

Razmatranja kontrole tlaka u podvodnom bušenju

Ledenko, Mate

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:169:926890>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

**RAZMATRANJA KONTROLE TLAKA U
PODVODNOM BUŠENJU**

Diplomski rad

Mate Ledenko

N – 232

Zagreb, 2017.

RAZMATRANJA KONTROLE TLAKA U PODVODNOM BUŠENJU

Mate Ledenko

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

Sažetak

U današnje vrijeme, dubine mora na kojima se vrše operacije bušenja dosegle su čak 3 400 m. Povećanjem dubine mora, povećali su se i kriteriji uspješne kontrole tlaka. Premda su osnove kontrole tlaka u podvodnom i kopnenom bušenju iste, postoje određeni problemi specifični isključivo za odobalne operacije. Komplikiraniji sustavi opreme, potencijalni načini otkrivanja dotoka, sastav protuerupcijskih uređaja, smanjeni gradijenti tlaka frakturiranja, plinski hidrati, problemi s padom tlaka u vodovima za gušenje i prigušivanje zbog trenja te zaostajanje plina ispod protuerupcijskog uređaja nakon iscirkuliranja dotoka samo su neki od njih. Prema tome, na svaku i najmanju sumnju u dotok, treba pravovremeno i brzo reagirati, zatvoriti bušotinu i započeti s metodom ugušivanja jer u konačnici posljedice mogu biti kobne.

Ključne riječi: kontrola tlaka u podvodnom bušenju, detekcija dotoka, dotok, diverter, plitko zaliježući plin, plinski hidrati, protuerupcijski uređaj, zarobljeni plin, usponske cijevi, pad tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja, podmorska oprema

Diplomski rad sadrži: 42 stranice, 13 slika, 1 tablicu i 22 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, redovita profesorica RGNF
Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF

SUBSEA WELL CONTROL CONSIDERATIONS

Mate Ledenko

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

It is hard to believe that nowadays drilling operations are taking place in water depths of 3,400 meters. As the water depth increases, the criteria for successful well control become more demanding. Although the basics of subsea and onshore well controls are the same, there are some problems related particularly to the offshore operations. Complicated subsea systems, detection of kicks, composition of BOP stacks, reduced fracture gradients, gas hydrates, choke line friction pressure problems and trapped gas after circulating out a kick are just some of them. Accordingly, if there is any doubt of kick, quick and proper reactions may prevent undesirable consequences.

Keywords: subsea well control, kick detection, kick, diverter, shallow gas, gas hydrates, BOP stack, trapped gas, marine riser, choke line friction pressure (CLFP), subsea components

Thesis contains: 42 pages, 13 figures, 1 table and 22 references.

Original in: Croatian

Archived at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Zdenko Krištafor, PhD

Reviewers: Full Professor Zdenko Krištafor, PhD
Full Professor Nediljka Gaurina-Međimurec, PhD
Assistant Professor Vladislav Brkić, PhD

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	II
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA	III
NOMENKLATURA	IV
1. UVOD	1
2. PODMORSKA I POVRŠINSKA OPREMA	2
2.1. Podmorska oprema	2
2.1.1. Temeljna ploča za vođenje	2
2.1.2. Hidraulička spojnica	2
2.1.3. Vrste čeljusti protuerupcijskog uređaja	3
2.1.4. Sustavi za otpajanje u slučaju hitnosti	4
2.1.5. Donji sklop usponskih cijevi i kontrolni razdjelnici	5
2.1.6. Usponske cijevi	6
2.1.7. Teleskopska spojnica	7
2.1.8. Dodatna oprema	7
2.2. Podvodno plovilo s daljinskim upravljanjem	7
2.3. Površinska oprema	8
3. DOTOCI	9
3.1. Otkrivanje dotoka pri operacijama bez usponskih cijevi	9
3.1.1. Dotoka plina	9
3.1.2. Dotok vode	10
3.1.3. Plinski hidrati iz plitkih naslaga	10
3.1.4. Primarne metode kontrole dotoka iz plitkih naslaga	11
3.2. Otkrivanje dotoka pri operacijama s usponskim cijevima i protuerupcijskim uređajem	12
3.2.1. Oprema za otkrivanje dotoka	12
3.2.2. Zadizanje i odsjedanje bušaćeg alata	15
3.3. Mjere predostrožnosti, savjeti i razmatranja	15
4. NISKOTLAČNI PRSTENASTI PREVENTER (DIVERTER)	17
4.1. Kada se koristi diverter?	18
4.2. Ispuhivanje plina putem divertera	20
4.2.1. Postupak ispuhivanja vodom	20
4.2.2. Postupak ispuhivanja isplakom	20
4.3. Alternativa diverterskom sustavu	21
5. SPECIFIČNOSTI KONTROLE TLAKA KOD ODOBALNOG BUŠENJA	22
5.1. Fluktuacije u protoku i isplačnim bazenima	22
5.2. Pad tlaka u vodu za prigušivanje	22
5.2.1. Problematika pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja	23

5.2.2. Metode određivanja pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja.....	24
5.2.2.1. Metoda broj 1	24
5.2.2.2. Metoda broj 2	25
5.2.2.3. Metoda broj 3	26
5.2.2.4. Metoda broj 4	27
5.3. Smanjeni gradijenti tlaka frakturiranja	27
5.4. Zarobljeni plin u protuerupcijskom sklopu nakon iscirkuliranja dotoka	29
6. PLINSKI HIDRATI.....	31
6.1. Formiranje plinskih hidrata.....	31
6.2. Mogući problemi, rješenja i prevencija stvaranja plinskih hidrata.....	32
6.3. Uklanjanje hidrata.....	32
7. OSTALI PROBLEMI	33
7.1. „Pilot“ bušotina.....	33
7.2. Cementacija	33
7.3. Usponske cijevi.....	33
7.3.1. Gnječenje (kolaps) usponskih cijevi	36
7.3.2. Gubitak isplake unutar usponskih cijevi	36
7.3.3. Otpajanje usponskih cijevi u slučaju hitnosti.....	37
7.4. Remontne operacije	38
8. ZAKLJUČAK.....	40
9. POPIS LITERATURE.....	41

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Podvodni sustav za kontrolu tlaka	3
Slika 2-2. Kompletan podvodni protuerupcijski sklop.....	6
Slika 2-3. Podvodno plovilo s daljinskim upravljanjem.....	8
Slika 4-1. GE MSP TM diverter za srednje radne tlakove	18
Slika 4-2. Dijelovi diverterskog sustava.....	19
Slika 5-1. Shematski prikaz metode broj 1 kod određivanja vrijednosti pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja	24
Slika 5-2. Shematski prikaz metode broj 2 kod određivanja vrijednosti pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja	25
Slika 5-3. Shematski prikaz metode broj 3 kod određivanja vrijednosti pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja	26
Slika 5-4. Procjena tlaka frakturiranja za podmorske stijene	28
Slika 6-1. Plinski hidrat dobiven jezgrovanjem u kontinentalnom plićaku.....	31
Slika 7-1. Usponske cijevi	34
Slika 7-2. Uzgonski moduli plave i crvene boje.....	35
Slika 7-3. Ventil za nadopunjavanje usponskih cijevi.....	36

POPIS TABLICA

Tablica 7-1. Podjela uzgonskih modula s obzirom na dubinske razrede	35
---	----

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$CLFP_{novi}$	Pa	novi pad tlaka
$CLFP_{stari}$	Pa	stari pad tlaka
g	m/s^2	ubrzanje Zemljine sile teže
h_M	m	dubina mora
h_{MS}	m	debljina marinskih sedimenata
h_{zP}	m	visina zračnog prostora
p_F	MPa	procijenjeni tlak frakturiranja
ρ_I dozv.	kg/m^3	dozvoljena gustoća isplake
ρ_I nova	kg/m^3	nova gustoća isplake
ρ_I stara	kg/m^3	stara gustoća isplake
ρ_{MV}	kg/m^3	gustoća morske vode
ρ_{UC}	kg/m^3	gustoća fluida u usponskim cijevima
ρ_Z	kg/m^3	gustoća zraka
TVD	m	stvarna vertikalna dubina bušotine
Δp	Pa	diferencijalni tlak
$\Delta\rho$	kg/m^3	sigurna razlika gustoće (engl. <i>the riser margin</i>)

NOMENKLATURA

Oznaka	Opis
BHA	kruti alat (engl. <i>Bottom-Hole Assembly</i>)
BOP	preventerski sklop (engl. <i>Blow-Out Preventer</i>)
C _h	visokotlačna spojnica (engl. <i>high working pressure connector</i>)
C _l	niskotlačna spojnica (engl. <i>lower pressure rated connector</i>)
CLFP	pad tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja (engl. <i>Choke Line Friction Pressure</i>)
DP	dinamičko pozicioniranje (engl. <i>Dynamic Positioned</i>)
DRBM	uzgonski modul usponskih cijevi (engl. <i>Drill Riser Buoyancy Module</i>)
ECD	ekvivalentna cirkulacijska gustoća (engl. <i>Equivalent Circulating Density</i>)
LMRP	donji sklop usponskih cijevi (engl. <i>Lower Marine Riser Package</i>)
LWD	„geologometrija“ – mjerenje svojstava stijena tijekom bušenja (engl. <i>Logging While Drilling</i>)
MWD	mjerenje tijekom bušenja (engl. <i>Measurement While Drilling</i>)
ROV	podvodno plovilo s daljinskim upravljanjem (engl. <i>Remotely Operated Vehicle</i>)
SICP	tlak zatvorene bušotine u usponskim cijevima (engl. <i>Shut-in Casing Pressure</i>)
SWF	dotok vode iz plitkih naslaga (engl. <i>Shallow Water Flow</i>)
TVD	stvarna vertikalna dubina bušotine (engl. <i>True Vertical Depth</i>)
VBR	čeljusti s promjenjivim promjerom zatvaranja (engl. <i>Variable Bore Rams</i>)
W&W	inženjerska metoda (engl. <i>Wait & Weight Method</i>)

1. UVOD

U posljednje vrijeme, naftna industrija napravila je brojne i velike korake u području dubokomorskog bušenja, opremanja i održavanja bušotina te eksploatacije ugljikovodika (WCS, 2002). Dubine mora na kojima se vrše operacije bušenja dosegle su čak 3 400 m (istražna bušotina Raya-1, Urugvaj; početak bušenja: 30. ožujka 2016.) (Firme, 2016; Schuler, 2016). Međutim, sa svakim metrom povećanja dubine, pojavljuju se novi problemi koje treba dodatno savladati (WCS, 2002).

Osnove uspješne kontrole tlaka (engl. *well control*) na odobalnim postrojenjima, prilikom bušenja i remontnih radova, jednake su onima na kopnu. Prema tome, ključno je na vrijeme prepoznati dotok, zatvoriti bušotinu te iscirkulirati dotok koristeći jednu od metoda „konstantnog tlaka na dno bušotine“ (engl. *the constant bottomhole pressure techniques*) (WCS, 2002).

Ovim diplomskim radom pokušat će se obuhvatiti razmatranja kontrole tlaka specifična samo za odobalna postrojenja. Pri tome će se objediniti konvencionalni postupci, metode i pojave s onima vezanima isključivo za podmorske operacije, odnosno dubokomorska bušenja. Također, dan je kratak prikaz pojedine površinske i podmorske opreme kao i temeljnih principa sprječavanja dotoka, a samim time i potencijalnih erupcija.

2. PODMORSKA I POVRŠINSKA OPREMA

2.1. Podmorska oprema

Podmorska oprema namijenjena kontroli tlaka u bušotinama obuhvaća niz komponenti. Najosnovnije od tih komponenti opisane su ukratko u ovom poglavlju.

2.1.1. Temeljna ploča za vođenje

Temeljna ploča za vođenje (engl. *guide base*) prvi je i osnovni dio opreme koji se spušta na morsko dno. Njezina uloga je pružiti podlogu na koju će se nadovezati vodilice bušaćeg alata, zaštitnih cijevi te ostalog alata koji se spušta u bušotinu. Ovisno o dubini mora i vrsti bušaće platforme, temeljna ploča za vođenje može biti povezana čeličnim užadima s platformom (engl. *guideline landed*) ili ne mora (engl. *guidelineless*).

Jednom kada se ugradi noseća (vodeća/strukturalna) kolona zaštitnih cijevi (engl. *supporting string of casing*), a ušće bušotine (engl. *wellhead*) montira na nju, sustav za kontrolu tlaka u podmorju može biti instaliran. Taj sustav sastoji se od protuerupcijskog (preventerskog) sklopa (engl. *Blow-Out Preventer stack – BOP stack*), donjeg sklopa usponskih cijevi (engl. *Lower Marine Riser Package – LMRP*), kontrolnog sustava (engl. *control system*) i usponskih cijevi (rajzer, engl. *marine riser*) (WCS, 2002). Slika 2-1 prikazuje uobičajeni sastav podvodnog sustava za kontrolu tlaka.

2.1.2. Hidraulička spojnica

Ušće bušotine spaja se s protuerupcijskim sklopom pomoću hidrauličke spojnice. Postoji velik broj izvedbi hidrauličkih spojnica, no cilj im je jedan: izdržati tlak jednak ili veći od radnog tlaka protuerupcijskog uređaja. Takva vrsta spojnica naziva se visokotlačnim spojnica (engl. *high working pressure connectors – C_h*).

Za razliku od visokotlačne spojnice, u gornjem dijelu protuerupcijskog uređaja nalazi se spojnica namijenjena manjim tlakovima te se naziva niskotlačnom spojnica (engl. *lower pressure rated connector – C_l*). Ta spojnica ujedno je dio donjeg sklopa usponskih cijevi. (WCS, 2002).



Slika 2-1. Podvodni sustav za kontrolu tlaka (Barlow, 2017)

2.1.3. Vrste čeljusti protuerupcijskog uređaja

Kako bi protuerupcijski sklop bio što učinkovitiji i pouzdaniji, sve se više usložnjuje, odnosno dodaje se sve veći broj čeljustnih preventera. Međutim, dodavanjem dodatnih komponenti visina protuerupcijskog sklopa se povećava, čime rukovanje istim postaje kompliciranije.

Budući da samo spuštanje/dizanje te sastavljanje/rastavljanje protuerupcijskog sklopa zbog zamjene ili popravka komponenti može potrajati i do nekoliko dana, sve su više u

upotrebi čeljusti s promjenjivim promjerom zatvaranja (engl. *Variable Bore Rams – VBR*) u kombinaciji s čeljustima za zatvaranje punog profila (engl. *blind/shear rams*). Neki operatori koriste dva para čeljusti za zatvaranje punog profila kako bi pružili dodatno osiguranje u slučaju neplaniranog otpajanja usponskih cijevi. Dodavanjem dodatnih pari čeljusti za zatvaranje punog profila, smanjuje se broj preostalih čeljusti, zbog čega se pribjegava korištenju čeljusti s promjenjivim promjerom zatvaranja. Jedan od velikih nedostataka čeljusti s promjenjivim promjerom zatvaranja je taj da u slučaju odsjedanja bušačih alatki (engl. *hang off*) u BOP-u, ne mogu podnijeti velike težine (WCS, 2002).

Raspored i broj komponenti protuerupcijskog sklopa ovisi o postojećim i predviđenim radnim uvjetima te o bušačkoj praksi kompanije izvođača radova, odnosno operatora. Prema tome, tijekom razmatranja rasporeda i broja komponenti treba uzeti u obzir sljedeće (WCS, 2002):

- U kakvim će uvjetima bušači alat odsjesti u čeljusti BOP-a?
- Ako će odsjesti, koje čeljusti su predviđene za to?
- Koji preventer će se koristiti za inicijalno zatvaranje bušotine?
- Koji postupak zatvaranja će se koristiti: meko (engl. *soft close-in procedure*) ili tvrdo zatvaranje (engl. *hard close-in procedure*)?

2.1.4. Sustavi za otpajanje u slučaju hitnosti

Kako se s vremenom tehnologija za dubokomorsko bušenje razvija, posljedično se i sastav protuerupcijskog sklopa usložnjuje. Pa tako npr. automatski sustav za otpajanje u slučaju hitnosti (engl. *automatic disconnect system*) sve više prednjači pred uobičajenim BOP kontrolnim sustavom (engl. *normal BOP control system*).

Automatski sustav za otpajanje razvijen je zbog sve češćeg dinamičkog pozicioniranja (engl. *Dynamic Positioned – DP*) platformi. DP jedinice pozicioniraju platformu obzirom na dva kruga: žuti i crveni. Žuti krug označava da se platforma pomiče u dozvoljenim granicama. Ako se platforma pomakne u crveni krug, slijedi automatsko otpajanje u slučaju hitnosti.

Do sada je razvijeno nekoliko sustava za otpajanje u slučaju hitnosti koji će se aktivirati ako dođe do potpunog gubitka signala (električnog i/ili hidrauličkog) između kontrolnog sustava i protuerupcijskog sklopa. Kada se jednom sustav aktivira, slijedi rezanje bušačih šipki (engl. *pipe shearing*), zatvaranje čeljusti preventera i otpajanje donjeg sklopa usponskih cijevi. Neke dubokomorske jedinice imaju u pričuvi dodatni akustični sustav za

slučaj hitnog otpajanja. No bez obzira na sustav otpajanja, cilj je brzo i sigurno zatvoriti bušotinu čak i u uvjetima potpunog gubitka usponskih cijevi.

Također, postoje i funkcije koje je moguće obaviti pomoću podvodnog plovila s daljinskim upravljanjem (engl. *Remotely Operated Vehicle – ROV*) u slučaju izvanrednih otpajanja (WCS, 2002).

2.1.5. Donji sklop usponskih cijevi i kontrolni razdjelnici

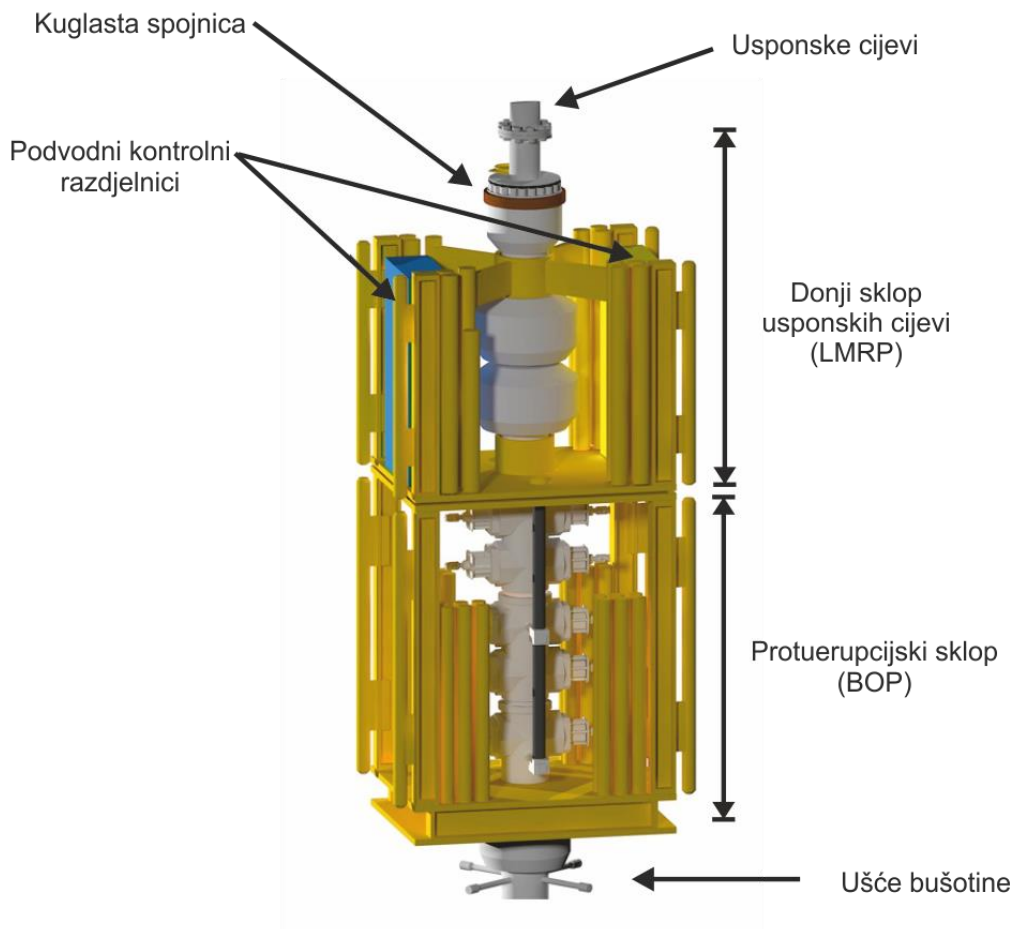
Donji sklop usponskih cijevi spojen je s protuerupcijskim sklopom, vodom za gušenje i prigušivanje te kontrolnim sustavom. Opremljen je i s dva kompleta podvodnih kontrolnih razdjelnika: žutim i plavim (engl. *yellow and blue control pod*), a u svom sastavu sadrži još i prijelaz usponskih cijevi, kuglastu spojnicu (engl. *ball (flex) joint*) te gornji prstenasti preventer (engl. *upper annular*). Uloga kuglaste spojnice je omogućiti pomake (devijacije) usponskih cijevi od nekoliko stupnjeva u odnosu na okomicu, kako pri tome ne bi došlo do oštećenja ili prekomjernog naprezanja u spojnica, protuerupcijskom uređaju i bušotinskoj glavi. Kontrolni razdjelnici glavna su komunikacijska karika površinske i podmorske opreme. Putem kontrolnih vodova šalje se električni i/ili hidraulički impuls koji zatvarajući ventile aktivira funkcije na protuerupcijskom uređaju. U slučaju da su vodovi hidraulički, potrebno je izvršiti pred-tlačenje (engl. *pre-pressurized*) kako bi se osigurao brz odaziv impulsa.

Akumulatorske boce (engl. *accumulator bottles*) sastavni su dio podmorskog sustava, a svrha im je olakšati provedbu raznih funkcija (operacije s protuerupcijskim uređajem i hidrauličkim ventilima). Te boce moraju biti prethodno napunjene tlakom većim nego li je hidrostatski tlak stupca morske vode na dubini na kojoj se nalaze. Prema tome, akumulatorski sustavi radnog tlaka od 34,48 MPa (5 000 psi) uobičajen je za operacije u morima dubljima od 1 524 m (5 000 ft) kako bi se nadvladao hidrostatski tlak koji vlada na toj dubini.

Prilikom instaliranja protuerupcijskog sklopa i donjeg sklopa usponskih cijevi, akumulatorske boce su napunjene do kraja. Kada se podmorski BOP kontrolni sustav ili same akumulatorske boce vade na površinu, tlak iz boca ispušta se zbog sigurnosti.

Također, još jedna od stvari koju treba razmotriti prilikom odabira sklopa je maksimalno opterećenje koje sklop može podnijeti u slučaju da usponske cijevi trebaju odsjesti na BOP tj. ako se pojave problemi u nateznom sustavu (WCS, 2002).

Slika 2-2 prikazuje kompletan podvodni protuerupcijski sklop.



Slika 2-2. Kompletan podvodni protuerupcijski sklop (prilagođeno prema: Wikimedia, 2017)

2.1.6. Usponske cijevi

Sustav usponskih cijevi sastoji se od samih cijevi (engl. *marine riser*), voda za gušenje (engl. *kill line*), voda za prigušivanje (engl. *choke line*) i uzgonskih modula. Usponske cijevi koriste se kako bi omogućile povratni tok isplake iz bušotine do bušaće jedinice na plovilu te kako bi „vodile“ bušači niz i kolonu zaštitnih cijevi sve do BOP-a na morskom dnu prilikom njihova spuštanja. Ventil za nadopunjavanje (engl. *riser fill-up valve*) također može biti dodan u sustav za slučaj da dođe do izbacivanja isplake zbog ekspanzije plina koji je ušao u usponske cijevi. Prema potrebi, u gornji dio ovog sklopa montira se diverterski sustav (WCS, 2002).

Problematika vezana za usponske cijevi tijekom kontrole tlaka u bušotini detaljnije je obrađena u poglavlju 7.3.

2.1.7. Teleskopska spojnica

Ispod podišta tornja nalazi se teleskopska spojnica (engl. *telescoping (slip) joint*). Ona se sastoji od dvije koncentrične cijevi između kojih se nalaze brtvila. Uloga joj je dopustiti vertikalne pomake bušaće platforme/broda uslijed gibanja mora, pri čemu ne smije dopustiti propuštanja isplake (Kranjčec, 1997; WCS, 2002).

2.1.8. Dodatna oprema

Protuerupcijski sklop treba biti opremljen instrumentima koji mjere tlak i temperaturu u njemu. Njihova svrha je poslužiti kao nit vodilja prilikom kompenzacije pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja (engl. *Choke Line Friction Pressure – CLFP*). O tome će biti više riječi u narednim poglavljima (WCS, 2002).

2.2. Podvodno plovilo s daljinskim upravljanjem

Kako se poboljšava tehnologija bušenja u dubokim morima, tako podvodna plovila s daljinskim upravljanjem (engl. *Remote Operable Vehicle – ROV*) sve više „evoluiraju“ iz običnih kamera u kompleksne, multifunkcionalne alatke neophodne za područja nepristupačna ronionicima. Današnja ROV plovila koriste se za (WCS, 2002):

- prijenos slike BOP opreme,
- promatranje povratnog toka isplake kada se buši bez uporabe usponskih cijevi,
- promatranje opreme ušća bušotine,
- promatranje i izvještavanje o vertikalnom poravnanju usponskih cijevi i BOP-a,
- promatranje operacija zatvaranja čeljusti preventera.

Slika 2-3 prikazuje podvodno plovilo s daljinskim upravljanjem, model FCV 600, kompanije Fugro Subsea Services Ltd. namijenjeno bušaćim projektima u Zapadnom otočju Sjevernog mora.



Slika 2-3. Podvodno plovilo s daljinskim upravljanjem kompanije Fugro Subsea Services Ltd. (Subsea World News, 2016)

2.3. Površinska oprema

Sustav razdjelnika sapnice (engl. *choke manifold system*) na odobalnim bušaćim postrojenjima mnogo je veći, kompleksniji i fleksibilniji nego li na kopnu. Tako npr. omogućuje preusmjeravanje toka izvan bušace platforme/broda (engl. *overboard*) ili na vod koji zaobilazi sapnice i separator za odvajanje plina iz isplake (engl. *mud gas separator*) te je povezan sa spremnicima za „stripping“ (engl. *tanks used for stripping*). U puno slučajeva povezan je i s niskotlačnim i visokotlačnim mjeracima, budući da može biti dio BOP sustava za tlakove od 103 do 138 MPa (15 000 – 20 000 psi).

Kako u dubokomorskim uvjetima stalno postoji opasnost od formiranja hidrata, u neke kontrolne razdjelnike ugrađuju se injektori glikola (engl. *glycol injection system*) za slučaj kada se iscirkulirava plin.

U slučaju da su vodovi za gušenje i prigušivanje zapunjeni nekim drugim fluidom, a ne radnim, potrebno je prije same procedure ugušivanja napraviti zamjenu fluida. Ako su vodovi već zapunjeni odgovarajućom isplakom, poželjno je napraviti punu cirkulaciju kako bi se spriječilo taloženje barita (WCS, 2002).

3. DOTOCI

Pravovremeno otkrivanje dotoka jedan je od najvažnijih segmenata protuerupcijske zaštite. Budući da se sam dotok može dogoditi u bilo kojem trenutku tijekom bušenja, potrebno je razmotriti sve moguće opcije.

3.1. Otkrivanje dotoka pri operacijama bez usponskih cijevi

Operacije bez usponskih cijevi karakteristične su za početno tj. uvodno bušenje (engl. *spud in, spud a well*). Prilikom tih operacija može doći do dotoka iz plitkih naslaga (engl. *shallow flows*), za čiji su nastanak pogodna određena geološka stanja. Neka od tih stanja uključuju arteške efekte (engl. *artesian effects*), malu zbijenost naslaga (engl. *under-compaction*) te zarobljenost fluida pod povećanim tlakom zbog djelovanja tlaka pokrovnih stijena (engl. *overburden pressure*) i nanesenih sedimenata (WCS, 2002).

3.1.1. Dotoka plina

Plin iz plitkih naslaga (engl. *shallow gas*) može se akumulirati u pješčenjacima tj. pješčanim lećama (engl. *sand lens*) ako je došlo do zarobljavanja migrirajućeg plina od strane neke barijere, npr. gline. Ti pješčenjaci uvijek su pod izrazito visokim tlakom u gornjem dijelu sloja, a potisna sila im je gotovo uvijek hidrostatski tlak stupca morske vode. Prema tome, tlak u donjem dijelu sloja ili razini kontakta vode i plina, ekvivalentan je hidrostatskom tlaku morske vode na toj dubini. Budući da je gustoća plina u takvim pješčenjacima zanemariva, tlak plina pri vrhu sloja bit će jednak tlaku plina pri dnu sloja, zbog čega će samim time biti pod povećanim tlakom (engl. *overpressured*).

Vrijednost nadtlaka je u funkciji debljine dijela sloja u kojem se plin akumulira. Prema tome, efektivna debljina akumulacije plina (engl. *gas accumulation thickness*) bit će vertikalna udaljenost između mjesta na kojem je došlo do prodora u sloj tijekom bušenja i mjesta kontakta voda-plin.

Bušenje plitko zaliježućih slojeva u kojima se nalazi plin izuzetno je rizično. Ta rizičnost očituje se kroz vrlo česte dotoke (engl. *kicks*), posebice ako se buši s nedovoljno otežanom isplakom ili u odsustvu usponskih cijevi, prilikom čega može doći i do erupcija (engl. *blowouts*).

Jedan od razloga zašto oslobođeni plin ne smije prodrijeti u stupac morske vode je taj što uzrokuje smanjenje njezine gustoće. Smanjenje gustoće morske vode ispod bušaće platforme/broda uzrokuje smanjenje njezina uzgona i stabiliteta, što u konačnici može

dovesti do prevrtanja i/ili potapanja. Shodno tome, kako se dubina mora povećava, tako se rizik smanjuje. Razlog tomu su morske struje koje će odnijeti oblak aeriziranog stupca morske vode. Usidrene bušaće platforme zbog toga trebaju imati plan za brzo pomicanje u slučaju pojave plina, jer osim što može uzrokovati njihovo prevrtanje i/ili potapanje, može doći do zapaljenja plina te eksplozije (WCS, 2002).

Uporaba podvodnih daljinsko upravljanih plovila s kamerama, omogućila je vizualnu detekciju dotoka plina na osnovu mjehurića koji se pojavljuju u vodi. Nedostaci ovog načina detekcije mogu biti smanjena vidljivost/bistroća morske vode, jake struje u dubokim morima, uzburkanost mora te rad u noćnim uvjetima.

Kako bi se spriječile opasne situacije tijekom pojave plina iz plitkih naslaga, potrebno je imati na raspolaganju dovoljnu količinu unaprijed pripremljene otežane isplake. Ta količina treba omogućiti nekoliko cirkulacija cijele bušotine, pri čemu je važno uzeti u obzir i faktor erozije (engl. *washout factor*) stjenke kanala bušotine. Što se tiče njezine gustoće, ona treba biti prilagođena tako da se ne prijeđe procijenjena gustoća isplake koja bi dovela do frakturiranja sloja.

Naposljetku, plin iz plitkih naslaga može uzrokovati ozbiljne probleme tijekom cementacije, prodor plina iza kolone zaštitnih cijevi (engl. *broaching*) pa čak i gubitak same bušotine. Iz toga razloga, potrebno je koristiti sve raspoložive tehnologije i metode koje će dovesti do pravovremene detekcije dotoka plina (WCS, 2002).

3.1.2. Dotok vode

Detekcija dotoka vode iz plitkih naslaga (engl. *Shallow Water Flow – SWF*) može biti otežana kada se buši bez usponskih cijevi. Zbog toga bi se tlak na isplačnim sisaljkaama trebao pomno pratiti, jer svaka iznenadna ili značajnija promjena istoga može indicirati dotok. Međutim, ako dođe do erozije stjenke kanala, tlak cirkulacije postepeno će se smanjivati kako se promjer bušotine povećava, pri čemu će nedovoljno velik dotok proći neprimijećen (WCS, 2002).

3.1.3. Plinski hidrati iz plitkih naslaga

Općenito, hidrati su strukture nalik ledu koje se formiraju u prisutnosti plina i slobodne vode pri povišenom tlaku i sniženoj temperaturi (nije nužno da temperatura bude ispod 0 °C). Kako bi se spriječio njihov nastanak, potrebno je otkloniti jedan od prethodno

nabrojanih uvjeta ili dodati inhibitore. Inhibitori koji se najčešće koriste za sprječavanje njihova nastanka su alkoholi i soli (Krištafor, 2016a; WCS, 2002).

Na većim dubinama mora, uvjeti mogu biti upravo takvi da nastaju hidrati u plitko zaliježućim formacijama u kojima se nalazi plin metan i zbog toga se nazivaju plinski hidrati iz plitkih naslaga (engl. *shallow formation gas hydrates*). Kada se takvi slojevi probuše, plinski hidrati će disocirati na plin i vodu ako dođe do povećanja temperature ili smanjenja tlaka. Ta disocijacija može se dogoditi u samoj isplaci kada krhotine s hidratima plina bivaju nošene cirkulacijom ili zbog povratnog toka isplake s većih dubina koja zagrijava slojeve s plinskim hidratima.

Obujam plina sadržan u hidratima može biti i do nekoliko puta veći za istu količinu krhotina stijena s većih dubina. Budući se taj plin počinje oslobađati, može doći do neuravnoteženog stanja unutar bušotine što pak dovodi do dotoka plina ili vode iz formacija koje ne sadrže hidrate (WCS, 2002).

Probleme koje stvaraju plinski hidrati te način na koji se mogu ukloniti detaljnije su obrađeni u poglavlju 6.

3.1.4. Primarne metode kontrole dotoka iz plitkih naslaga

Primarna metoda kontrole dotoka iz plitkih naslaga (engl. *shallow flows*) je njihovo izbjegavanje. Prije samog bušenja, potrebno je provesti detaljna seizmička istraživanja koja omogućavaju točno lociranje plitko zaliježućih pješćanih naslaga (engl. *shallow sands*) te razmotriti mogućnost skretanja kanala bušotine kako bi se isti zaobišli.

Ako ne postoji način izbjegavanja prolazak bušotine kroz plitko zaliježuće pješćenjake, potrebno je bušenje obaviti uz unaprijed pripremljenu otežanu isplaku. Unaprijed pripremljena otežana isplaka spriječit će nepotrebno gubljenje vremena u slučaju dotoka. Iz toga razloga, mnogi izvođači radova drže gustoću unaprijed pripremljene isplake veću za oko $120,0 \text{ kg/m}^3$ (1 ppg) nego li je trenutna isplaka u optoku. To opravdavaju činjenicom da je lakše i brže olakšati isplaku, nego li je otežati (WCS, 2002).

Drugi pristup ovom problemu je bušenje uz primjenu morske vode. Naime, tijekom bušenja uz primjenu morske vode kao radnog fluida, doći će do dotoka iz plitko zaliježućih pješćenjaka, pri čemu treba paziti da taj dotok bude pod stalnim nadzorom i kontrolom. Ako pak dođe do ekscerne situacije, bušotinu treba promptno ugušiti otežanom isplakom ili je u krajnjoj situaciji napustiti te razmotriti neke druge načine prolaska kroz te slojeve.

Nadalje, kod gušenja bušotine otežanom isplakom, isplačne sisaljke ne smiju se zaustavljati, već se njihov usis treba prebaciti s morske vode na spremnike (bazene) s

otežanom isplakom. Isplaka bi se trebala upumpavati što većom brzinom kako bi se maksimizirala ekvivalentna cirkulacijska gustoća (engl. *Equivalent Circulating Density – ECD*). Ako se zbog ograničenja isplačnih sisaljki bušotina i dalje ne može staviti pod kontrolu, moguće je bušaču platformu/brod pomaknuti na sigurnu udaljenost (u smjeru vjetra i morskih struja) te pričekati dok se ti slojevi ne „iscrpe/ispušu“.

Još jedan problem koji se može pojaviti je taj da formacije u kojima se nalaze dotoci iz plitkih naslaga prođu neprimijećene te se kao takve zacijeve i zacementiraju. Kasnije posljedice koje se mogu pojaviti su prodor plina iza kolone zaštitnih cijevi sve do površine ili njegov prodor lateralno, na nekoj udaljenosti od bušotine. Zbog toga je važno vršiti nadzor ROV kamerama u blizini ušća bušotine (WCS, 2002).

3.2. Otkrivanje dotoka pri operacijama s usponskim cijevima i protuerupcijskim uređajem

Bušenje s povratnim tokom (engl. *sea floor return*) tj. uz primjenu usponskih cijevi, olakšava detekciju dotoka fluida u bušotinu. U toj situaciji dotok je moguće prepoznati po promjeni tlaka na isplačnim sisaljka, povećanom broju hodova isplačne sisaljke, povećanom napretku bušenja, zaplinjenosti ili zavodnjenosti isplake, povećanom povratnom toku i razini isplake u bazenima (Gaurina-Međimurec, 2015; WCS, 2002).

Ipak, najvjerodostojniji pokazatelji dotoka plina su pad tlaka na isplačnim sisaljka te povećanje broja hodova. Razlog tomu je što plin koji uđe u bušotinu smanjuje gustoću isplake u prstenastom prostoru, a samim time i potrebu za povećanim tlakom cirkulacije. Poboljšanjem tehnologija koje omogućavaju mjerenja tijekom bušenja (engl. *MWD/LWD technologies*), tlak se može izmjeriti na samom dnu bušotine te koristiti kao jedan od načina detekcije dotoka (WCS, 2002).

3.2.1. Oprema za otkrivanje dotoka

Sama priroda tj. okruženje odobalnog postrojenja stvara probleme prilikom rane detekcije dotoka. Stanje mora koje može izazvati posrtanje (engl. *pitch*), ljuljanje (engl. *roll*) i/ili poniranje (engl. *heave*) postrojenja treba uzeti u obzir prilikom nadgledanja povratnog toka isplake i promjene nivoa u isplačnim bazenima. Također, transport krhotina kroz prstenasti prostor usponskih cijevi može predstavljati veliki problem zbog relativno malih brzina protjecanja (WCS, 2002). Zbog toga, mnoga odobalna postrojenja imaju dodatnu sisaljku (engl. *separate pump*) koja kroz pomoćni isplačni vod (engl. *mud boost line*), inače spojen na usponske cijevi u blizini donjeg sklopa usponskih cijevi, povećava

brzinu protjecanja isplake (IADC, 2017; WCS, 2002). Prema tome, stvarni povratni tok može biti „zamaskiran“ zbog dodatnog protoka ostvarenog pomoćnim tokom. Kako bi se to spriječilo, treba utvrditi raspon, prilikom čega će svako odstupanje od danog raspona bušaču (engl. *driller*) sugerirati potencijalni problem (WCS, 2002).

Indikator povratnog toka (engl. *the return indicator*) tj. senzor protoka (engl. *the flow sensor*), jedan je od najboljih indikatora dotoka ili gubitka isplake. Njegova osjetljivost je na najvišoj mogućoj razini, odnosno alarm će se oglasiti već pri promjeni povratnog toka od $1,577 \cdot 10^{-3}$ do $3,154 \cdot 10^{-3}$ m³/s (25 – 50 gal/min), ovisno o dozvoljenom referentnom rasponu odstupanja (WCS, 2002).

Alarmi uređaja za registraciju ukupne količine isplake u isplačnim bazenima (engl. *pit volume totalizer alarms*) trebali bi biti podešeni na odstupanje od –0,8 do +0,8 m³ (od –0,5 do +0,5 bbls) (IADC, 2014; WCS, 2002).

Pojam „nadimanja“ (engl. *ballooning*) označava pojavu gubitka isplake u formacije dok su sisaljke uključene. Kada se sisaljke isključe, isplaka prethodno „utisnuta“ u sloj vraća se nazad u bušotinu. Pravi razlog toga još nije utvrđen, no postoje dvije teorije. Prva teorija tvrdi da se to događa zbog mikrofraktura u koje ulazi fluid zbog djelovanja dodatnog tlaka (tlaka „trenja“) u prstenastom prostoru (engl. *annular friction pressure*), dok druga tvrdi da sloj zapravo „ekspandira“ zbog tlaka koji ostvaruju sisaljke. Bez obzira na teorije, rutinske kontrole dotoka postaju kompliciranije ako se buši kroz formacije sklone „nadimanju“.

Voda, materijali i fluidi prilikom svakog dodavanja ili uklanjanja iz sustava moraju proći kroz mjerne spremnike (engl. *measured tanks*). Njihova količina treba se pravovaljano zabilježiti te se mora izvijestiti bušača, upravitelja bušačkog postrojenja (engl. *toolpusher*) i predstavnika kompanije (engl. *company representative*) o svakoj značajnijoj promjeni.

Nadalje, od ključne je važnosti da specijalisti za plinsku karotažu isplake (engl. *mud loggers*), isplačari (engl. *mud hands*) i bušači vode redovite i precizne zabilješke svakog gubitka isplake kako bi tijekom provjere dotoka bio donesen ispravan sud. Ako postoji bilo kakva sumnja vezana za dotok, bušotinu treba zatvoriti (engl. *shut in*), a tlakove pažljivo kontrolirati. U slučaju potrebe za iscirkuliravanjem dotoka, prednost treba dati bušačkoj metodi, osim ako se ne buši pri uvjetima podtlaka (engl. *underbalanced drilling*).

Manometar stojke (engl. *standpipe pressure gauge*) još je jedan od uređaja na kojemu se može detektirati dotok. Njegovo odstupanje treba biti podešeno na 0,35 – 0,69 MPa (50 – 100 psi) ili manje.

MWD/LWD instrumenti također se mogu koristiti kao indikatori dotoka. No budući da su veoma skupi, treba ispravno procijeniti vrstu, sposobnost i mjesto njihova smještaja kako bi se otklonila mogućnost njihova oštećenja/gubitka u slučaju dotoka (WCS, 2002).

U trenutku kada se otkrije dotok, bušotinu treba čim prije zatvoriti u skladu s unaprijed utvrđenom procedurom. Važno je provjeriti i je li u usponske cijevi ušao plin. Na odobalnim postrojenjima, s porastom dubine mora raste i mogućnost da je u trenutku detekcije dotoka, plin već ušao u bušotinu, štoviše da je prošao područje protuerupcijskog uređaja.

Ako se nakon zatvaranja bušotine dotok detektira preko diverterskog voda (engl. *diverter line*), odmah treba zatvoriti rezervni (alternativni) preventer (engl. *alternate preventer*). Ako nakon toga dotok prestane, znači da je prvi preventer bio nepravilno zatvoren ili da je došlo do propuštanja brtvećih elemenata. Ako se dotok i dalje događa, moguće je da je plin već migrirao u usponske cijevi. U tom slučaju, treba pustiti da plin migrira prema površini te ga usmjeriti na diverterski vod u smjeru niz vjetar.

Plin zarobljen u usponskim cijevima može uzrokovati ozbiljne probleme. U dubokomorskim operacijama, hidrostatski tlak stupca morske vode ostvaruje tlak na plinom zapunjene usponske cijevi, što u konačnici može dovesti do njihova gnječenja. Također, „preuzimanje“ plina na površini koji dolazi kroz diverterski vod, može biti izuzetno opasno ako postrojenje nije propisno opremljeno i pripremljeno.

Kako velik broj odobalnih postrojenja koristi pomoćni isplačni vod (engl. *mud boost line*), u slučaju kada plin već uđe u usponske cijevi, moguće je taj vod iskoristiti za njegovo iscirkuliranje.

Velika viskoznost fluida i čvrstoće gela, u vodovima za gušenje i prigušivanje, kao i uljne ili sintetičke isplake, mogu „zamaskirati“ pravu vrijednost tlaka zatvorene bušotine u usponskim cijevima (engl. *Shut-in Casing Pressure – SICP*). Drugim riječima, može se dogoditi da stanje u bušotini aludira na dotok, no da pri tome odaziv SICP-a ne postoji. Taj problem rješava se na jedinstven način. Preventer ispod vodova za gušenje i prigušivanje treba zatvoriti, a potom kroz jedan od vodova pumpati isplaku smanjene viskoznosti tako da ista izlazi kroz drugi vod. U konačnici, postupak će smanjiti efekte uzrokovane viskoznošću, odnosno gelom te omogućiti „izjednačavanje“ svojstava isplake u vodovima (WCS, 2002).

3.2.2. Zadizanje i odsjedanje bušaćeg alata

Donošenje odluke treba li bušaći alat odsjesti na čeljusti preventera nakon zatvaranja bušotine ili ne, razlikuje se od kompanije do kompanije.

Dubina i uvjeti na moru te utjecaj plime i oseke (engl. *tide*), kompliciraju proceduru zadizanja (engl. *space out*) i odsjedanja (engl. *hang off procedure*) alata, posebice otkako je većina podmorskih BOP sustava viša od prosječne duljine bušaćih šipki. Zbog toga je potrebno provesti precizno mjerenje svake spojnice i svakog pasa bušaćih šipki (engl. *drillpipe stand*).

Uobičajeno je da se za zatvaranje bušotine koristi gornji prstenasti preventer (engl. *upper annular*). Prema tome, ako se ne može s pouzdanom sigurnošću odrediti duljina bušaćeg alata, potrebno je alat početi lagano zadizati uz konstantno praćenje stanja na mjerачu protoka na hidrauličkoj jedinici (engl. *accumulator flow meter*) i indikatoru težine (engl. *weight indicator*). Opterećenje na indikatoru težine polagano će se povećavati sve dok spojnica (engl. *tool joint*) ne prođe kroz preventer. Kada konačno prođe, tlak na preventeru će se smanjiti tj. bit će potrebno „više“ fluida iz hidrauličke jedinice kako bi se ostvarilo učinkovito brtvljenje oko tijela bušaće šipke. Nakon toga slijedi proračun visine zadizanja.

Kad se sa sigurnošću utvrdi da je alat zadignut na proračunatu visinu, zatvaraju se čeljusti za odsjedanje (engl. *hang off rams*). Alat se potom polagano spusti na čeljusti, a zatvorene čeljusti zaključaju. Ako je moguće, tlak između čeljusti i preventera se ispusti, nakon čega se prstenasti preventer otvori (WCS, 2002).

3.3. Mjere predostrožnosti, savjeti i razmatranja

Neke od mjera predostrožnosti kao i savjeti za slučaj dotoka ili njegovo saniranje su:

- Članovi posade trebaju biti upoznati sa svim standardnim metodama ugušivanja bušotine te pripravnici u svakom trenutku uočiti eventualni dotok.
- Ako je otežana isplaka prema projektu neophodna, treba biti unaprijed pripremljena i spremna za brzu uporabu.
- Za plovila koja se sidre, sva sidra trebaju biti spremna za otpuštanje/podizanje u slučaju opasnosti. Zbog toga se svakih 6 sati donosi plan za pomicanje (engl. *move-off plan*) na osnovu trenutno prevladavajućih vremenskih uvjeta, vjetra, morskih struja i uzburkanosti mora. Važno je da se konstantno motri smjer i

brzina vjetra, jer ako dođe do značajnijih promjena, plan za pomicanje treba korigirati.

- Izloženost stjenke kanala proširenjima treba se svesti na minimum. Naime, proširenje kanala nastalo ispiranjem i/ili erodiranjem stjenke otežat će cementaciju, dok će se potrebna količina cementne kaše povećati. Isto tako, proširenje kanala onemogućit će provođenje nekih metoda ugušivanja te će povećati zahtijevanu količinu isplake za gušenje (WCS, 2002).
- Prilikom utiskivanja obroka viskoznih fluida/gelova za uklanjanje krhotina (engl. *sweep pills*) (Oilfield Glossary, 2017; WCS, 2002) moguće je dodati obilježivače. Kao obilježivači koriste se boje i tinjci (engl. *mica*), a pomažu u provjeri obujma bušotine. Obujam bušotine određuje se na osnovu vremena povrata isplake na površinu s obzirom da se isplaka utiskuje konstantnim brojem hodova sisaljke (WCS, 2002).
- Prije svakog manevra, isplaku u bušotini treba zamijeniti otežanom isplakom kako bi se poboljšala stabilnost kanala. Prilikom toga treba paziti da gustoća isplake ne prijeđe gradijent tlaka frakturiranja naslaga. U određenim situacijama trebalo bi koristiti isplaku koja sadrži aditive za smanjenje gubljenja vode (filtrata) (engl. *low water loss mud*) kako bi debljina isplačnog obloga (engl. *wall cake*) bila što manja. To bi smanjilo mogućnost pojave efekta klipovanja.
- „Pilot“ kanal (engl. *pilot hole*) promjera 250,8 mm (9 7/8 in) ili manji, može povećati šanse za uspješno ugušivanje bušotine. Manji broj hodova sisaljke, kao i manja gustoća isplake uspješniji su u ugušivanju samo ako se radi o manjim promjerima bušotine, pri čemu su ispiranje i/ili erozija stjenke kanala svedeni na minimum. Shodno tome, bušaće šipke promjera 139,7 mm (5 1/2 in) ili veće, olakšat će ugušivanje, no pridonijet će ispiranju i/ili eroziji stjenke kanala bušotine.
- Prilikom odabira mlaznica dlijeta, treba voditi računa da su iste prilagođene i za cirkulaciju isplake tijekom ugušivanja (WCS, 2002).

4. NISKOTLAČNI PRSTENASTI PREVENTER (DIVERTER)

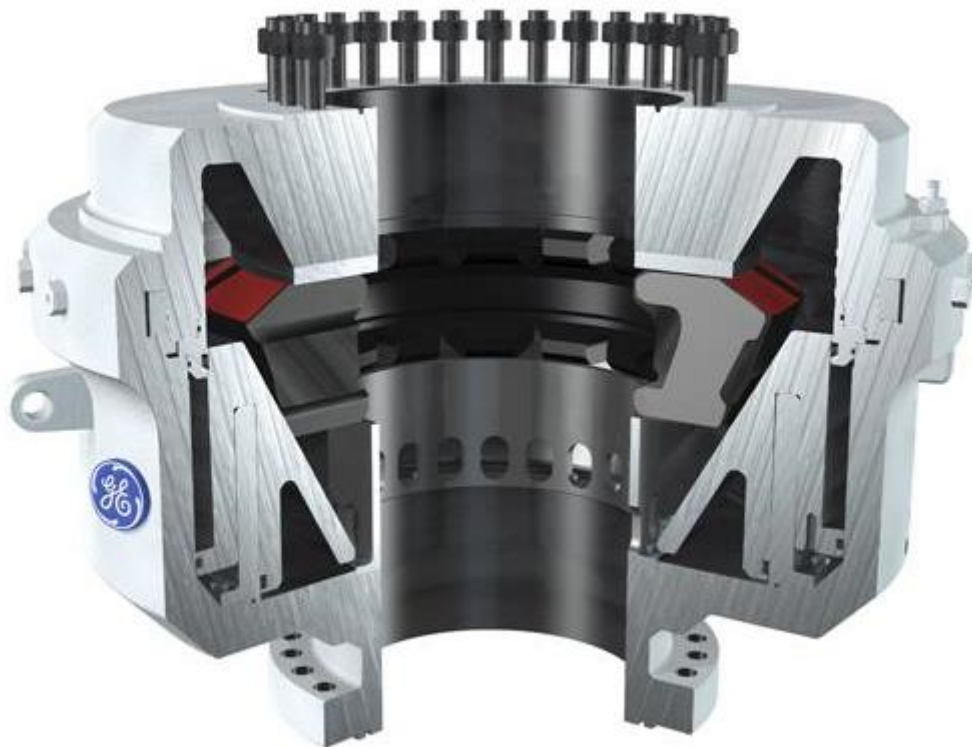
Na plutajućim odobalnim postrojenjima, diverter ima jednu od ključnih uloga za sigurno rukovanje i preuzimanje plina iz plitko zaliježućih pješčanih naslaga. Diverterski sklop (engl. *diverter system*) obično se sastoji od diverterskog pakera (engl. *diverter packer*), diverterskih vodova te ventila za usmjeravanje dotoka, a sastavni je dio modula teleskopske spojnice usponskih cijevi (engl. *riser slip joint package*). Uloga divertera je da u slučaju dotoka u što kraćem vremenu zatvori bušotinu te spriječi mogući dolazak dotoka na površinu (budući se radi o plinu).

Ventili na diverterskom sklopu trebaju biti međusobno povezani na način da onemoguće zatvaranje prstenastog prostora prije nego li se otvori rasteretni vod (engl. *diversion line*). Rasteretni vodovi i vodovi za ispuhivanje (engl. *vent lines*) obično su promjera 304,8 mm (12 in) ili veći kako bi se minimizirao protutlak (engl. *backpressure*) na bušotinu.

Kao i kod drugih prstenastih preventera, brtveni elementi trebaju biti u mogućnosti djelovati pod što manjim hidrostatskim tlakom. Razlog tomu je što apsolutno brtvljenje oko niza bušaćeg alata nije često potrebno, a i preveliki tlakovi koji bi se u suprotnom mogli razviti, dovode do preranog trošenja brtvećih elemenata (deformiranja i napuknuća). Tlakovi zatvaranja variraju s obzirom na vrstu preventera i uvjete koji vladaju u bušotini. Prema tome, generalno gledajući, tlakovi zatvaranja kod integriranih sustava usponskih cijevi i divertera (engl. *integral riser diverter system*) kreću se između 2,76 i 4,14 MPa (400 i 600 psi) ili više.

Diverterski sklop nije dizajniran da izdrži velike tlakove. Stoga, ako ga je potrebno ispitati, testira se samo na manje tlakove tj. na one zahtijevane projektom u skladu s API preporukama (WCS, 2002).

Na slici 4-1 prikazan je GE MSPTM diverter za srednje radne tlakove (engl. *Medium Service Pressure – MSP*) unutarnjeg promjera 749,3 mm (29 ½ in).



Slika 4-1. GE MSP™ diverter za srednje radne tlakove unutarnjeg promjera 749,3 mm (GE Oil & Gas, 2017)

4.1. Kada se koristi diverter?

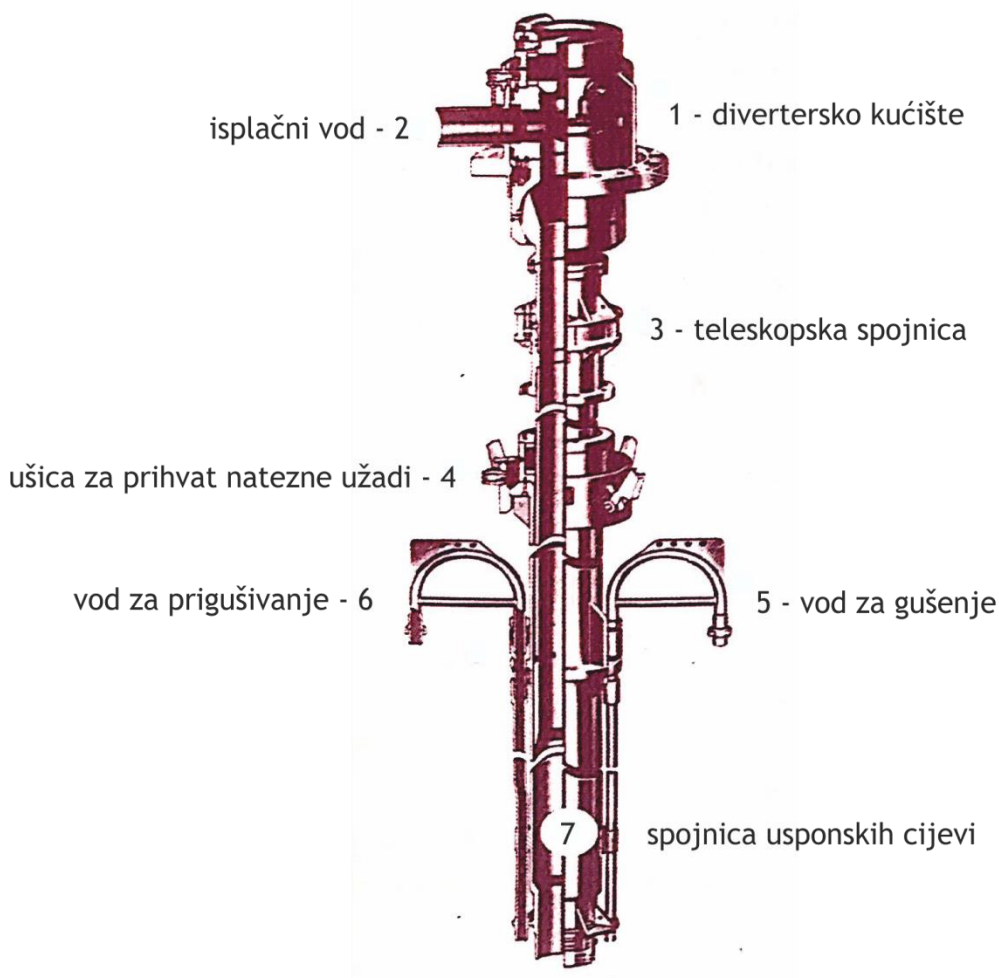
Ne postoji jasan konsenzus o tome do koje bi se dubine mora trebao koristiti diverter. Mnogi operatori i izvođači radova slažu se kako bi diverter svakako trebao biti u upotrebi na dubinama do 182,9 m (600 ft). Međutim, problem se javlja u dubljim vodama gdje plin dosta brže ekspanrira u usponskim cijevima zbog velike brzine protjecanja prema površini. Razlog tomu je što većina izvedbi preventera i njima popratne opreme nije dorasla zahtjevima po pitanju sigurnog rukovanja plinom, a zabilježeno je i nekoliko slučajeva kada je plin prodro oko BOP-a kroz morsko dno.

Uobičajeni preventeri tj. preventerski elementi nisu u mogućnosti podnijeti prekomjerne sile i/ili brzine protjecanja. Ako dođe do napuknuća elementa, neminovno je da će doći i do problema. Čepljenja, puknuća i nepravilna spajanja vodova samo su neke od stavki koje izazivaju probleme.

Teleskopska spojnica (engl. *slip joint*) izdužuje se pod utjecajem tlaka i sile koja djeluje prema dolje, tjerajući diverterski paker iz njegova kućišta (engl. *diverter housing*). Ponekad, kada ni diverter ni teleskopska spojnica ne mogu izdržati naprezanja tj. kada

dođe do krajnje točke produženja teleskopske spojnice, dolazi do rezanja zatika pri čemu kućište ostaje na mjestu.

Slika 4-2 prikazuje dijelove diverterskog sustava na kojoj broj 1 označava divertersko kućište (engl. *diverter housing*), 2 isplačni vod (engl. *flow line*), 3 teleskopsku spojnicu, 4 ušicu za prihvat natezne užadi (engl. *riser tensioning line eyes*), 5 i 6 vodove za gušenje i prigušivanje te broj 7 spojnicu usponskih cijevi (engl. *riser joint*) (WCS, 2002).



Slika 4-2. Dijelovi diverterskog sustava (prilagođeno prema: WCS, 2002)

Mehanizam zatvaranja diverterskog pakera (gume) obično je pokretan zrakom (engl. *air-actuated*), stoga ako dođe do prekida ili kolebanja tlaka zraka u sustavu, otvaranje/popuštanje divertera je zagarantirano. Alternativa tomu je sustav pokretan tekućinom (engl. *hydraulic actuating system*).

Diverterski sustav trebao bi biti izveden što jednostavnije moguće. Vodovi bi trebali biti što kraći i pravocrtiji, a elementi jednostavni za održavanje i podmazivanje.

4.2. Ispuhivanje plina putem divertera

Svi postupci ispuhivanja plina putem divertera (engl. *shallow gas diverter procedures*) započinju jednako, a daljnji tijek im ovisi obzirom na vrstu isplačnog fluida koji se koristi tijekom bušenja. Prema tome, postoji postupak ispuhivanja vodom (engl. *diverter procedure with water*) i postupak ispuhivanja isplakom (engl. *diverter procedure with mud*).

4.2.1. Postupak ispuhivanja vodom

Ovo je najjednostavniji i najčešći oblik ispuhivanja plina iz plitkih naslaga. Ako niti jedan drugi postupak nije moguće primijeniti, sve se treba vratiti na početak za primjenu ovog postupka.

Osnovna ideja je da se plinska leća iscrpi što prije ili da dođe do kolapsa bušotine, kako se ne bi ugrozila sigurnost postrojenja. Dotoci plina su iznenadni i jako brzi, stoga nije potrebno trošiti vrijeme na uspostavljanje kontrole tlaka u bušotini tj. na gušenje bušotine. Postupak ispuhivanja vodom je sljedeći (WCS, 2002):

- 1) Kada se uoči dotok plina, zadignuti radnu šipku iznad zaštitnog prijelaza radne šipke (engl. *clear kelly sub*) ili iznad sigurnosnog ventila (engl. *safety valve*).
- 2) Isključiti isplačne sisaljke i provjeriti je li stvarno došlo do dotoka. Ako je više nego očito da plin ulazi u bušotinu, isplačne sisaljke ne isključivati.
- 3) Obavijestiti nadležne i oglasiti alarm.
- 4) Otvoriti vodove za ispuhivanje na površini (engl. *overboard lines*) te zatvoriti diverterski paker.
- 5) Uključiti isplačne sisaljke na maksimalnu dobavu.
- 6) Otvoriti usis sisaljki za morsku vodu.
- 7) Nastaviti pumpati morsku vodu maksimalnom dobavom kako bi se održavao tlak u bušotini te kako bi se smanjila mogućnost pojave vatre ili eksplozije.

4.2.2. Postupak ispuhivanja isplakom

Ovaj postupak nastoji ugušiti bušotinu s unaprijed pripremljenom otežanom isplakom, a odvija se ovim redoslijedom (WCS, 2002):

- 1) Kada se uoči dotok plina, zadignuti radnu šipku iznad zaštitnog prijelaza radne šipke ili iznad sigurnosnog ventila.

- 2) Isključiti isplačne sisaljke i provjeriti je li stvarno došlo do dotoka. Ako je više nego očito da plin ulazi u bušotinu, isplačne sisaljke ne isključivati.
- 3) Obavijestiti nadležne i oglasiti alarm.
- 4) Otvoriti vodove za ispuhivanje na površini te zatvoriti diverterski paker.
- 5) Uključiti isplačne sisaljke na maksimalnu dobavu.
- 6) Otvoriti usis sisaljki za otežanu, unaprijed pripremljenu isplaku, a potom zatvoriti usis za do tada korištenu isplaku.
- 7) Nastaviti s usisom sve dok tlak sisaljki ne poraste ili dok se isplaka ne pojavi na površini.
- 8) Ako tlak isplačnih sisaljki poraste, bušotina je ugušena. Sigurnosti radi, provjeriti dotok (engl. *flowcheck*).
- 9) Ako ne dođe do porasta tlaka, bušotina još uvijek nije ugušena. Nastaviti s cirkulacijom te čekati da se isplaka pojavi na površini. Kada se pojavi, uključiti usis morske vode.

4.3. Alternativa diverterskom sustavu

Alternativa diverterskom sustavu, u slučaju da se isti ne može koristiti, je prstenasti preventer smješten ispod teleskopske spojnice (engl. *upper riser annular preventer*). Teleskopska spojnica treba imati poseban vod (engl. *drape line*) spojen s razdjelnikom sapnice (engl. *choke manifold*) na podištu tornja. Koristeći ovaj sustav, zajedno s usponskim cijevima, može se ostvariti kontrola tlaka i fluida s površine te samim time smanjiti moguće onečišćenje.

Na ovaj način štite se brtve teleskopske spojnice. U slučaju da tlak dosegne granicu tlaka frakturiranja sloja ili rasprskavanja usponskih cijevi, moguće je otvoriti prethodno spomenuti prstenasti preventer te ispustiti višak tlaka kroz diverterski sustav. Još jedna prednost ovog sklopa je i mogućnost cirkulacije zarobljenog plina (engl. *trapped gas*) iz protuerupcijskog sklopa (engl. *BOP stack*) (WCS, 2002).

Uz sve to, postoje i negativne strane ovog sustava. Osim povećanih troškova nabave i održavanja, potrebno je povećati uzgon kako ne bi došlo do gnječenja (kolapsa) usponskih cijevi zbog prekomjerne težine (WCS, 2002).

5. SPECIFIČNOSTI KONTROLE TLAKA KOD ODOBALNOG BUŠENJA

Tri primarne cirkulacijske metode koje se koriste za kontrolu tlaka u bušotinama (engl. *well control*) su (WCS, 2002):

- inženjerska metoda (engl. *Wait & Weight Method – W&W*),
- bušača metoda (engl. *Driller's Method*) i
- istodobna metoda (engl. *Concurrent Method*).

Njihova primjena u podmorskim operacijama nešto je složenija, tim više što se radi o većoj dubini mora. Četiri glavne specifičnosti koje se trebaju uzeti u razmatranje za razliku od njihove primjene na kopnu su (Grace, 2003; WCS, 2002):

- fluktuacije u protoku i isplačnim bazenima zbog pomicanja plovila (engl. *fluctuations in flow rate and pit volume*),
- pad tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja (engl. *Choke Line Friction Pressure – CLFP*),
- smanjeni gradijenti tlaka frakturiranja,
- zarobljeni plin u protuerupcijskom sklopu na velikim dubinama (engl. *gas trapped in the BOP stack at great depths*).

5.1. Fluktuacije u protoku i isplačnim bazenima

Zbog okomitog pomicanja, posrtanja i ljuljanja bušaće platforme/broda, jako je teško prepoznati primarne pokazatelje dotoka čak i u bazenima s plutajućim krovom (engl. *floater, floating-roof tank*). Isplaka u bazenima se giba zajedno s plovilom te zapljuskuje (engl. *sloshes*) stranice isplačnog bazena onemogućavajući pri tom pravovaljano očitavanje razine u njima.

Mnoge tehnike su razmatrane i predlagane kako bi se smanjio utjecaj pomicanja plovila, no nijedna još nije u potpunosti zadovoljila. Najbolje prihvaćena od njih je „*pit volume totalizer*“ tehnika, no ona zahtjeva velik broj senzora koji kompenziraju pomake plovila. Još jedna od zanimljivih ideja bila je i elektronički indikator smješten na dnu mora koji bi pomoću zvuka mjerio protok. Ideja je za sada napuštena zbog ograničenosti opreme.

Kako bi se u konačnici dobila što brža i preciznija informacija o potencijalnom dotoku, osoblje zaduženo za detekciju dotoka mora kombinirati nekoliko izvora detekcije (Grace, 2003). Neki od tih izvora opisani su u poglavlju 3.2.

5.2. Pad tlaka u vodu za prigušivanje

Za razliku od kopnenih postrojenja, dužina vodova za prigušivanje u podmorskom bušenju znatno je veća zbog čega utjecaj pada tlaka unutar voda ima velik utjecaj kod primjene neke od metoda ugušivanja.

5.2.1. Problematika pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja

Zbog cirkulacije kroz vod za gušenje ili prigušivanje, može doći do značajne varijacije tlaka unutar bušotine. Ta pojava naziva se padom tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja, a u anglosaksonskoj literaturi poznata je još i kao: *circulating frictional pressure loss*, *choke line pressure*, *pressure drop* itd.

Pad tlaka u vodu za prigušivanje mora se precizno odrediti kako bi se minimizirao rizik gubitka isplake i/ili frakturiranja sloja tijekom postupka ugušivanja. U kopnenim operacijama bušenja, pad tlaka u vodu za prigušivanje obično je zanemariv zbog toga što redovito iznosi manje od 3,44 bar (50 psi). Međutim, u podmorskim operacijama bušenja vodovi za gušenje i prigušivanje dugi su barem koliko su ukupno duge usponske cijevi. Prema tome, što su usponske cijevi duže, to su i vodovi za gušenje i prigušivanje duži, a samim time veći je i pad tlaka zbog trenja.

Zbog toga što se pad tlaka u vodu za prigušivanje mijenja promjenom reoloških svojstava isplake, jednako ga je potrebno odrediti kako i (smanjene) tlakove cirkulacije za gušenje. Osim reoloških svojstava isplake, na njegov iznos još utječu duljina i unutarnji promjer vodova za gušenje i prigušivanje te dobava isplačnih sisaljki. Iz jednostavne jednadžbe za protok isplake kroz bušaću šipku, može se vidjeti kako brzina protjecanja utječe do te mjere na trenje da kada bi se ona smanjila za 50 %, pad tlaka u vodu za prigušivanje bi se smanjio za oko 75 %.

Postoji nekoliko metoda za određivanje pada tlaka u vodu za prigušivanje, a osnovni način je izvođenje testa cirkulacije kroz vodove. Većina izvođača radova, seriju testova cirkulacije izvode samo kada nastavljaju s bušenjem nakon ugradnje kolone zaštitnih cijevi. Pri normalnim okolnostima, isplačne sisaljke koriste se za ugušivanje bušotine, no ako je potrebno postići veće tlakove, moguće je upotrijebiti cementacijsku pumpu. Tijekom izvođenja testa cirkulacije treba voditi računa i o mogućoj uporabi visokotlačne cementacijske pumpe (WCS, 2002).

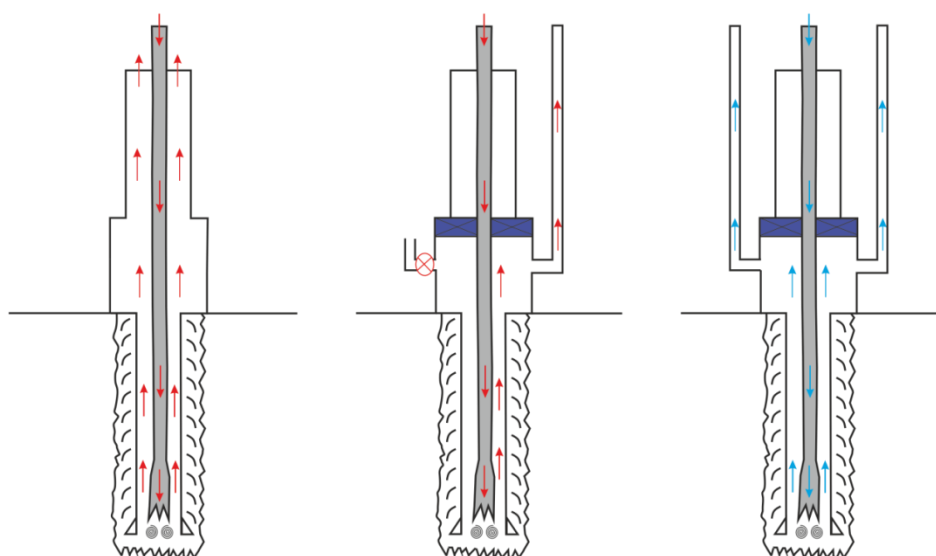
5.2.2. Metode određivanja pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja

Postoje četiri metode za određivanje pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja, a svaka od njih detaljno je opisana u nastavku (WCS, 2002).

5.2.2.1. Metoda broj 1

- 1) Cirkulirati isplaku kroz bušaću šipku prema dolje, sve dok se ne pojavi povratni tok na površini tj. dok ne dođe do razbijanja gela.
- 2) Provjeriti i zabilježiti tlak cirkulacije za nekoliko različitih dobava (dovoljne su 3 različite dobave). Jedna od dobava trebala bi biti izmjerena i pri broju hodova 20 min^{-1} . Poželjno je izmjeriti i nekoliko različitih dobava s cementacijskom pumpom.
- 3) Zatvoriti prstenasti preventer, otvoriti ventile voda za prigušivanje te provjeriti i zabilježiti tlakove cirkulacije za tri iste dobave kada se cirkulira kroz vod za prigušivanje i razdjelnik (engl. *manifold*). (Isto napraviti i s cementacijskom pumpom ako se koristi.)
- 4) Otvoriti ventile voda za gušenje, provjeriti i zabilježiti cirkulacijske tlakove za tri iste dobave kada se cirkulira kroz vod za gušenje i prigušivanje. (Isto napraviti i s cementacijskom pumpom ako se koristi.)

Prema tome, pad tlaka u vodu za prigušivanje je tlak cirkulacije kroz vod za prigušivanje (i/ili gušenje) umanjen za tlak cirkulacije kada je otvoren preventerski sklop (WCS, 2002). Na slici 5-1 dan je shematski prikaz metode broj 1.



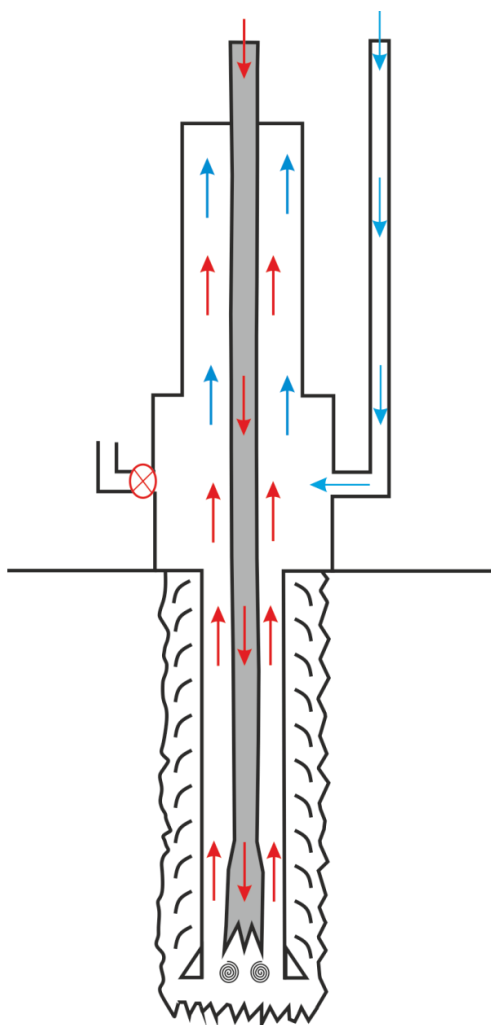
Slika 5-1. Shematski prikaz metode broj 1 kod određivanja vrijednosti pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja (prilagođeno prema: WCS, 2002)

5.2.2.2. Metoda broj 2

Sljedeća metoda koja se može koristiti za određivanje pada tlaka u vodu za prigušivanje omogućava nesmetano odvijanje uobičajenih operacija tijekom bušenja. Naime, potrebno je pri tri različite dobave pumpati isplaku niz vod za prigušivanje. Nakon toga, otvori se vod za gušenje te se istovremeno isplaka pumpa u jedan i drugi vod pri tri prethodno određene dobave.

Koristeći ovu metodu, dobije se kako je tlak cirkulacije jednak padu tlaka u vodu za prigušivanje, odnosno padu tlaka u vodovima za gušenje i prigušivanje pri određenoj dobavi.

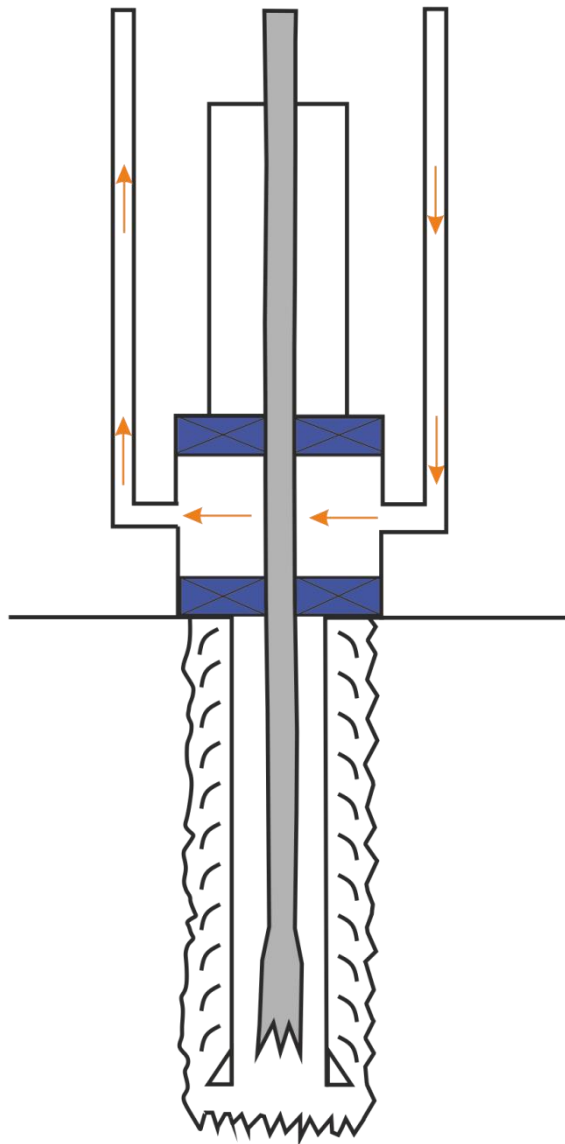
Prednost ove metode je što nema dodatnog tlaka na sloj te se može izvoditi rutinski tj. tijekom bilo kakvih aktivnosti kada je barem jedna isplačna sisaljka slobodna (WCS, 2002). Na slici 5-2 dan je shematski prikaz metode broj 2.



Slika 5-2. Shematski prikaz metode broj 2 kod određivanja vrijednosti pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja (prilagođeno prema: WCS, 2002)

5.2.2.3. Metoda broj 3

Sljedeća metoda obuhvaća cirkulaciju kroz preventerski sklop tj. jedan vod služi za cirkulaciju prema dolje, a drugi prema gore dok je preventerski sklop zatvoren ispod i iznad vodova za gušenje i ugušivanje. Vrijednost pada tlaka u vodu za prigušivanje predstavlja polovinu dobivenog tlaka pri toj dobavi. Ovaj postupak može se provesti prije početka samog iscirkuliranja dotoka kako bi se sa sigurnošću utvrdili padovi tlaka i potrebna gustoća isplake (WCS, 2002). Na slici 5-3 dan je shematski prikaz metode broj 3.



Slika 5-3. Shematski prikaz metode broj 3 kod određivanja vrijednosti pada tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja (prilagođeno prema: WCS, 2002)

5.2.2.4. Metoda broj 4

Ako se gustoća isplake promjeni, a reološka svojstva ostanu približno jednaka, pojednostavljenom matematičkom korekcijom može se dobiti aproksimacija vrijednosti pada tlaka u vodu za prigušivanje za različite gustoće fluida prema formuli 5-1 (WCS, 2002):

$$CLFP_{novi} = \frac{\rho_{I nova}}{\rho_{I stara}} \cdot CLFP_{stari} \quad (5-1)$$

gdje su:

$CLFP_{novi}$	- novi pad tlaka (Pa)
$CLFP_{stari}$	- stari pad tlaka (Pa)
$\rho_{I nova}$	- nova gustoća isplake (kg/m^3)
$\rho_{I stara}$	- stara gustoća isplake (kg/m^3)

Nove sofisticirane računalne simulacije mogu se upotrijebiti za procjenu pada tlaka u vodu za prigušivanje kada se reološka svojstva isplake značajnije promjene tj. mogu dati preciznije procjene pada tlaka zbog trenja unutar vodova za gušenje i prigušivanje (WCS, 2002).

5.3. Smanjeni gradijenti tlaka frakturiranja

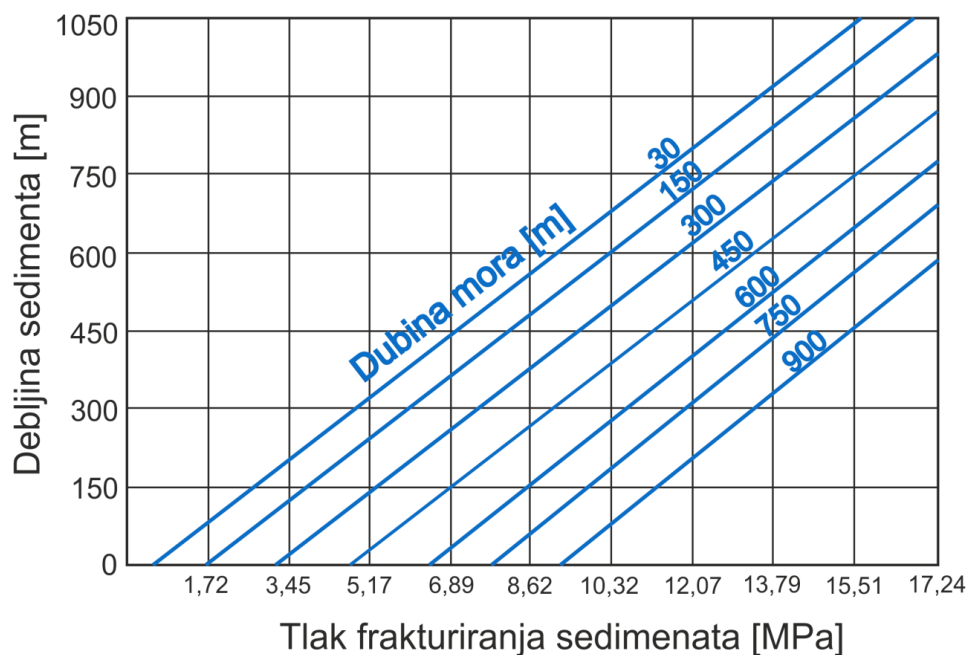
Kako se povećava dubina mora, tako se povećava i rizik od gubitka cirkulacije isplake te oštećenja slojeva (engl. *formation damage*).

U dubljim vodama, „ulogu“ pokrovnih stijena djelomično zauzima voda koja je lakša od stijena, zbog čega su gradijenti tlaka frakturiranja sloja (engl. *formation fracture gradients*) manji nego li na kopnu pri istoj dubini. U anglosaksonskoj literaturi izraz „*thin margin*“ često se koristi za označavanje smanjenja razlike tj. raspona između gradijenta pornog tlaka i gradijenta tlaka frakturiranja (Grace, 2003; WCS, 2002).

Iz prethodno navedenog razloga, tijekom bušenja početnih intervala, svaki dodatno ostvareni tlak na sloj može uzrokovati gubitak cirkulacije. Ako se pri tome upotrebljavaju usponske cijevi, za bolje iznošenje krhotina u upotrebi će biti gel-suspenzija na bazi vode (engl. *gel-water slurry*). Povećana gustoća gel-suspenzije (engl. *gel-slurry weight*) te povećana gustoća krhotina (engl. *weight of the cuttings*), zajedno s većom brzinom protjecanja kroz prstenasti prostor (zbog poboljšanog iznošenja krhotina te manjenog rizika stvaranja isplačnog „prstena“ (engl. *mud ring*) u usponskim cijevima), mogu uzrokovati lom formacija (engl. *formation breakdown*). Stoga, dok se integritet formacija ne poveća tj.

dok se ne probuše dublje, kompaktnije formacije, poželjno je kao isplačni fluid koristiti morsku vodu uz visok stupanj (veće brzine) protjecanja pri čemu upotreba usponskih cijevi nije preporučena. Ako je pak potrebno poboljšati čišćenje bušotine od krhotina, povremeno se mogu utiskivati gel-čepovi (engl. *gel pill sweep*) (WCS, 2002).

Zbog lakšeg određivanja dozvoljene gustoće isplake, za pojedina područja izrađeni su dijagrami za procjenu tlaka frakturiranja. Primjer jednog takvog dijagrama prikazan je na slici 5-4 (Grace, 2003).



Slika 5-4. Procjena tlaka frakturiranja za podmorske stijene (prilagođeno prema: Grace, 2003)

Nakon što se odredi tlak frakturiranja, dozvoljena gustoća isplake izračunava se prema jednadžbi 5-2 (Grace, 2003):

$$\rho_{I \text{ dozv.}} = p_F \div [(h_{MS} + h_M + h_{ZP}) \cdot g] \quad (5-2)$$

- gdje su:
- $\rho_{I \text{ dozv.}}$ - dozvoljena gustoća isplake (kg/m^3)
 - p_F - procijenjeni tlak frakturiranja (MPa)
 - h_{MS} - debljina marinskih sedimenata (m)
 - h_M - dubina mora (m)
 - h_{ZP} - visina zračnog prostora (m)
 - g - ubrzanje Zemljine sile teže (m/s^2)

5.4. Zarobljeni plin u protuerupcijskom sklopu nakon iscirkuliranja dotoka

Većina protuerupcijskih sklopova ne pruža mogućnost uklanjanja mjehura plina zaostalog (zarobljenog) između zatvorenog preventera i voda za prigušivanje nakon što se dotok uspješno iscirkulira. U operacijama bušenja na kopnu ovo ne predstavlja problem zato što tlak tog plina nije značajan. No, u podmorskim operacijama, tlak zarobljenog plina (engl. *trapped gas*) jednak je tlaku hidrostatskog stupca isplake zaostale u vodu za prigušivanje, zbog čega nakon otvaranja preventera može doći do nagle ekspanzije plina. Ta nagla ekspanzija, zajedno s eksplozivnom prirodom plina, može dovesti do neželjenih posljedica, zbog čega je potrebno pravovremeno ukloniti taj plin (Grace, 2003; WCS, 2002).

Jedan od načina uklanjanja tako zarobljenog plina je da se zatvori donja čeljust preventera tj. da se izolira bušotina. Nakon toga, usponske cijevi zapune se otežanom isplakom (engl. *kill-weight mud*) kroz vod za prigušivanje, a potom se zatvori diverter. Ova metoda primjenjiva je samo ako se radi o manjim dotocima nevelikih tlakova, posebice u plićim morima.

Mnogo sigurnija i uobičajenija metoda za iscirkuliranje zarobljenog plina u dubljim morima dana je u nastavku (Grace, 2003; WCS, 2002):

- 1) Nakon što se iscirkulira dotok, zatvoriti donje čeljusti preventera (engl. *lower pipe rams*) te proračunati razliku tlaka između hidrostatskog stupca otežane i olakšane isplake u vodu za prigušivanje za tu dubinu. Zatvaranje donjih čeljusti omogućit će nesmetanu upotrebu voda za gušenje i prigušivanje tj. neće doći do narušavanja tlačne ravnoteže ispod BOP-a.
- 2) Zamijeniti otežanu isplaku u vodu za prigušivanje i protuerupcijskom sklopu s olakšanom isplakom (morskom vodom), na način da se olakšana isplaka pumpa prema dolje kroz vod za gušenje tlakom proračunatim u prvom koraku. Za to vrijeme tlak na vodu za prigušivanje mora biti dostatan da spriječi ekspanziju zarobljenog plina. Prilikom ove operacije poželjno je da olakšana isplaka bude tretirana sredstvima za sprječavanje nastanak plinskih hidrata.
- 3) Zatvoriti ventil na vodu za gušenje te ispustiti plin preko plinskog separatora (engl. *gas buster*).
- 4) Zatvoriti diverter te potom otvoriti prstenasti preventer, dopuštajući pri tom preostalom plinu da se zakonom spojenih posuda (U-cijevi) digne kroz vod za gušenje sve do plinskog separatora.

5) Iscirkulirati isplaku u usponskim cijevima s otežanom isplakom kroz vod za gušenje.

6) Otvoriti donje čeljusti preventera.

Još jedna od metoda je da se instalira dodatni izlaz voda za prigušivanje (engl. *additional choke outlet*) odmah ispod gornjeg prstenastog preventera tj. izlaz koji bi bio povezan s donjim sklopom usponskih cijevi. Taj izlaz omogućio bi u slučaju cirkulacije minimalno zaostajanje plina.

Važno je napomenuti kako turbulentni protok kroz vodove za gušenje, prigušivanje i protuerupcijski sklop tijekom provedbe ovih metoda omogućuje poboljšano uklanjanje zarobljenog plina (WCS, 2002).

Naposljetku, zabilježeno je kako na dubinama mora većim od 914,4 m (3 000 ft) nije došlo do značajnijih „zarobljavanja“ plina, no svejedno treba biti na oprezu (WCS, 2002).

6. PLINSKI HIDRATI

Plinski hidrati ne pojavljuju se često tijekom bušenja, no mogu uzrokovati ozbiljne probleme ukoliko se pojave.

6.1. Formiranje plinskih hidrata

Kao što je već rečeno, plinski hidrati (engl. *gas hydrates*) su strukture nalik ledu, nastale u prisustvu plina i slobodne vode pri povišenom tlaku i sniženoj temperaturi (nije nužno da temperatura bude ispod 0 °C). Mjesto na kojem vladaju takvi uvjeti upravo je unutrašnjost protuerupcijskog uređaja na dnu mora (Krištafor, 2016a; WCS, 2002).

Slika 6-1 prikazuje plinski hidrat dobiven jezgrovanjem u kontinentalnom plićaku (engl. *continental shelf*) na dubini od svega 6,1 m (20 ft) ispod morskog dna u Južnom Beaufortovom moru 2010. godine (Schmoker, 2010).



Slika 6-1. Plinski hidrat dobiven jezgrovanjem u kontinentalnom plićaku (Schmoker, 2010)

Formiranje hidrata izravno je povezano i s vrstom bušaćeg fluida (odnosno koliko bušaći fluid u sebi sadrži slobodne vode), kao i o vrsti ugljikovodičnog plina. Na većim dubinama mora, temperatura vode koja okružuje BOP je niža od 4,4 °C (40 °F). Ta temperatura omogućava proces nukleacije čime započinje stvaranje hidrata (WCS, 2002).

Inače, nukleacija je početak procesa kristalizacije, prilikom čega se stvaraju jezgre čiji daljnji rast uvjetuju termodinamički procesi (Struna, 2017). U svezi s tim, općeprihvaćeno mišljenje je da temperature potrebne za početak nukleacije moraju biti ispod točke stvaranja hidrata (engl. *hydrate formation point*) (WCS, 2002).

6.2. **Mogući problemi, rješenja i prevencija stvaranja plinskih hidrata**

Najveći problemi koje stvaraju plinski hidrati su čepljenje (engl. *plugging*) preventerskog sustava i voda za prigušivanje, a zabilježeno je i nekoliko slučajeva kada su otežali tj. zakomplicirali kontrolu tlaka u bušotini (WCS, 2002).

Hidrati mogu otežati ili u potpunosti onemogućiti proces kontrole tlaka u bušotini. Ako dođe do začepjenja kontrolnog razdjelnika na površini, problem se jednostavno riješi prebacivanjem protoka na drugi slobodni vod. Međutim, ako dođe do čepjenja voda za prigušivanje ispod površine mora, npr. u razini morskog dna (engl. *mudline*), problem se umnogostručava.

Jedno od mogućih rješenja je skretanje toka na vod za gušenje. No skretanjem toka, došlo bi do čepjenja toga voda budući da isti uvjeti (uvjeti za nastanak hidrata) vladaju i u njemu.

Čimbenici koji utječu na brže stvaranje hidrata su: niska temperatura, teži plinovi i dugi vremenski periodi bez cirkulacije. Prema tome, bez obzira što se u isplaku dodaju razni inhibitori, neke čimbenike ipak je nemoguće otkloniti.

Inhibirane isplake obično sadrže 20 – 26 % masenog udjela soli. Ako ni to nije dovoljno, može se dodati do 10 % glicerola ili se mogu koristiti polimerne isplake. Isplake na bazi ulja imaju inhibirajuća svojstva sve dok se u njima ne pojavi slobodna voda.

Posebno je važno prepoznati potencijalna mjesta i uvjete nastanka hidrata. Ako postoje, bušotina ne bi smjela biti zatvorena duži vremenski period. Iz toga proizlazi kako bušaća metoda ima prednost nad ostalima tj. s cirkulacijom se može započeti čim se zabilježe tlakovi u bušotini (WCS, 2002).

6.3. **Uklanjanje hidrata**

Hidrati se mogu ukloniti zagrijavanjem, smanjenjem tlaka ili kemijskim otapanjem, pri čemu se metanol pokazao kao jedan od najefektivnijih otapala.

Ako je potrebno utisnuti kemijsko otapalo na određeno mjesto, to se izvodi kemijskim rezanjem (engl. *chemically cut*) bušaćih šipki ili spuštanjem savitljivog tubinga (engl. *coiled tubing*) na bušaćem užetu (engl. *blocked line*). Alternativa tome je spuštanje tubinga kroz bušaći niz (engl. *drill string*) ispod mjesta blokade, nakon čega se cirkulacijom vrućeg fluida nastoji zagrijati bušaći niz i prstenasti prostor te otopiti hidratnu blokadu. Ovaj postupak je relativno dugotrajan zbog toga što nije jednostavno postići temperaturu otapanja hidrata (WCS, 2002).

7. OSTALI PROBLEMI

Tijekom projektiranja bušotine, dodatnu pažnju tj. razmatranja treba posvetiti izradi „pilot“ bušotine (engl. *pilot hole*), cementaciji, mogućem gnječenju (kolapsu) i gubitku usponskih cijevi, odvajanju usponskih cijevi u slučaju hitnosti te remontnim operacijama.

7.1. „Pilot“ bušotina

Kada se planira bušiti neistraženo područje, treba razmotriti izradu „pilot“ bušotine, odnosno kanala smanjenog promjera (engl. *slimhole*). Izrada takvog kanala ima višestruke prednosti. Te prednosti očituju se u tome što se kanal smanjenog promjera izrađuje brže i jednostavnije, a samim time studije vezane za ispitivanje svojstava formacija bivaju prije gotove.

Ako se buši uz primjenu usponskih cijevi, uzlazna cirkulacija (engl. *bottoms up*) isplake bit će brža zbog smanjenog obujma prstenastog prostora. Bojazan od pojave bušačeg plina (engl. *drill gas*) također je smanjena zbog smanjenog promjera bušotine, kao i mogućnost pojave dotoka (engl. *flow potential*). Velik problem jedino može predstavljati erozija stijenke kanala bušotine zbog povećane brzine protjecanja isplake (WCS, 2002).

7.2. Cementacija

Dovoljna količina cementa trebala bi biti dostupna na bušačoj platformi/brodu prije početka samog bušenja, kako bi se cementacija zaštitnih cijevi mogla uspješno izvesti. Isto tako, ta količina trebala bi biti dovoljna i za čepljenje (engl. *plug off*) bušotine u izvanrednim situacijama (WCS, 2002).

7.3. Usponske cijevi

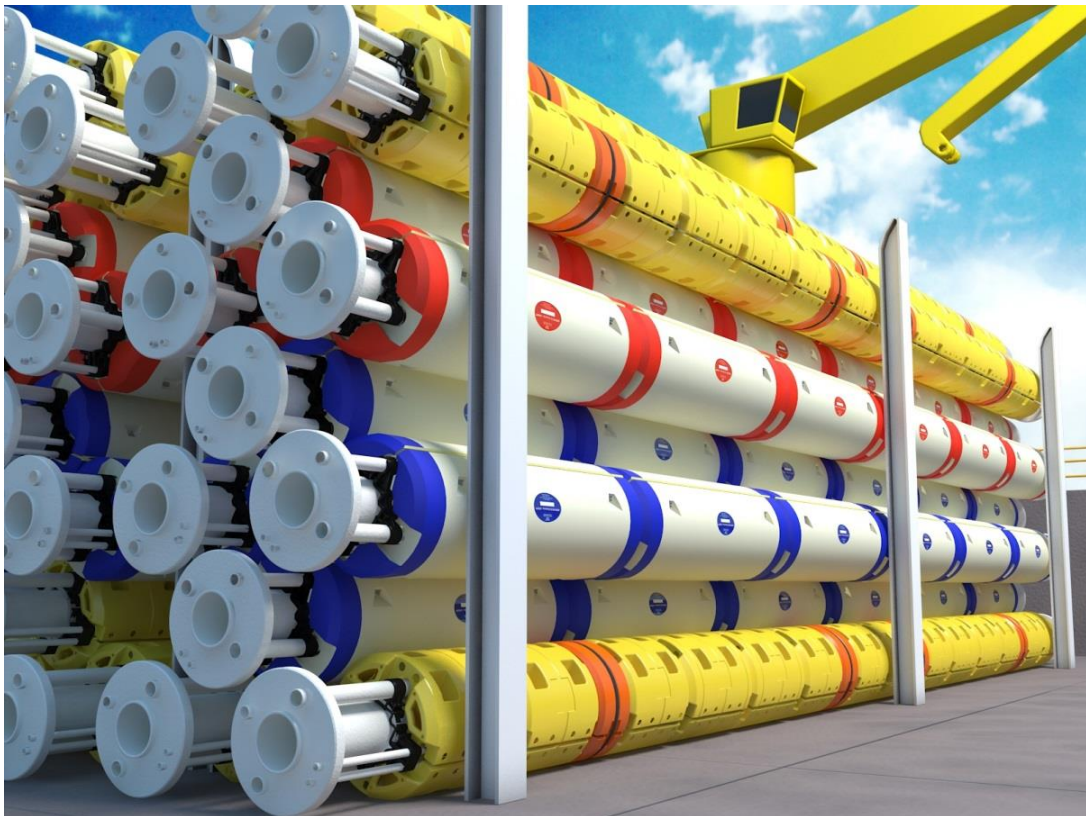
Usponske cijevi (rajzer) moraju biti dizajnirane tako da uspješno podnose bočne (lateralne) sile nastale zbog tlaka morske vode (tlakovi gnječenja), kao i pomake bušaće platforme/broda s obzirom na ušće bušotine. Slika 7-1 prikazuje usponske cijevi.

Glavne komponente niza usponskih cijevi su (WCS, 2002):

- hidraulička spojnica (engl. *hydraulic connector*),
- prstenasti preventer (engl. *annular preventer*),
- kuglasta spojnica (engl. *lower flex (ball) joint*),
- fleksibilni cjevovod vodova za gušenje i prigušivanje (engl. *flexible piping for choke and kill lines*),

- usponske cijevi i spojnice (engl. *riser pipes and connectors*),
- spojnice vodova za gušenje i prigušivanje (engl. *choke and kill line connections*),
- teleskopska spojnica (engl. *slip (telescoping) joint*),
- diverterski sustav (engl. *diverter system*),
- natezni sustav (engl. *tension system*).

Hidraulička spojnica nalazi se na preventerima, a svrha joj je da omogući brzo otpajanje usponskih cijevi od preventera u slučaju nevremena. Na nju se potom nastavlja donji sklop usponskih cijevi u čiji sastav su uključeni: hidraulička spojnica, prstenasti preventer, kuglasta spojnica i fleksibilni cjevovod za vodove za gušenje i prigušivanje (Krištafor, 2016b; WCS, 2002).



Slika 7-1. Usponske cijevi (Offshoreenergytoday.com, 2017)

Tijekom dizajniranja, unutarnja čvrstoća na rasprskavanje (engl. *internal yield (burst) pressure*) ne predstavlja toliki problem, koliko ga predstavljaju otpornost na gnječenje (engl. *resistance to collapse*), naprezanje zbog istezanja (engl. *tension stress*) te osno (aksijalno) opterećenje (engl. *axial loading*).

Kako se operacije bušenja odvijaju u sve dubljim vodama, povećava se duljina usponskih cijevi, a samim time i njihova težina. Iz tog razloga, usponske cijevi oblažu se

materijalima tj. uzgonskim modulima (engl. *Drill Riser Buoyancy Modules – DRBM*), koji za cilj imaju smanjiti njihovu efektivnu težinu. Sukladno tome, uzgonski moduli podijeljeni su u dubinske razrede te su označeni raznim bojama na svojim krajevima kako bi se omogućila njihovo instaliranje na idealnu dubinu mora (Trelleborg, 2017a; WCS, 2002). U tablici 7-1 prikazana je podjela i označavanje uzgonskih modula obzirom na dubinske razrede.

Tablica 7-1. Podjela uzgonskih modula s obzirom na dubinske razrede (Trelleborg, 2017a)

Dubinski razred (m)	Dubinski razred (ft)	Boja
0 – 609,6	0 – 2,000	zelena
609,9 – 914,4	2,001 – 3,000	plava
914,7 – 1219,2	3,001 – 4,000	žuta
1219,5 – 1524,0	4,001 – 5,000	narančasta
1524,3 – 1828,8	5,001 – 6,000	crna
1829,1 – 2133,6	6,001 – 7,000	crvena
2133,9 – 2438,4	7,001 – 8,000	ljubičasta
2438,7 – 2743,2	8,001 – 9,000	smeđa
2743,5 – 3048,0	9,001 – 10,000	siva
3048,3 – 3352,8	10,001 – 11,000	svijetlo plava
3353,1 – 3657,6	11,001 – 12,000	zagasita

Slika 7-2 prikazuje uzgonske module plave i crvene boje.

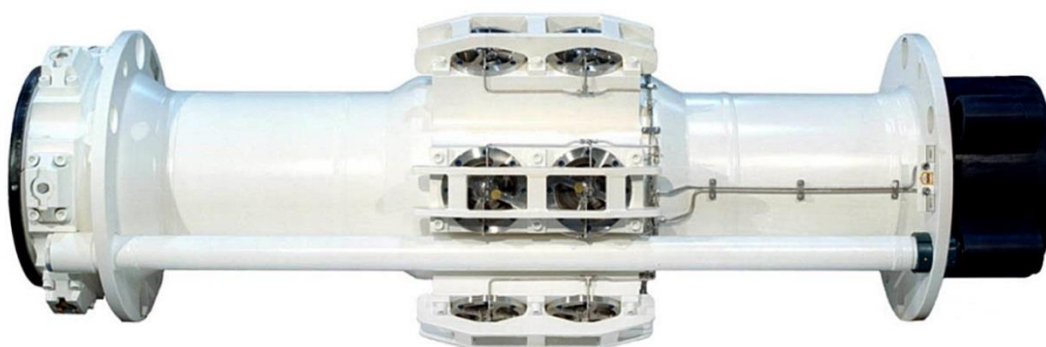


Slika 7-2. Uzgonski moduli plave i crvene boje (Trelleborg, 2017b)

7.3.1. Gnječenje (kolaps) usponskih cijevi

Zabilježeno je nekoliko nezgoda u kojima je plin „izbacio“ dovoljnu količinu isplake da izazove gnječenje usponskih cijevi. Naime, hidrostatski tlak morske vode prešao je granicu gnječenja što je u konačnici dovelo do kolapsa usponskih cijevi.

Kako bi se to spriječilo, u sustav usponskih cijevi može biti ugrađen ventil za nadopunjavanje (engl. *riser fill-up valve*). Ventil za nadopunjavanje dizajniran je tako da se otvori kada hidrostatski tlak morske vode nadvlada onaj unutar usponskih cijevi na toj dubini. Prema tome, ventil će spriječiti gnječenje (kolaps) usponskih cijevi u slučajevima njihova spuštanja u more, potpunih gubitaka isplake ili ako se usponske cijevi napune velikom količinom plina (WCS, 2002). Slika 7-3 prikazuje ventil za nadopunjavanje usponskih cijevi.



Slika 7-3. Ventil za nadopunjavanje usponskih cijevi (Pinsdaddy, 2017)

7.3.2. Gubitak isplake unutar usponskih cijevi

U slučaju gubitka isplake unutar usponskih cijevi (engl. *riser loss*), bilo zbog hitnog otpajanja (engl. *emergency drive off*), puknuća sidrenog lanca ili pak zanošenja bušaće platforme/broda vjetrom i/ili morskim strujama, doći će do smanjenja hidrostatskog tlaka na protuerupcijski sklop. Smanjenje hidrostatskog tlaka jednako je razlici hidrostatskog tlaka fluida u usponskim cijevima i hidrostatskog tlaka morske vode. Prema tome, došlo je do smanjenja hidrostatskog tlaka od površine mora do povratnog isplačnog voda izljevne cijevi (engl. *flow line*) ili zračnog prostora ispod dna pontona platforme (engl. *air gap*) (WCS, 2002).

Smanjenje tlaka tj. diferencijalni tlak (engl. *pressure differential*) može se izračunati pomoću jednadžbe 7-1:

$$\Delta p = (\rho_{UC} - \rho_{MV}) \cdot h_M \cdot g + \rho_Z \cdot h_{ZP} \cdot g \quad (7-1)$$

gdje su:

- Δp - diferencijalni tlak (Pa)
- ρ_{UC} - gustoća fluida u usponskim cijevima (kg/m³)
- ρ_{MV} - gustoća morske vode (kg/m³)
- ρ_Z - gustoća zraka (kg/m³)
- h_M - dubina mora (m)
- h_{ZP} - visina zračnog prostora (m)
- g - ubrzanje Zemljine sile teže (m/s²)

Zbog pomaka usponskih cijevi i smanjenja tlaka na protuerupcijski uređaj, potrebno je kompenzirati gustoću isplake unutar cijele bušotine. U anglosaksonskoj literaturi razlika gustoće potrebna za nadomještanje hidrostatskog tlaka naziva se „*the riser margin*“.

U dubokim vodama nije niti praktično niti jednostavno provesti kompenzaciju gustoće isplake. Međutim, u plitkim vodama, posebice ako se radi o neproblematičnim formacijama, to je i te kako izvedivo. Jednadžba 7-2 je izraz prema kojem se izračunava potrebna sigurna razlika gustoća tj. „*the riser margin*“ (WCS, 2002).

$$\Delta \rho = \Delta p \div [(TVD - h_M - h_{ZP}) \cdot g] \quad (7-2)$$

gdje su:

- $\Delta \rho$ - sigurna razlika gustoće (engl. *the riser margin*) (kg/m³)
- Δp - diferencijalni tlak (Pa)
- TVD - stvarna vertikalna dubina bušotine (m)
- h_M - dubina mora (m)
- h_{ZP} - visina zračnog prostora (m)
- g - ubrzanje Zemljine sile teže (m/s²)

7.3.3. Otpajanje usponskih cijevi u slučaju hitnosti

Plan u slučaju nepredviđenih situacija (engl. *contingency plan*), odnosno u slučajevima potrebe za hitnim otpajanjem usponskih cijevi treba biti pomno razrađen i unaprijed pripremljen. Tim planom obuhvaćene su procedure koje treba provesti kako bi se bušotina pravilno osigurala, a usponske cijevi otpojile prije nego li dođe do oštećenja ušća bušotine

(engl. *wellhead*), bušaće opreme, protuerupcijskog sklopa (engl. *BOP stack*), teleskopske spojnice, središnjeg otvora za bušenje (engl. *moonpool*) ili nateznog sustava.

Treba imati na umu kako usponske cijevi imaju ogroman „trzajni potencijal“ (engl. *recoil potential*). Taj potencijal uskladišten je kao energija nateznog sustava (unutar nateznih cilindara, užadi itd.) te kao energija nastala istežanjem samih usponskih cijevi (engl. *strain energy*). Npr. usponske cijevi duljine 1.828,7 m (6.000 ft), vanjskog promjera 533,4 mm (21 in) i debljine stjenke 15,9 mm ($\frac{5}{8}$ in) mogu se istegnuti i do 1,5 m (5 ft).

Slijed i tempiranje procesa otpajanja usponskih cijevi od krucijalne su važnost za uspješnu provedbu operacije. Sukladno tome, opći postupak otpajanja obuhvaća :

- 1) odsjedanje bušaćih alatki na čeljusti preventera,
- 2) otpajanje bušaćih alatki,
- 3) zatvaranje bušotine protuerupcijskim uređajem,
- 4) otpajanje donjeg sklopa usponskih cijevi,
- 5) potrošnju energije akumulirane u nateznom sustavu ili u samim usponskim cijevima,
- 6) osiguranje usponskih cijevi.

U planu treba razmotriti i u kojem sve položaju alatke mogu biti. Tako razlikujemo nekoliko slučajeva:

- alatke su spuštene do dna bušotine,
- dlijeto tj. alatke su zadignute iznad protuerupcijskog sklopa,
- bušaće šipke se nalaze u predjelu protuerupcijskog sklopa,
- kruti alat (engl. *Bottom-Hole Assembly – BHA*) nalazi se u predjelu protuerupcijskog sklopa,
- zaštitne cijevi nalaze se u predjelu protuerupcijskog sklopa,
- odvija se proces kontrole tlaka u bušotini (engl. *well control situation*).

7.4. Remontne operacije

Sastav erupcijskog uređaja (engl. *tree*) ovisi o njegovoj vrsti, eksploatacijskim uvjetima i unaprijed predviđenim remontnim operacijama (engl. *workovers*). Remontne operacije mogu uključivati radove opremom na žici (engl. *wireline*), savitljivim tubingom ili konvencionalnim alatkama (engl. *through-the-cap assembly entry*).

Jednom kada je preventerski sklop (engl. *stack*) instaliran na vrh erupcijskog uređaja, kontrola tlaka unutar bušotine održava se uobičajenim procedurama, osim u slučajevima kada se pojave problemi specifični za dubokomorsko bušenje (WCS, 2002).

8. ZAKLJUČAK

Pravovremeno otkrivanje dotoka, kao i kontrola tlaka u podvodnim operacijama, razlikuju se od uobičajenih kopnenih procedura. Zapravo, mehanizmi ugušivanja podvodnih bušotina ne razlikuju se od konvencionalnih kopnenih metoda sve dok je poznat pad tlaka u vodu za prigušivanje zbog trenja (CLFP), no ako on nije poznat javljaju se značajni problemi.

Obujam dotoka, kao i sama priroda okruženja radnog prostora te drugačija vrsta sedimenata od onih na kopnu (redovito su slabiji i podatniji stvaranju fraktura), dodatno kompliciraju detekciju dotoka i njegovo ugušivanje. Protuerupcijski sklopovi (BOP) obično su veći, teži i robusniji te je potrebno više radnog fluida za njihovo zatvaranje. Također, budući da se nalaze na dnu mora, nije moguće provjeriti jesu li pravovaljano zatvoreni. To u konačnici može rezultirati povećanjem dotoka i njegovim prodorom u usponske cijevi. Ako i dođe do prodora dotoka, velika je vjerojatnost da se radi o plinu koji osim što ima eksplozivna svojstva, nosi tlak sloja te ekspandira velikom brzinom uz izbacivanje isplake iz usponskih cijevi.

Kako bi se sa sigurnošću moglo tvrditi da je protuerupcijski uređaj zatvoren, obujam radnog fluida za zatvaranje nerijetko prolazi dodatna mjerenja i provjere protivne standardnoj proceduri (specifikacijama).

Uobičajeno je da se bušotina zatvara prstenastim, a ne čeljusnim preventerom. Razlog tomu je što kod upotrebe čeljusnog preventera postoji mogućnost da se zahvati spojnica, a ne tijelo bušaće šipke pri čemu neće biti ostvareno pravovaljano brtvljenje.

Važno je naglasiti i kako sva kretanja kroz zatvoreni preventer moraju biti svedena na minimum. Prema tome, nakon što se bušaće šipke propisno zadignu, a čeljusti zatvore, cijeli bušaći niz treba odsjesti u BOP uređaj. Taj postupak spriječit će nepotrebno zarobljavanje plina u protuerupcijskom sklopu, a samim time i uštedu vremena tijekom iscirkuliranja dotoka.

Naposljetku, zbog svih potencijalnih komplikacija obrađenih u ovom radu, prilikom i najmanje sumnje na dotok, treba zatvoriti bušotinu i pripremiti se za moguću proceduru iscirkuliranja dotoka.

9. POPIS LITERATURE

GAURINA-MEĐIMUREC, N., 2015. Kontrola dotoka i sprječavanje erupcija. Nastavi materijali iz kolegija Bušenje 2. u ak. god. 2015/16. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.

GRACE, R. D., 2003. Blowout and Well Control Handbook. SAD: Gulf Professional Publishing.

KRANJČEC, R., 1997. Tehnološki postupci i oprema na poluuronjivim platformama do faze izrade kanala bušotine. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

KRIŠTAFOR, Z., 2016a. Hidrati. Bilješke s predavanja iz kolegija Kontrola tlaka u bušotini. 30. svibnja 2016. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.

KRIŠTAFOR, Z., 2016b. Podvodni uređaji. Bilješke s predavanja iz kolegija Aktivnosti u akvatoriju. 6. prosinca 2016. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.

PERIĆ, M., 2007. Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Zagreb: INA Industrija nafte d.d.

WCS – Well Control School, 2002. Guide to Blowout Prevention. Harvey, Louisiana, USA: Well Control School.

Internet izvori:

BARLOW, A., 2017. Part 6 – Drilling Contractor – Subsea Crew. Pink Petro. URL: <https://community.pinkpetro.com/community/field-trips/blog/2017/01/22/part-6-drilling-contractor-subsea-crew> [19. 8. 2017.]

FIRME, V., 2016. Uruguay Seeks Future as Oil Producer in Ultra Deep Waters. URL: <http://www.ipsnews.net/2016/06/uruguay-seeks-future-as-oil-producer-in-ultra-deep-waters/> [23. 8. 2017.]

GE OIL & GAS: MSPTM Diverter. URL: <https://www.geoilandgas.com/drilling/offshore-drilling/msptm-diverter> [10. 9. 2017.]

IADC: Drilling Lexicon – Oil and Gas Drilling Glossary, 2014. Pit Volume Totalizer. URL: <http://www.iadclexicon.org/pit-volume-totalizer/> [26. 8. 2017.]

IADC: Drilling Lexicon – Oil and Gas Drilling Glossary, 2017. Mud Boost Line. URL: <http://www.iadclexicon.org/mud-boost-line/> [26. 8. 2017.]

OFFSHOREENERGYTODAY.COM: Trelleborg to Provide DSME with Drill Riser Buoyancy Modules. URL: <http://www.offshoreenergytoday.com/wp-content/uploads/2014/03/Trelleborg-to-provide-DSME-with-drill-riser-buoyancy-modules.jpg> [17. 8. 2017.]

OILFIELD GLOSSARY. URL: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/> [13. 8. 2017.]

PINSDADDY. URL: http://www.pinsdaddy.com/national-oilwell-varco_gBBRzAdCwGhF7rKJBjSZ*uQYo*Beo5%7CvDVAB5TGkIHk/IlzhJNrKXFYGeTWfsrpx7eXfonHQbDDndklmoZZesQd0BWWNDqJfSqizsZ5BznPgaasx2GYdcs6MExOqjKfrc%7CPzoXhC*JSjML7q0hJ45dQjKtGb0DVC27zWtVjBqUZHnC02UnAwQSKL*F9UZ6ZUMiw0%7CrBO%7Cna%7C4gnpSF94Kmq*z54upebRBwBmrX7rnKpv1UYl6jjD5kP6QzQpQgmMEs4hUctZhPtjJ*sVXGzEX*jrl96gI22zYsSzfM*MR6VXtvrrraAcRGzeu3iGTKZYIT6MFoyEqFWijFhg4Vc58/ [18. 8. 2017.]

SCHMOKER, B., 2010. Gas Hydrate Core Sample. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=nUluhIa-hzA> [5. 9. 2017.]

SCHULER, M., 2016. Maersk Drillship Spuds World's Deepest Well. URL: <http://gcaptain.com/maersk-venturer-begins-drilling-worlds-deepest-well/> [23. 8. 2017.]

STRUNA: Hrvatsko strukovno nazivlje. URL: <http://struna.ihjj.hr/naziv/nukleacija/6943/> [13. 8. 2017.]

SUBSEA WORLD NEWS, 2016. Fugro Provides ROV Drill Support for Western Isles Project. URL: <http://subseaworldnews.com/2016/03/21/fugro-provides-rov-drill-support-for-western-isles-project/> [21. 8. 2017.]

TRELLEBORG: Drill Riser Buoyancy Module. URL: <http://www.trelleborg.com/en/offshore/products/drill-riser-buoyancy/drill-riser-buoyancy-module> [17. 8. 2017.]

TRELLEBORG: Drill Riser Buoyancy Module. URL: <http://www.trelleborg.com/offshore/~media/offshore/images--and--product--sheets/drill-riser-buoyancy/drill-riser-buoyancy-module/drill-riser-buoyancy-5-trelleborg-offshore-gallery.jpg?w=1024> [17. 8. 2017.]

WIKIMEDIA: Blowout Preventer and LMRP with Cage. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blowout_Preventer_and_LMRP_with_cage_\(descriptions\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blowout_Preventer_and_LMRP_with_cage_(descriptions).jpg) [20. 8. 2017.]

Izjava:

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu, služeći se navedenom literaturom.

Mate Ledenko