 2012.)

Prednosti analize su:

- analiziranje svih potencijalnih položaja prodora u barijeri,
- mogućnost korištenja i razumijevanja većine osoblja te
- mogućnost kvantitativne i kvalitativne analize.

Mana analize je sljedeća:

- veličina i opsežnost grafičkog prikaza dovodi do težeg snalaženja.

### **3 BARIJERE POJEDINIH OPERATIVNIH SITUACIJA**

Uvjeti, projektiranje i princip dvostruke barijere su temelj za provedbu operacija u bušotini. Ugradnja i korištenje mehaničkih barijera tj. opreme ima za svrhu spriječiti dotok fluida i ne dopustiti da kvar elementa primarne barijere neposredno uzrokuje gubitak sekundarne barijere tj. cjelokupnog integriteta bušotine. Oprema korištena pri izradi, opremanju i održavanju se projektira da istodobno omogućava izvedbenu sposobnost barijere i sigurno izvršavanje te zadaće poštivanjem dopuštenih kriterija opreme i nadležnog standarda. Norsok D-010 standard definira zahtjeve za integritet bušotine i to za pojedinu operaciju, te je upotpunjen tablicama o dozvoljenom korištenju barijera. Tablice su definirane tehničkim i operativnim zahtjevima koje je potrebno ispuniti kako bi se pripadajućoj barijeri potvrdila temeljna namjena. Osnovno pravilo svih postavljenih barijera nalaže da dizajn barijera mora izdržati sva očekivana i moguća opterećenja kojima će biti podvrgnuta tijekom normalnih operacija i tijekom izvanrednih situacija. Prilikom projektiranja bušotine i budućih elemenata barijera, posebno usmjerenje također treba biti na činjenici da se pojedine barijere ne koriste samo prilikom jedne operacije nego tijekom cijelog životnog vijeka bušotine. Cementni kamen, zaštitne cijevi i preventerski sklop su osnovne barijere korištene u cjelokupnom procesu i zahtijevaju detaljniju provjeru na tlak i djelotvornost.

#### **3.1 Barijere pri izradi bušotine**

Postupak izrade bušotine se odvija do trenutka dosezanja projektirane dubine tj. završava pripremanjem za operacije opremanja, testiranja ili napuštanja bušotine. Tijekom procesa bušenja, definicija integriteta se ponajviše povezuje s održavanjem nabušenih formacija pod kontrolom i s osiguravanjem pravilnog odabira zaštitnih cijevi obzirom na djelujuće sile. Ostvarivanje protutlaka na nabušene formacije ostvaruje se bušotinskim fluidom tj. ekvivalentnom gustoćom isplake koja predstavlja jedini element primarne barijere. Sekundarnu barijeru čine: formacija oko kanala bušotine, cementni kamen prstenastog prostora, proizvodne zaštitne cijevi i pripadajuća vješalica, bušotinska glava, podvodna stojka i preventerski sklop s pripadajućim brtvenim i odreznim sklopovima.

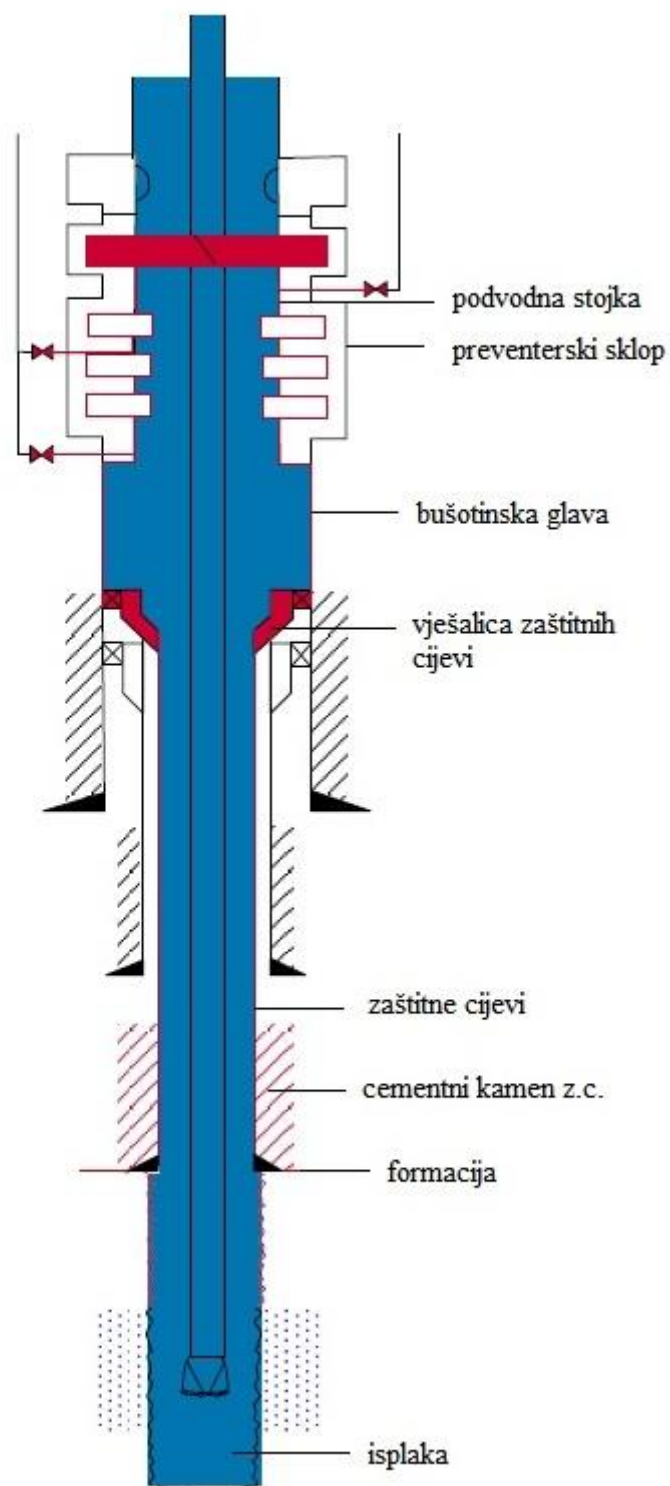
### 3.1.1 Kriterij prihvatljivosti barijera tijekom izrade kanala bušotine

Kriterijem prihvatljivosti primarnih i sekundarnih barijera u postupku izrade bušotine se definiraju sljedeći zahtjevi i smjernice:

- početno bušenje za usmjerivač i uvodnu kolonu se provodi uz jedinu barijeru, isplakom;
- prije dosezanja slojeva s povišenim tlakom potrebno je ugraditi uvodnu kolonu i preventerski sklop;
- navođenje opreme unutar kanala se osigurava upotrebom minimalno dva elementa barijera kako bi cirkulacija isplake bila nesmetana.

### 3.1.2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijera

U nastavku su prikazani pojedini elementi i shematski prikaz barijera korištenih u procesu izrade bušotine. Elementi su definirani i objašnjena je njihova primarna zadaća, konstrukcijska rješenja, provedba ispitivanja i potvrđivanja djelotvornosti, način upotrebe elementa i nadziranje.



Slika 3. 1. Grafički prikaz barijera prilikom bušenja (Norsok Standard D-010, 2013.)

### ***Isplaka pri izradi bušotine***

Osnovna zadaća isplake kao primarne barijere je ostvarivanje hidrostatičkog tlaka u bušotini, tj. ostvarivanje protutlaka na nabušene slojeve sprječavajući utok. Isplaka mora zadovoljiti niz kriterija vezanih za sigurnu upotrebu. Hidrostatički tlak, zajedno sa sigurnosnom marginom, ne smije nadmašiti tlak razdiranja stijena; svaku promjenu reoloških svojstava je potrebno dokumentirati i naznačiti u shematskom prikazu; gustoća isplake mora ostvarivati suspendirajuća svojstva, čak i kada je dulje vrijeme izložena mirovanju a sve promjene tlaka bušotine izazvane spuštanjem i izvlačenjem šipki i cirkulacijom isplake ekvivalentne gustoće je potrebno dokumentirati i uključiti u kriterij sigurnosne margine. Inicijalna ispitivanja nalažu potrebu za stabilnom razinom fluida u bušotini, a svojstva isplake trebaju biti unutar projektiranih zadanih granica za pojedinu bušotinu. Upotreba isplake objašnjava postupak rukovanja njenim svojstvima. Unaprijed je potrebno zadati dozvoljene vrijednosti gubljenja isplake u slojeve te materijal kojim će se takav postupak umanjiti. Parametri potrebni za ponovno uspostavljanje fluida kao primarne barijere je potrebno sistematično objasniti i dokumentirati. Postupak nadziranja uključuje praćenje: razine fluida u bušotini, brzine protjecanja, deset minutne kontrole protoka, kontrole razine u isplačnim bazenima, korištene gustoće i reoloških svojstava koje se uspoređuje sa zadanim vrijednostima svakih dvanaest sati.

Isplaka se za proces izrade bušotine nadopunjava i dodatnim kriterijima. U slučaju dosezanja sloja s većim tlakom od trenutnog hidrostatičkog tlaka isplake, potrebno je definirati mjere za umanjivanje rizika. Umanjivanje vjerojatnosti dotoka se ostvaruje zamjenom postojeće i korištenjem nove otežane isplake koja sa svojim svojstvima djeluje na zone povišenog tlaka. Unaprjeđivanje pouzdanosti trenutne isplake se postiže postavljanjem izolacijskog cementnog čepa i postavljanjem dvostrukih odreznih čeljusti kao dodatne sigurnosti.

### ***In situ formacija***

Nabušeni dio formacije smješten nasuprot izolacijskog materijala, pete kolone zaštitne cijevi ili cementnog čepa, sa zadaćom osiguranja trajne i nepropusne brtveće zone. Konstrukcijska rješenja prilikom izrade bušotine se baziraju na odabiru formacije kao sekundarne barijere, pod uvjetom da ispunjava sljedeće: nepropusnost na dozvoljavanje utoka fluida; odmak od susjednih propusnih zona i budućih zona utiskivanja, koji ne dozvoljava međusobnu komunikaciju i utjecanje; nadvladavanje maksimalnog narinutog

tlaka u bušotini; nepromijenjenost svojstava sloja, trošenje, kompakcija, razdiranje tijekom vremena; povezanost s vanjskim promjerom zaštitnih cijevi. Inicijalno ispitivanje i potvrda integriteta formacije se određuje ispitivanjem propuštanja naslaga - LOT test. Tijesna povezanost formacije i kolone zaštitnih cijevi te vremenski zavisna deformacija - puzanje čestica stijena pod djelovanjem sile gravitacije, stvaraju dodatni nepropusni hidraulički brtveni prostor.

### ***Cementni kamen oko zaštitnih cijevi***

Detaljnije razrađen kriterij prihvatljivosti cementiranja i svojstva cementnog kamena u operacijama bušenja je rezultat nesreće u Meksičkom zaljevu poluuronjive platforme Deepwater Horizont.

Cementni kamen je definiran kao cement u krutom stanju, smješten koncentrično u prstenastom prostoru između stijenki kanala i zaštitnih cijevi ili dviju kolona zaštitnih cijevi. Svrha cementnog kamena je osigurati kontinuirani, stalni i nepropusni brtveni kontakt duž cijelog kontakta cementnog kamena i formacije/zaštitnih cijevi kako bi se: spriječilo prodiranje ležišnog fluida, oduprijelo djelovanju tlaka u uzdužnom smjeru i kako bi se osiguralo strukturalno podupiranje zaštitnih cijevi. Za ostvarivanje navedenog potrebno je laboratorijski ispitati suhe sastojke cementne kaše. Ispitivanjem se dobivaju podaci stvrdnjavanja i tlačne čvrstoće cementnog kamena. Svojstva postavljenog cementnog kamena su nužna za ostvarivanje: trajne zonske izolacije, učvršćivanje niza zaštitnih cijevi i temperaturnu nepromijenjenost.

Radi zahtjeva trajne postojanosti u bušotini, navedene su planirane visine podizanja cementne kaše tj. visine cementnog kamena iznad pete kolone zaštitnih cijevi. Opći pristup nalaže da je visina iznad pete minimalno 100 metara. Usmjerivač tj. konduktor kolona se cementira ovisno o zahtjevima strukturnog integriteta formacije. Uvodna kolona zaštitnih cijevi se cementira na način da u potpunosti popunjava prstenasti prostor do ušća bušotine. Proizvodnu zaštitnu kolonu se cementira s minimalnom visinom 200 metara iznad pete. Ukoliko se proizvodna kolona ili lajner nalaze u proizvodnom sloju, minimalna visina cementiranja je također 200 metara, ali od razine utoka fluida.

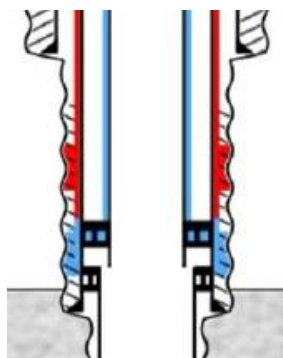
Nakon protiskivanja do projektirane visine, na cementnu kašu se ne smije utjecati sve dok ne postigne dostatnu tlačnu čvrstoću, prethodno laboratorijski ispitanu sa sigurnosnim faktorom. Brtveće sposobnosti cementnog kamena na i ispod razine pete kolone zaštitnih



cijevi se potvrđuju ispitivanjem integriteta formacije tako da se u zatvorenu bušotinu, utiskuje isplaka konstantnom brzinom do trenutka postizanja ispitnog tj. dizajniranog tlaka. Takvo ispitivanje se provodi kako bi se potvrdilo da isplaka veće gustoće koja će se koristiti u daljnjem bušenju neće izazvati lom raskrivenih i probušenih stijena. Visine cementnog kamena se ispituju karotažnim mjerenjima te uspoređivanjem simulacijskog i stvarnog volumena utisnute i istisnute cementne kaše.

Cementni kamen će se ispitati i nositi naznaku kritičnog u slučajevima kada je: proizvodni niz zaštitnih cijevi ili proizvodni lajner postavljen u područje utoka fluida, cementni kamen istodobno primarna i sekundarna barijera za proizvodni niz zaštitnih cijevi ili proizvodni lajner, tlak utiskivanja u bušotinu iznad tlaka krovine pripadajuće formacije.

Stvarne visine cementnog kamena u prstenastom prostoru, kao kvalificirane barijere su također definirane ukoliko je: visina cementnog kamena iznad moguće razine utoka fluida; visina cementnog kamena iznosi 50 metara, a mjerenje je ostvareno usporedbom simulacijskog i stvarnog utisnutog volumena te 30 metara ukoliko je ispitivanje ostvareno karotažnim mjerenjem. Uz navedene visine, integritet formacije treba imati vrijednost iznad maksimalnog očekivanog tlaka na razini promatranog intervala. Isti cementni kamen će se definirati i kao primarna i sekundarna barijera ukoliko visina intervala cementnog kamena iznosi 2 puta 30 metara mjerene dubine potvrđene karotažnim mjerenjem povezanosti. Nadziranje tlaka na površinskim manometrima se provodi kontinuirano ukoliko trenutni uvjeti dopuštaju. Cementni kamen se ne upotrebljava kao zajednička barijera, nego može biti i primarna i sekundarna barijera ukoliko su one međusobno neovisne.



Slika 3. 2. Cementni kamen u svojstvu primarne i sekundarne barijere (Norsok Standard D-010, 2013.)

### ***Kolona zaštitnih cijevi***

Zaštitne cijevi, poput cementnog kamena, predstavljaju sekundarnu barijeru izloženu opterećenjima od postavljanja do napuštanja bušotine. Ostvarivanje optimalnih parametara se postiže odabirom zadovoljavajućeg unutarnjeg i vanjskog promjera, izborom kvalitete materijala, debljine stijenke i tipova navojnih spojeva. Primarni izbor uzima u obzir otpornost cijevi na gnječenje, rasprskavanje i na vlačna opterećenja, a kao sekundarni kriterij se navode: naprezanje zbog savijanja u otklonjenim kanalima i tlačna naprezanja u aksijalnom smjeru prilikom aktiviranja pakera. Kolona se sastoji od samih zaštitnih cijevi i lajnera ili tubinga u slučaju da se tubing koristi za operacije bušenja i opremanja. Zadaća zaštitnih cijevi kao elementa sekundarne barijere je osigurati izoliranost koja sprječava dotok i utiskivanje fluida u prostor oko zaštitnih cijevi. Opći pristup konstrukcije zaštitnih cijevi nalaže sljedeće: kolone zaštitnih cijevi zajedno sa spojevima trebaju biti konstruirane na način da se odupru svim očekivanim i potencijalnim opterećenjima tijekom procesa kontrole tlaka i da su kompatibilne s dodirnim fluidima, sve slučajeve opterećenja je potrebno dokumentirati i svi spojevi izloženi ležišnom fluidu moraju biti plinotjesni.

Ispitivanje se provodi maksimalnim diferencijalnim tlakom, a ponovno testiranje na propusnost se provodi za neposredno nabušene cementirane zaštitne cijevi tlakom primanja naslaga. Nadziranje tlakova u prstenastom prostoru između tubinga i proizvodnog niza zaštitnih cijevi se kontinuirano provjerava, a nadziranje se također provodi i za slučaj trošenja unutarnjeg promjera zaštitnih cijevi, kaliperom ili zvučnom karotažom.

### ***Bušotinska glava***

Bušotinska glava predstavlja sklop koji se nalazi između preventerskog sklopa i vrha kolone zaštitnih cijevi. Sastoji se od tijela s anularnim pristupima za pojedinu zaštitnu cijev, ventila, spojeva i vješalice zaštitne cijevi. Glavna zadaća ušća bušotine kao sekundarne barijere je ostvariti mehaničku potporu za sve cijevi oviješene u pripadajućim im vješalicama, spriječiti utok fluida i osigurati spajanje podvodne stojke i erupcijskog uređaja. Radni tlak, tlak kojem je podvrgnut element opreme u normalnim pogonskim uvjetima, pojedinih elemenata bušotinske glave mora nadmašiti maksimalni tlak, tlak utiskivanja plus konstruiran sigurnosni faktor, kojem bušotina može biti izložena. Ispitivanje opreme bušotinske glave, zajedno sa spojevima, ventilima i sklopovima, se provodi do konstruiranog tlaka opreme. Prstenasti prostori se kontinuirano nadziru a manometre na ušću je potrebno kalibrirati i ispitivati. Ispitivanja je potrebno provesti i

zbog mehaničkih promjena poput vibriranja, trošenja i habanja i to prvi put za jednu godinu korištenja, a nakon toga, kada se god primijeti mehanička promjena.

### ***Podvodna stojka***

Definirana je kao sklop sastavljen od podvodne stojke te spojeva koji spajaju bušaći preventerski sklop s bušotinskom glavom. Omogućava zatvoreni sustav optoka isplake onemogućujući izbacivanje fluida u akvatorij. Tlak konstruiranja cijelog sklopa je definiran kao maksimalni tlak očekivan u bušotini plus sigurnosna margina za gušenje bušotine. Pripadajući spojevi i brtveći elementi moraju bit plinotjesni i otporni na maksimalnu procijenjenu temperaturu i korišteni sustav optoka fluida, te ih je potrebno vizualno ispitati. U slučaju ponovnog postavljanja, potrebno je ponoviti postupak ispitivanja na propusnost.

### ***Preventerski sklop***

U procesu bušenja, sigurnosni uređaj bušaćeg postrojenja za kontrolu slojnog tlaka u bušotini se ostvaruje brtvljenjem njena prstenastog prostora oko kolone bušaćih šipki (kada se one nalaze u bušotini) ili brtvljenjem cijelog kanala bušotine (ukoliko se u bušotini ne nalaze bušaće šipke), dok drugi tip preventera, čeljusni, ima svojstvo odreza i brtvljenja bušaće šipke koja prolazi kroz njega te ujedno predstavlja i zadnji element sekundarne barijere, tj. zaštitu od erupcije slojnog fluida iz bušotine. Tipična konstrukcija preventerskog sklopa se sastoji od: gornjeg prstenastog preventera, hidrauličke spojnice, podvodnih kontrolnih razvodnika, vodova za prigušivanje i gušenje bušotine, donjeg prstenastog preventera, čeljusnih preventera za odrez (puni profil, prstenasti prostor i podesivog promjera) te samozatvarajuće hidrauličke spojnice. Glavna zadaća hidrauličke spojnice je spriječiti protok fluida iz kanala u okoliš, i osigurati mehanički spoj između preventerskog sklopa i bušotinske glave. Svrha preventera kao sekundarne barijere je posjedovanje mogućnosti potpunog zatvaranja i brtvljenja bušotine sa ili bez opreme u preventerskom sklopu.

Konstruktivski kriterij preventerskog sklopa su detaljno pojašnjeni, API Spec 53, API Spec 16 RCD, ISO 13533 i Norsok D-001 normativima, pošto sklop predstavlja posljednji element zaštite bušotine od erupcije. Analizu rizika je potrebno provesti kako bi se omogućila relevantna konfiguracija sklopa za pojedino područje te takva analiza uključuje:

poziciju i položaj čeljusti preventera i linije za prigušivanje i gušenje, mogućnost vješanja šipki i njihovo centriranje prije samog postupka odreza te dodatni par odreznih čeljusti.

Tlak kojem je podvrgnut element preventerskog sklopa u normalnim pogonskim uvjetima mora premašiti maksimalni apsolutni tlak koji se očekuje u bušotini plus margina za gušenje bušotine. Potrebno je ostvariti i dokumentirati da odrezne i brtvene čeljusti mogu odrezati bušaće šipke, tubing, električni vod, savitljivi tubing i omogućiti potpuno brtvljenje bušotine. U slučaju korištenja opreme koju nije moguće odrezati čeljustima, potrebno je da se u sklopu nalazi minimalno jedan čeljusni ili prstenasti preventer s mogućnosti brtvljena oko takve opreme. U slučaju korištenja sužavajućih šipki, potrebno je posjedovati varijabilne čeljusti koje će omogućiti zahvaćanje. Za slučaj dubokog akvatorija: preventerski sklop mora sadržavati dva anaularna preventera tako da su jedan ili oba dio donjnjeg sklopa podvodne stojke, nužno je postojanje mogućnost ispuštanja tlaka plina zarobljenog ispod preventera, opterećenje na savijanje prirubnica i konektora treba podnijeti maksimalnu vrijednost izazvane otklonom sklopa podvodne stojke. S palube platforme je nužno osigurati mogućnost odreza i nakon toga potpunog brtvljenja zaštitne cijevi. Početno ispitivanje opreme se ostvaruje vizualnim pregledom tijekom postavljanja i uklanjanja, a postupak i učestalost nadziranja preventerskog sklopa je prikazan tablicom 3 -1.

Tablica 3 - 1 Postupak i učestalost ispitivanja preventerskog sklopa (Norsok Standard D-010, 2013.)

Učestalost	Temelj ispitivanja	Prije početka bušenja za novu kolonu		Neposredno prije ispitivanja bušotine	Period ispitivanja		
		Uvodna kolona	Dublje kolone/lajner		Tjedno	Svaki 14 dana	Svaki 6 mjeseci
Prstenasti preventer	WDP <sup>1</sup>	Funkcija	SDP <sup>1</sup>	WDP <sup>1</sup>	Funkcija	SDP <sup>1</sup>	WP*0.7
Čeljusti za cijevi	WDP <sup>5</sup>	Funkcija	SDP	WDP	Funkcija	SDP	WP
Čeljusti za odrez	WDP	Funkcija	SDP	WDP	Funkcija <sup>6</sup>		WP
Ventili za prigušivanje i gušenje	WDP	WDP <sup>2</sup>	SDP	WDP	Funkcija	SDP	WP
Hidraulička spojnica	WDP	WDP <sup>4</sup>		WDP		SDP	WP
Sustav zaključavanja čeljusti	Funkcija <sup>3</sup>						
Odrezne čeljusti zaštitnih cijevi	Funkcija	Funkcija	Funkcija	Funkcija			

Legenda:

WP - Radni tlak, (engl. working pressure) - tlak kojem je podvrgnut element opreme u normalnim pogonskim uvjetima

WDP - Tlak bušotine, (engl. well design pressure) - maksimalni tlak očekivan u bušotini

SDP - Tlak pojedine sekcije, (section design pressure) - maksimalni tlak očekivan u bušotini tijekom bušenja

Funkcija - raspored ispitivanja rada potrebno razviti za ispitivanje naizmjeničnih kombinacija upravljačkog pulta i podvodnog kontrolnog razvodnika, i to je minimalno potrebno ispitati po principu: jedan podvodni kontrolni razvodnik jednom tjedno

1 - ili maksimalno 70% od WP

2 - ispitati WDP nizvodno

3 - sustav zaključavanja čeljusti ispitati s ventiliranim zatvorenim čeljusnim sustavom, tijekom tlačnog testiranja čeljusti

4 - za podvodni BOP koristiti nateg prije testiranja na tlak

5 - varijabilne čeljusti potrebno ispitati minimalnim i maksimalnim planiranim vanjskim promjerom cijevi

6 - ukoliko nema kolona bušačkih šipki u preventerskom sklopu

### **3.2 Barijere tijekom opremanja bušotine**

Opremanje bušotine je moguće podijeliti na teoretski i praktični dio. Teoretski dio obuhvaća razmatranja, pretpostavke, postupke i namjene koje započinju već u fazi izrade bušotine jer korištenje opreme, dlijeta i zaštitnih cijevi, definira ograničenja buduće proizvodne opreme s pripadajućim protočnim kapacitetima. Pored utjecaja na proizvodnju, teoretsko opremanje utječe i na: buduće radove na održavanju, proizvodnost, probleme s dubinskom opremom i stoga se smatra najvažnijom operativnom fazom u životnom vijeku bušotine. Praktični dio opremanja podrazumijeva sve radove u bušotini od trenutka kada je izrađena do trenutka puštanja u proizvodnju. Slijed radova započinje nakon ugradnje i cementacije proizvodnog niza zaštitnih cijevi i to: čišćenjem, ispitivanjem hermetičnosti, snimanjem povezanosti cementnog kamena te određivanjem intervala za ispitivanje. Osvajanje bušotine pomoću proizvodne opreme, na kojoj se spušta alatka za perforiranje, predstavlja optimalni način opremanja i osvajanja bušotine kao posljednje faze prije puštanja u proizvodnju.

Specifikacije opreme tj. elemenata barijera korištenih u operacijama opremanja, imaju snažan utjecaj na integritet bušotine, jer upravo oprema, npr. tubing, će biti najdulje i

najviše izložena utjecajima ležišnog fluida. Općenito, tijekom odabira buduće opreme, pažnja se posvećuje stavkama poput: ukupnog trajanja iskorištavanja proizvodnog sloja, svojstava ležišnih fluida, tlaka i temperature. Stoga, detaljan i pravilan izbor opreme i kriterija s obzirom na stanje u bušotini, umanjuju potrebu za budućim intervencijama i operacijama održavanja.

### 3.2.1 Kriterij prihvatljivosti barijera tijekom opremanja kanala bušotine

Svrha kriterija prihvatljivosti je definiranje zahtjeva i smjernica te uspostavljanje barijera, upotrebom pojedinačnih elemenata primarne i sekundarne barijere, kako bi se operacija opremanja izvela prema planu, što je i prikazano u nastavku:

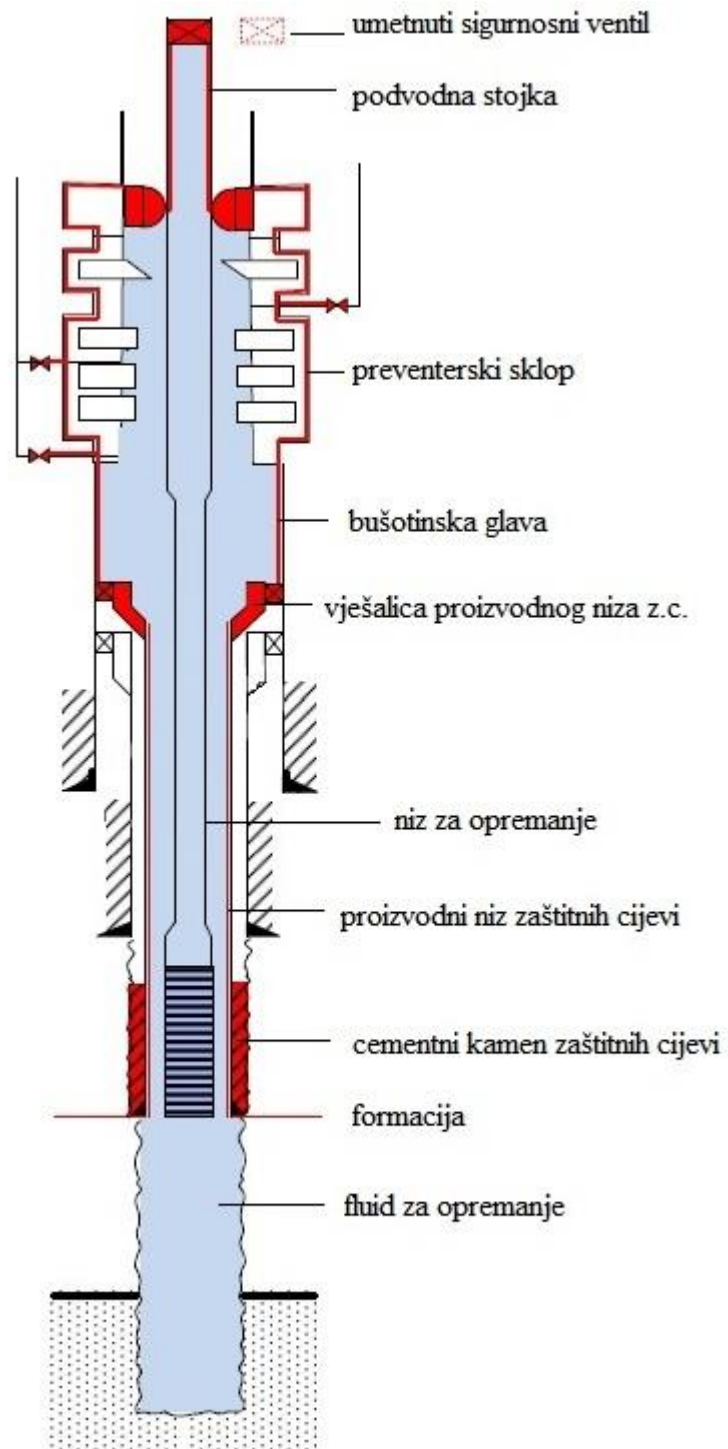
- svi elementi barijera, kontrolne linije i sustavi zatezanja potrebni su ostvariti otpornost prema naprezanjima iz okoline (kemikalije, povišena temperatura i tlak, mehanička istrošenost, erozija, vibracije);
- proizvodne i utisne bušotine je potrebno opremiti erupcijskim uređajem;
- ugradnja dubinskog sigurnosnog ventila u proizvodnom nizu je nužna za sve bušotine smještene u proizvodnom ležištu;
- proizvodne i utisne bušotine je potrebno opremiti prstenastim brtvenim sklopom između tubinga i zaštitnih cijevi, tj. pakerom;
- tlakove u tubingu i okolnom prstenastom prostoru je potrebno kontinuirano nadzirati sustavom zvučnog upozorenja u slučaju prekoračenja zadanih granica.

### 3.2.2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijera

Opis pojedinih elemenata i shematski prikaz barijera tijekom opremanja bušotine te njihova svrha, konstrukcijska rješenja, postupak ispitivanja i potvrđivanja djelotvornosti te nadziranje su objašnjeni u nastavku. Svojstva elemenata barijera definirana za operacije izrade bušotine će vrijediti i prilikom opremanja, a dodatni zahtjevi će biti naznačeni. Zbog raznolikosti aktivnosti opremanja, primarnoj barijeri pripadaju: isplaka, lajner s cementnim kamenom i pakerom, formacija, cementirani proizvodni niz zaštitnih cijevi, tubing s izvlačivim čepom i dubinski sigurnosni ventil. Sekundarnu barijeru mogu sačinjavati: formacija, cementirani proizvodni niz zaštitnih cijevi, vješalica tubinga i tubing iznad dubinskog sigurnosnog ventila, umetnuti sigurnosni ventil, bušotinska glava s ventilima i erupcijski uređaj.

Pored navedenih elemenata, isplaka i preventerski sklop sadrže dodatne zahtjeve i smjernice u odnosu na izradu bušotine. Prilikom opremanja potrebno je na lokaciji osigurati dovoljni volumen isplake, uključujući minimalno 100% volumena kanala bušotine, za održavanje minimalnog propisanog zahtjeva gustoće. Preventerski sklop je potrebno konstruirati tako da ima sposobnost odreza svih vrsta cijevi i brtvljenje bušotine. Ukoliko situacija ne dopušta navedenu izvedbu, treba se osigurati postupcima koji omogućavaju spuštanje niza cijevi ispod preventerskog sklopa i nakon toga zatvaranje preventerskog sklopa i brtvljenje.





Slika 3. 3. Grafički prikaz barijera tijekom opremanja; spuštanje alata kroz BOP (Norsok Standard D-010, 2013.)

### ***Paker lajnera***

Pakeri su izolacijske alatke koje dozvoljavaju proizvodnju fluida kroz tubing i omogućavaju kontrolu tlakova u prstenastom prostoru, između zaštitnih cijevi i tubinga, iznad i ispod brtvećeg elementa pakera. Konstrukcijski pristup pakera lajnera određuje sljedeće: paker i pripadajući mu lajner je potrebno testirati i potvrditi prema ISO 14310:2008 standardu "Pakeri i cementni čepovi"; potrebno je dizajnirati paker na maksimalni diferencijalni tlak (gnječenje i rasprskavanje) i maksimalnu očekivanu temperaturu, a u obzir se uzima svojstvo proizvodnog fluida s mogućim udjelom H<sub>2</sub>S i CO<sub>2</sub>. Paker, kao element barijere nije prihvatljiv za ostavljanje u bušotinama koje će se napustiti. Inicijalna potvrda izvršavanja zadanog se provodi tako da se ispituje na tlak s gornje strane pakera. Za razradne bušotine sustav sa pakerom je potrebno ispitati proizvodnim fluidom i to s vrijednostima: 70 bar iznad tlaka propuštanja na razini pete ili s tlakom koji ne premašuje tlak zaštitnih cijevi. Kontrolirano nadziranje se provodi mjerenjem tlaka, u prstenastom prostoru lajnera i zaštitnih cijevi, na ušću bušotine.

### ***Paker tubinga***

Paker tubinga je izolacijska alatka koja brtvi prstenasti prostor između proizvodne kolone zaštitnih cijevi i tubinga s ciljem sprječavanja komunikacije između sloja i prostora iznad pakera. Pripada elementu primarne barijere jer upravo odjeljivanje zona omogućuje održavanje integriteta. Paker tubinga će se deklarirati kao primarna barijera ukoliko udovoljava jednom od sljedećih zahtjeva: izolira bušotinske fluide i tlakove; odjeljuje proizvodne zone i time onemogućuje njihovu komunikaciju, sudjeluje u određivanju volumena prstenastog prostora. Aktivacija pakera se ostvaruje mehanički, hidraulički ili kombinirano i to tarnim segmentom, klinovima i brtvilom. Dizajn i konstrukcija sklopa pakera se sastoje od brojnih zahtjeva gdje je rečeno da se testiranje i potvrđivanje pakera tubinga provodi prema ISO 14310:2008 standardu "Pakeri i cementni čepovi". Dubina, na kojoj će biti postavljen paker treba biti takva da ukoliko dođe do propuštanja fluida ispod pakera, zadržavanje istog se ostvaruje elementima barijere izvan promjera zaštitnih cijevi, poput formacije i cementnog kamena. Postavljen paker treba izdržati sva moguća naprezanja i onemogućiti oslobađanje nategom ili nasjedanjem, ukoliko drukčije nije navedeno. Tijelo pakera zajedno s brtvećim elementom treba podnijeti maksimalni diferencijalni tlak. Takav tlak nastaje uslijed: ispitivanja na tlak vješalice tubinga, tlaka sloja ili tlaka utiskivanja, zatvaranja tlaka u tubingu - statičkog tlaka plus hidrostatski tlak

fluida iznad pakera umanjen za tlak sloja, tlaka gnječenja uslijed minimalnog tlaka u tubing. Inicijalni test propuštanja pakera se provodi maksimalnim diferencijalnim tlakom u smjeru protoka fluida. U slučaju da nije moguće provesti test propuštanja u smjeru protoka, provodi se ispitivanje u obrnutom smjeru primjenom maksimalnog diferencijalnog tlaka tako da se ostvaruje brtvljenje u oba smjera. Svojstva pakera se ne smiju mijenjati prilikom intervencija u bušotini. Nadziranje brtvenih svojstava se provodi promatranjem tlaka, u prstenastom prostoru tubinga i zaštitnih cijevi, na ušću bušotine.

### ***Tubing***

Tubing kao i kolona zaštitnih cijevi su definirani API Spec 5CT specifikacijama te da bi udovoljile kriterijima moraju: biti odgovarajućih težina po dužnom metru, vanjskih promjera, duljina, debljina stjenki, materijala i specificiranih navojnih spojeva i momenta dotezanja. Brtvljenje spoja se ostvaruje dosjedom metal na metal gdje mazivo popunjava praznine između navoja i prenosi opterećenje s jedne površine na drugu; a upravo brtvljenje igra ulogu u tubing kao elementu barijere. Osnovna zadaća tubinga je omogućiti otvoren prolaz za protok fluida iz ležišta do ušća bušotine te spriječiti komunikaciju s pripadajućim prstenastim prostorom. Pripadajuće komponente tubinga je potrebno konstruirati u skladu s relevantnim ISO standardu i API Spec 5CT specifikacijama. Konstrukcijske karakteristike nalažu da: svi slučajevi opterećenja i najslabije točke sustava trebaju biti definirani i dokumentirani, a minimalni dozvoljeni kriterij opreme definiran s obzirom na temperaturu, koroziju i trošenje. Izbor tubinga se provodi uzimajući u obzir: vlačno i tlačno naprezanje, kriterij gnječenja i rasprskavanja, izvijanje, zazor spojeva, mogućnost instrumentiranja, protočna svojstva, metalurška svojstva kolone u odnosu na abrazivne fluide i utjecaj temperature. Početno ispitivanje se određuje ispitivanjem do maksimalnog tlaka očekivanog u bušotini, a nadziranje tlakova u tubing se ostvaruje očitanjem tlaka na ušću bušotine.

### ***Dubinski sigurnosni ventil***

Podzemni ventil postavljen u tubing sa sigurnosnim mehanizmom koji održava ventil otvoren i dopušta protok fluida, no u slučaju poremećaja, hidrauličkog tlaka koji ga održava otvorenim, dolazi do automatskog zatvaranja i sprječavanja daljnjeg protjecanja kroz tubing. Upravo zbog sposobnosti trenutnog zatvaranja i sprječavanja daljnjeg utoka fluida, dubinski sigurnosni ventil predstavlja jedan od najvažnijih elemenata barijere i integriteta bušotine. Zatvaranje je također moguće ostvariti i kontroliranjem s površine

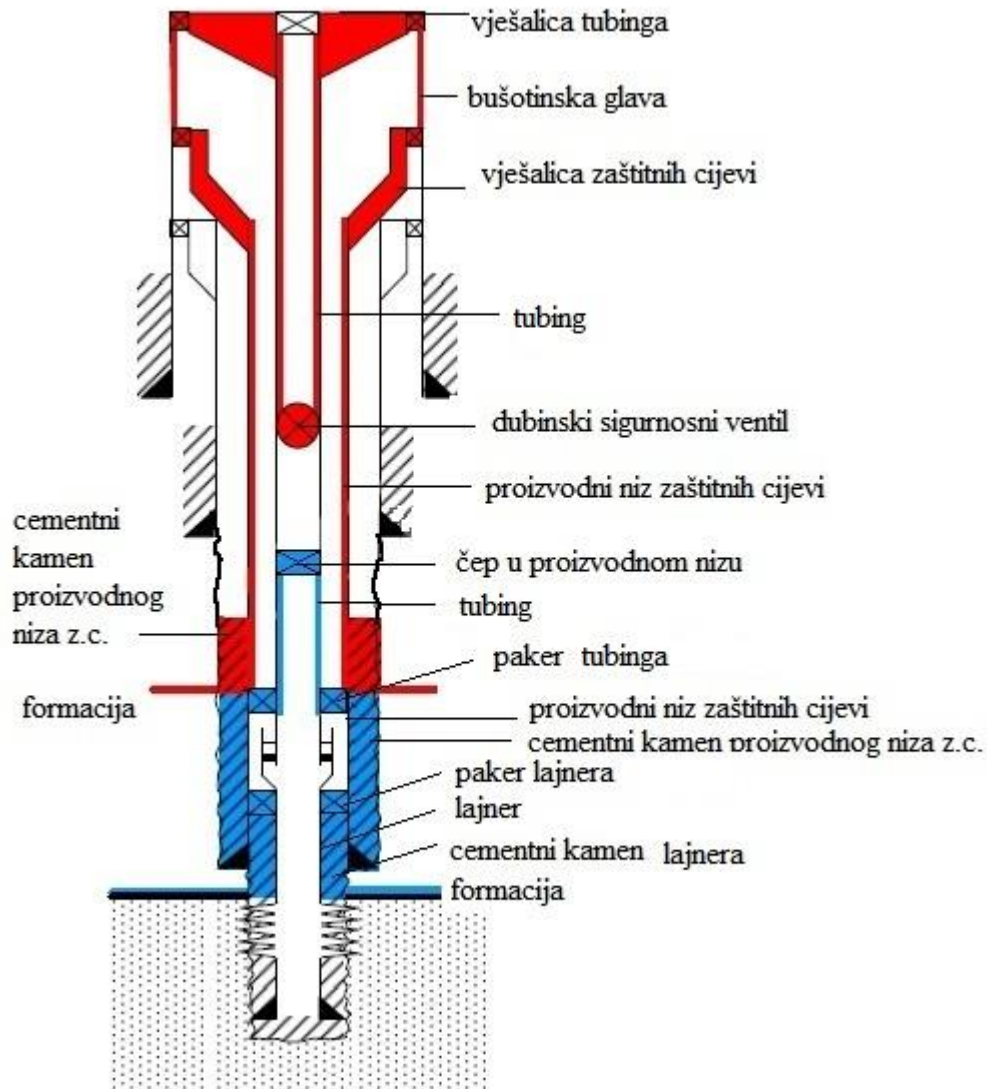
ukoliko se prekine dovod energije koja ga drži otvorenim. Dubina postavljanja se određuje u odnosu na: uvjete temperature i tlaka koji utječu na pojavu hidrata, kamenca i ostalih nečistoća fluida, najveću gustoću fluida u prstenastom prostoru, točku skretanja kanala bušotine tako da se dubinski sigurnosni ventil nalazi ispod točke skretanja zbog moguće kolizije. Dizajn samog ventila treba omogućiti nesmetano zatvaranje i nedeformiranost i nakon petog zatvaranja tj. nakon drugog zatvaranja maksimalnim teoretskim protokom. Početno ispitivanje se obavlja s niskim i visokim diferencijalnim tlakom u smjeru protjecanja gdje se niski diferencijalni tlak definira vrijednošću od maksimalno 70 bara. U slučaju izlaganja fluidu velike brzine i abrazivnih svojstava, potrebno je učestalije ispitivanje.

Postupak nadziranja je značajan za adekvatno djelovanje i bazira se na učestalim pregledima. Ispitivanje propusnosti se izvršava: mjesečno - sve dok se tri uzastopna testa ne pokažu djelotvorna; nakon toga svako tromjesečje - sve dok se tri uzastopna rezultata ne pokažu prihvatljivim i nakon toga svakih šest mjeseci. Potrebno je zadovoljiti ANSI/API RP 14B preporučenim postupcima kako bi ventil bio dozvoljen za uporabu. Ukoliko propuštanje nije moguće neposredno izmjeriti, izvodi se indirektno mjerenje promatranjem promjena tlaka ispod ventila. Sigurnosni sustav za isključivanje je potrebno ispitati godišnje s potvrdom da su zaporni element, kugla ili zaklopac, u zadanom vremenu zatvoreni.

### ***Čepovi tubinga***

Čepovi se ugrađuju u prijelaze za odlaganje, kratke cijevne spojnice s navojnim spojevima na krajevima, u slučajevima kada je potrebno onemogućiti protjecanje prilikom radova na ušću bušotine, ispitati hermetičnost tubinga, odjeljivati zone tijekom stimulacija ili proizvodnje i kada je potrebno onemogućiti komunikaciju kroz tubing. Spomenutim svojstvima čepovi se deklariraju kao elementi primarne barijere. Vadvive čepove predstavljaju: cirkulacijski čep, čep koji sprječava protok s donje strane i čep s mogućnošću brtvljenja u oba smjera. Zajednička zadaća im je omogućiti privremeno brtvljenje i nedopuštanje daljnjeg protoka u tubing. Konstrukcijske karakteristike vadvivih čepova se poklapaju sa zahtjevima pakera tubinga određene ISO 14310:2008 standardu "Pakeri i cementni čepovi". Inicijalno ispitivanje na tlak i propuštanje se provodi u smjeru protoka maksimalnim očekivanim diferencijalnim tlakom u tubing, a nadziranje se provodi u skladu s dopuštenim mogućnostima.

Elemente sekundarne barijere opremljene proizvodne bušotine, pored elemenata opisanih pri operaciji izrade bušotine, sačinjavaju: umetnuti sigurnosni ventil, vješalica tubinga, ventili bušotinske glave te erupcijski uređaj.



Slika 3. 4. Grafički prikaz barijera tijekom opremanja; otpajanje BOP-a i postavljanje vertikalnog erupcijskog uređaja (Norsok Standard D-010, 2013.)

### ***Umetnuti sigurnosni ventil***

Sastoji se od kućišta i zapornog elementa, kugle s koncentričnim provrtom gdje se zatvoreni položaj održava silom opruge, a otvara se djelovanjem hidrauličkog tlaka. Svrha ovog ventila je omogućiti navrtanje na sve spojeve alatki u vrtaćem stolu pomoću priključka s relevantnim navojnim spojem. Konstrukcija ventila omogućuje ispitivanje do maksimalnog očekivanog tlaka u bušotini, a navrtanje i njegovo stezanje sa šipkom se

treba odraditi u roku od 15 sekundi. Način kontroliranja se ostvaruje vizualnom provjerom prije i tijekom korištenja.

### ***Vješalica tubinga***

Vješalica tubinga se sastoji od tijela vješalice, brtvila i vretena vješalice. Postavljanjem u prirubnicu tubinga, vješalica podržava opterećenje koje ostvaruje tubing, brtvi prstenasti prostor između tubinga i proizvodne kolone zaštitnih cijevi uz mogućnost kontinuiranog mjerenja tlaka na tom prostoru, sprječava protok iz kolone u prstenasti prostor, omogućuje odsjedanje protupovratnog ventila pri radu na bušotinskoj glavi i omogućuje postavljanje čepa u kolonu ulaznih cijevi. Konstrukcijske karakteristike nalažu da je vješalicu tubinga potrebno dizajnirati, ispitati i ugraditi sukladno s ISO standardima 10423:2009, 13533:2001 "Bušača i proizvodna oprema", a kada se upotrebljava u kombinaciji s nekom vrstom utiskivanja fluida, utjecaj razlike temperature je potrebno uzeti u razmatranje. Inicijalno ispitivanje dosjedanja vješalice se potvrđuje silom natega ili djelovanjem tlaka ispod vješalice koji nadmašuje vrijednost težine ostvarene tubingom. Ispitivanje se provodi i za brtvilo u tijelu vješalice do maksimalnog očekivanog tlaka u bušotini u smjeru u kojem je dizajnirano da podržava tlak i to tijekom postavljanja, unutar jedne godine nakon postavljanja i nakon toga minimalno svake dvije godine.

### ***Ventili bušotinske glave***

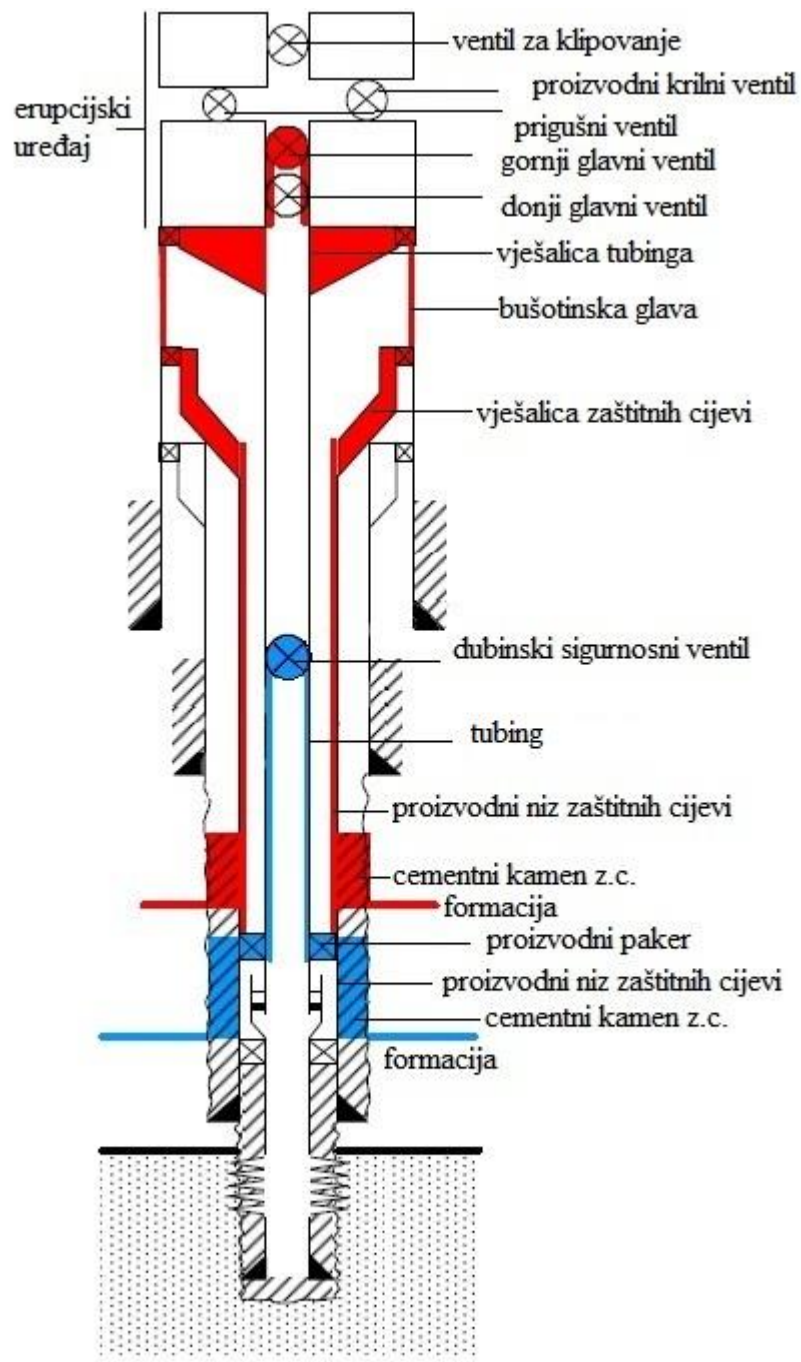
Bušotinska glava u svom sastavu sadrži ventile i kućište povezano s bušotinskom glavom. S obzirom na konfiguraciju i uvjete u bušotini, jedan ili više ventila predstavljaju elemente barijera. Svrha ventila na bušotinskoj glavi je omogućiti nadziranje promjene tlaka i protoka u prstenastom prostoru. Postupak konstruiranja obuhvaća zahtjeve oko kućišta, pristupnih točaka i temperaturnih promjena. Kućište ventila je potrebno sastaviti od iste građe kao i konektor na koji se postavlja. Pristupnu točku ventila i sam ventil je nužno konstruirati da su spojevi plinotjesni, da imaju jednak ili viši radni tlak od bušotinske glave i erupcijskog uređaja te da su otporni na djelovanje vatre. Prilikom utiskivanja fluida nužno je da su ventili površinski kontrolirani, automatski rukovođeni i sigurnosno konstruirani da se automatski zatvaraju u slučaju poremećaja protoka.

Djelotvornost brtvljenja ventila se nadzire kontinuiranim praćenjem tlaka prstenastog prostora na ušću bušotine. Period provođenja ispitivanja ventila, ovisi o protočnom obujmu i njegovoj kompresibilnosti te ga je potrebno provoditi sve dok se na zadovoljli izmjerena

promjena tlaka, a traje minimalno 10 minuta. Ručno upravljane ventile izložene protoku u oba smjera je potrebno ispitati na propusnost svakih šest mjeseci, a za pasivne ventile testiranje se provodi godišnje. Utisni ventili se ispituju prema navedenom redosljedu: mjesečno - sve dok se tri uzastopna testa ne pokažu djelotvorna; nakon toga svako tromjesečje - sve dok se tri uzastopna rezultata ne pokažu prihvatljivim i nakon toga svakih šest mjeseci. Ukoliko propuštanje nije moguće neposredno izmjeriti, izvodi se indirektno mjerenje promatranjem promjena tlaka ispod ventila. Sigurnosni sustav za isključivanje je potrebno ispitati godišnje s potvrdom da se zaporni element, kugla ili zaklopac, zatvaraju u zadanom vremenu.

### ***Erupcijski uređaj bušotine***

To je visokotlačna završna proizvodna oprema eruptivne bušotine. Erupcijski uređaj uključuje opremu koja se nalazi iznad vješalice tubinga: donji i gornji glavni ventili, križnu glavu, prigušnicu, krilne ventile i sapnicu, ventile za klipovanje, pokrovnu prirubnicu i manometre. Uloga erupcijskog uređaja je: ostvariti uvjete za protok fluida iz tubinga do površinskih cjevovoda s mogućnosti prekida protoka zatvaranjem protočnog ventila ili glavnog ventila; omogućiti ugradnju opreme kroz ventil za klipovanje i omogućiti pristupnu točku za utiskivanje fluida u tubing. Erupcijski uređaj je potrebno opremiti: sigurnosno samozatvarajućim (engl. fail-safe) glavnim i krilnim ventilom, ručno upravljanim ventilom za klipovanje i pokrovnom prirubnicom te izolacijskim ventilom za održavanje tlaka na donjem dijelu erupcijskog uređaja. Konstrukcijska svojstva zahtijevaju upotrebu metalnih brtvi, a erupcijski uređaj mora biti vatro-otporan i mora podnijeti sva dinamička i statička opterećenja kojima je podvrgnut u normalnim, ekstremnim i neočekivanim situacijama. Dizajn i izbor komponenata erupcijskog uređaja se odabire s obzirom na ISO 10423:2009 "Bušaća i proizvodna oprema" i API Spec: 6A, specifikacije. Inicijalno ispitivanje se provodi na visoke i niske tlakove, gdje je niski tlak definiran s maksimalno 35 bar, te maksimalni diferencijalni tlak u smjeru protoka. Automatski ventili se ispituju: mjesečno - sve dok se tri uzastopna testa ne pokažu djelotvorna; nakon toga svako tromjesečje - sve dok se tri uzastopna rezultata ne pokažu prihvatljivim i nakon toga svakih šest mjeseci. Ukoliko se propuštanje ne može direktno izmjeriti, izvodi se posredno mjerenje promatranjem promjena tlaka ispod ventila u trajanju deset minuta. Sigurnosni sustav za isključivanje je potrebno ispitati godišnje s potvrdom da se ventil zatvara u zadanom vremenu.



Slika 3.5. Grafički prikaz barijera tijekom opremanja; opremljena proizvodna bušotina (Norsok Standard D-010, 2013.)



### 3.3 Održavanje barijera bušotine

Opremanje i održavanje podrazumijeva skup zavisnih postupaka s krajnjim ciljem ostvarivanja proizvodnje. Opremanje značajno ovisi o postupcima koji su mu prethodili, a održavanje bušotine prikazuje uspješnost učinjenog. Bez obzira koji je razlog održavanja bušotine, primarni cilj je povećanje ukupnog iscrpka i ostvarivanje profita. Održavanjem se smatraju svi postupci koji utječu na promjenu proizvodnih karakteristika bušotine ili ležišta, sve ostalo se naziva popravcima. Radovi na održavanju se dijele na tekuće i kapitalne. Tekuće održavanje ubraja radove koji se izvode u samom kanalu bušotine, zacijevljenom ili otvorenom dijelu kanala. Kapitalno održavanje podrazumijeva postupke djelovanja izvan samog kanala bušotine, odnosno to su radovi vezani uz ležišne naslage i fluide pribušotinske zone. Zbog složenosti, kapitalni radovi se dijele na radove koji utječu na povećanje proizvodnosti i na radove namijenjene promjeni statusa bušotine. Izmjena statusa bušotine se najčešće izvodi u svrhu izoliranja jedne i opremanja perspektivnije proizvodne zone. Kapitalni radovi s ciljem povećanja proizvodnosti ili utiskivanja, ostvaruju i prvotnu namjenu bušotine, ostvarivanje proizvodnje uz minimalne troškove i maksimalni profit. Radovi na održavanju imaju za cilj povećanje proizvodnje, a obuhvaćaju: ponovno perforiranje, kiselinske obrade, frakturiranje, uklanjanje kamenaca i parafina i utiskivanje fluida u bušotinu kako bi se potisnulo zavodnjenje i omogućila proizvodnja. Utiskivanje fluida je popraćeno zahtjevima i smjernicama te kriterijima prihvatljivosti barijera koje je potrebno ispunjavati kako bi se zadržao integritet i ostvarilo sigurno provođenje postupaka.

#### 3.3.1 Kriterij prihvatljivosti barijera tijekom održavanja

Utiskivanje u bušotinu se ne provodi; ukoliko jedna od formacija ima mogućnost stvaranja, širenja vertikalnih fraktura do površine, ima mogućnost utoka fluida; osim ako se u sastavu opreme ne nalazi dubinski sigurnosni ventil, anularni sigurnosni ventil ili ukoliko je tlak stupca utiskujućeg fluida veći od pornog tlaka formacije. Prije postupka utiskivanja potrebno je utvrditi svojstva opreme na ušću i u bušotini s obzirom na buduća opterećenja utiskivanja fluida. U proračun se uzima i faktor istrošenosti opreme uzrokovan korozijom, erozijom i ostalim čimbenicima koji umanjuju nominalni tlak opreme. Kriteriji, ograničenja i preporuke pojedinih barijera navedene za operacije izrade i opremanja bušotine vrijede i za postupke održavanja.

### 3.3.2 Kriterij prihvatljivosti elemenata barijera

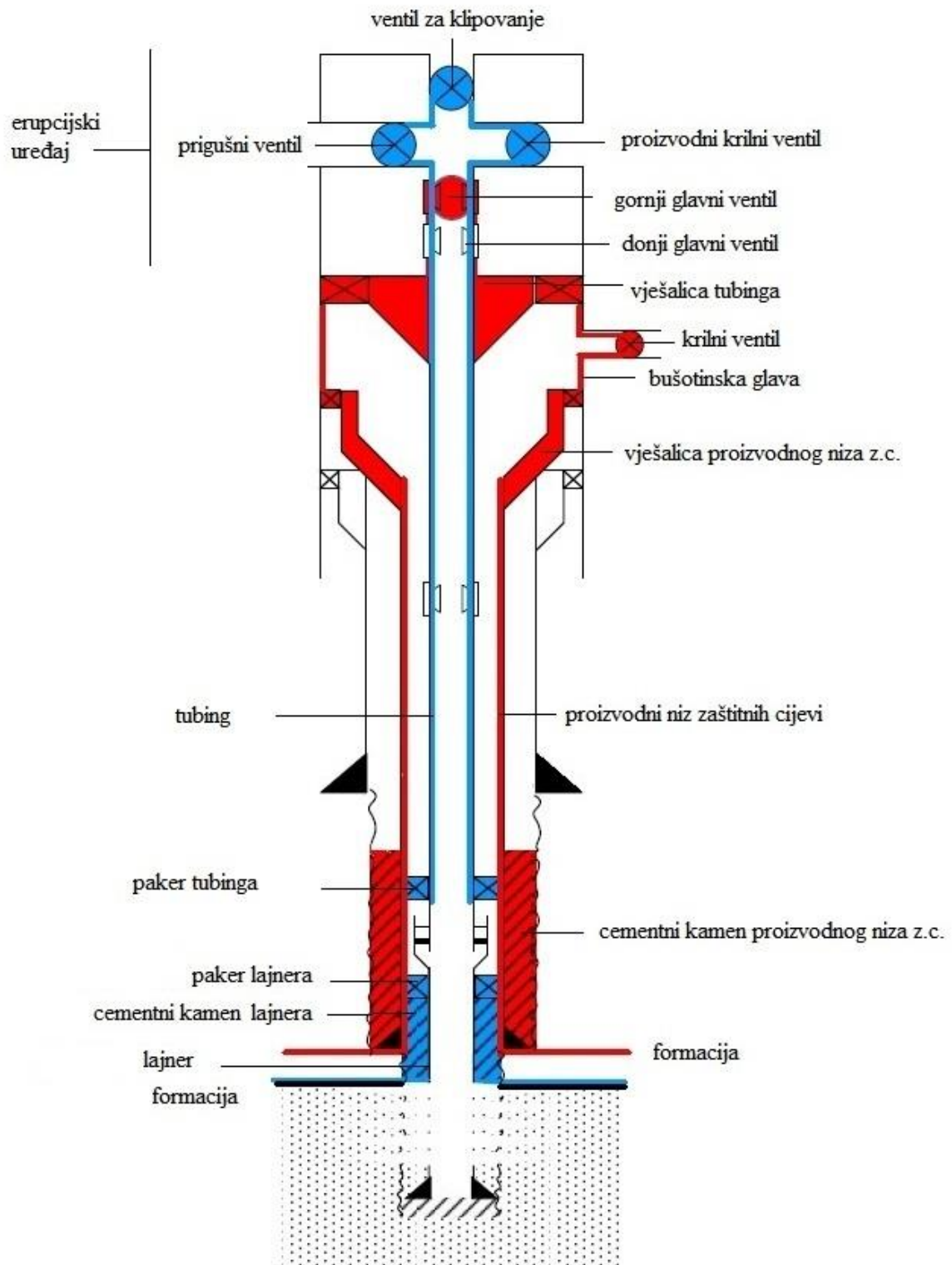
U odnosu na barijere korištene u prethodnim operacijama, dodatni kriteriji barijera su dani za cementni kamen zaštitnih cijevi i za erupcijski uređaj; ostali zahtjevi se podudaraju sa zahtjevima i smjernicama prilikom izrade i opremanja bušotine.

#### ***Cementni kamen zaštitnih cijevi***

Prstenasti prostor ili kanal bušotine ispod točke utiskivanja fluida, je potrebno cementirati ili izolirati kako bi se izbjeglo utiskivanje fluida u neželjeni sloj.

#### ***Erupcijski uređaj***

Daljinski upravljane ventile erupcijskog uređaja je potrebno izolirati od slučajnog zatvaranja prilikom same operacije utiskivanja fluida.



Slika 3. 6. Grafički prikaz barijera tijekom održavanja; utiskivanje kroz tubing (Norsok Standard D-010, 2013.)

## 4 ZAKLJUČAK

Ovim radom se prikazuje sistematičan postupak upravljanja integritetom bušotine za operacije izrade, opremanja i održavanja kanala bušotine. Takav sistem predstavlja temelj za definiranje, odabir, ugradnju i nadziranje barijera. Samim operativnim postupkom ugradnje elementa barijere ne postiže se cjelovitost, već njena izolirana zadaća. Postizanje integriteta u kanalu bušotine je moguće jedino uz primjenu kompletnog sustava organizacije, projektiranja, ugradnje, rukovođenja i nadziranja rada barijera. Provedivost spomenutog postupka je ostvariva uz tehnički izučeno osoblje koje je u stanju prepoznati moguće naznake kvara i predložiti njihova rješenja.

Norsok D-010 standard se velikim dijelom temelji na usmjerenosti prema operatoru i razumijevanju filozofije dvostruke barijere, gdje kvar primarne barijere ne uzrokuje direktno otkazivanje sekundarne barijere. Rukovanje i nadziranje rada opreme pojedine operativne situacije se provodi u skladu sa kriterijima standarda i ne dopušta zanemarivanje naznaka kvara i kontrole opreme, što je upravo bio uzrok potonuća poluuronjive bušće platforme Deepwater Horizont.

Spomenuta nesreća je dodatno utjecala na postavljanje sigurnosnih standarda i unaprjeđenje organizacije nadziranja integriteta kanala bušotine. Potrebno je reći da i usprkos tehnološki suvremenoj opremi, upravljanje integritetom nije moguće bez osposobljenog i organiziranog ljudstva.

## 5 LITERATURA

- (1) STANDARD NORWAY 2013. Norsok Standard D-010, Well integrity in drilling and well operations  
URL: <https://www.standard.no/en/sectors/energi-og-klima/petroleum/norsok-standards> (20.6.2015)
- (2) EXPRO 2011. Well Integrity Capability, Technical Standards and Procedures  
URL: <http://www.exprogroup.com/media/13314/capability-document.pdf> (11.7.2015)
- (3) WIF, NTNU & UiS, 2012. An Introduction to Well Integrity, Well Barrier Diagrams  
URL: <https://www.norskoljeoggass.no/Publica/HSE-and-operations/Introduction-to-well-integrity/> (14.7.2015)
- (4) Matanović, D., 2011. Opremanje i održavanje bušotina. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- (5) Bellarby, J., 2009., Well completion design, Amsterdam, Developments in Petroleum Science
- (6) <http://www.wipertrip.com/well-control/planning/52-discussion-on-suitability-of-barriers-well-control.html> (11.7.2015)
- (7) <http://www.arab-oil-naturalgas.com/index.htm> (18.7.2015)
- (8) <http://www.drillingformulas.com/deepwater-horizon-investigation-reports/#more-5804> (1.8.2015)
- (9) <http://www.weatherford.com/industry-challenges/well-integrity-management#page2> (18.7.2015)
- (10) Norwegian Oil and Gas Association, lipanj 2011., Norwegian Oil and Gas Association Recommended Guidelines for Well Integrity (27.6.2015)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

\_\_\_\_\_ Antonio Orešković