



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA



РУДАРСКИ ФАКУЛТЕТ

**Анализа ремонтних радова на бушотинама са
дубинском пумпом на клипним шипкама на
подручју јужног дијела Панонског басена**

МАСТЕР РАД

Ментор:

доц. др Мирослав Црногорац

Студент:

Немања Пушара 53/23

Приједор, 2025. год.



UNIVERSITY OF BANJA LUKA

FACULTY OF MINING



Analysis of workover operations on rod-pumped wells in the southern part of the Pannonian basin

MASTER THESIS

Mentor:

doc. Miroslav Crnogorac, PhD

Student:

Nemanja Pusara 53/23

Prijedor, 2025.

УНИВЕРЗИТЕТУ У БАЊОЈ ЛУЦИ ПОДАЦИ О АУТОРУ ОДБРАЊЕНОГ МАСТЕР РАДА

Име и презиме аутора мастер рада: Немања Пушара

Датум, мјесто и држава рођења аутора: 30.01.1992. у Требињу, Босна и Херцеговина

Назив завршеног факултета аутора и година дипломирања: Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, фебруар 2017.

Академско звање које је аутор стекао одбраном завршног рада: Дипломирани инжењер рударства

Наслов дипломског рада аутора: Одређивање чврстоће гасовода

Академско звање које је аутор стекао одбраном мастер рада: Мастер рударства

Назив факултета на коме је мастер рад одбрањен: Рударски факултет, Приједор

Наслов мастер рада и датум одбране: Анализа ремонтних радова на бушотинама са дубинском пумпом на клипним шипкама на подручју јужног дијела Панонског басена

Научна област мастер/магистарског рада према CERIF шифрарнику: Т340 Рударство

Имена ментора и чланова комисије за одбрану мастер/магистарског рада:

У Приједору, дана _____

Декан

АНАЛИЗА РЕМОНТНИХ РАДОВА НА БУШОТИНАМА СА ДУБИНСКОМ ПУМПОМ НА КЛИПНИМ ШИПКАМА НА ПОДРУЧЈУ ЛУЖНОГ ДИЈЕЛА ПАНОНСКОГ БАСЕНА

Резиме

Овај мастер рад се бави анализом система дубинског пумпања на клипним шипкама (SRP - Sucker Rod Pumping), који представља једну од најчешће примјењиваних метода вјештачког подизања нафте у условима смањеног резервоарског притиска. У раду је дат приказ основних елемената система, критичних оперативних параметара и узрочника смањене запреминске ефикасности, са посебним освртом на негативан утицај слободног гаса. Обрађене су методе дијагностике као што су анализа динамограма и акустично мјерење нивоа флуида, као и поступци пројектовања и планирања ремонтних интервенција. Кроз студију случаја бушотина приказане су реалне техничке мјере које доводе до повећања поузданости, продужења интервала између кварова и смањења трошкова одржавања. Рад указује на значај примјене интегрисаног приступа одржавању, увођење напредних материјала и софтверских алата, као и неопходност континуираног мониторинга система у реалном вријемени.

Кључне ријечи: дубинска пумпа, клипне шипке, механичке методе, ремонт бушотине, дијагностика, Панонски басен

ANALYSIS OF WORKOVER OPERATIONS ON ROD-PUMPED WELLS IN THE SOUTHERN PART OF THE PANNONIAN BASIN

Abstract

This master's thesis analyzes the sucker rod pumping (SRP) system, which remains one of the most widely used artificial lift methods in oil production under reduced reservoir pressure. The study presents the key components of the system, critical operating parameters, and the main causes of reduced volumetric efficiency, with a particular focus on the adverse effects of free gas. Diagnostic methods such as dynamometer card analysis and acoustic fluid level measurements are discussed, along with approaches to system design and planning of well interventions. Through case studies of wells, the research demonstrates the practical impact of engineering optimization measures on improving reliability, extending run time between failures, and lowering maintenance costs. The thesis highlights the importance of integrated maintenance strategies, the application of advanced materials and software tools, and the necessity of real-time system monitoring.

Keywords: sucker rod pump, artificial lift, workover, diagnostics, Panonnian Basin

Садржај

1	Увод	6
2	Преглед литературе	7
3	Систем за дубинско пумпање на клипним шипкама	8
3.1	Дубинске пумпе на клипним шипкама са качаљком	8
3.2	Опрема за дубинско пумпање	10
3.2.1	Површинска опрема за дубинско пумпање	23
3.3	Систем анализа рада и пројектовање система за дубинско пумпање	26
3.3.1	Основе систем анализе дубинског пумпања	26
3.3.2	Избор максималне брзине пумпања	28
3.3.3	Запреминска ефикасност пумпе и утицај гаса	30
3.3.4	Пројектовање система за дубинско пумпање	34
3.4	Дијагностика рада и проблема	37
3.4.1	Динамограм	38
3.4.2	Одређивање динамичког притиска на дну и усисног притиска на основу динамограма	40
3.4.3	Акустично мјерење нивоа флуида (сонолог)	40
3.4.4	Одређивање динамичког притиска на дну коришћењем података акустичног мјерења нивоа флуида	41
3.5	Подјела ремонтних радова	42
3.6	Ремонтно постројење и опрема бушотине	43
3.6.1	Гравел-пак	45
3.6.2	Пушке за напуцавање	51
3.6.3	Алат за инструментацију	54
3.6.4	Ремонтни радови на производним бушотинама	55
3.7	Програмирање ремонтних радова у нафтним и гасним бушотинама	57
4	Студија случаја	58
4.1	Ремонт бушотине X-1	58
4.1.1	Ток ремонта	58
4.1.2	Интервенције у каналу бушотине	60
4.1.3	Резултати	60
4.1.4	Закључак	60
4.2	Ремонт бушотине X-2	61

4.2.1	Ток ремонта	61
4.2.2	Техничке интервенције.....	63
4.2.3	Резултати.....	63
4.2.4	Закључак	63
5	Закључак	64
6	Литература	65

1 Увод

Експлоатација нафте и гаса представља један од најкомплекснијих инжењерских задатака, јер обухвата широк спектар метода, технологија и приступа који се морају прилагодити условима лежишта. Механичке методе вјештачког подизања флуида, нарочито системи дубинских пумпи на клипним шипкама (SRP - Sucker Rod Pumping), нашле су широку примјену у регионима са средњим и ниским резервоарским притисцима. Ова метода користи систем надземне и подземне опреме за трансформацију механичке енергије у потенцијалну, омогућавајући тиме изношење флуида на површину чак и у условима значајно смањеног природног притиска у резервоару.

У домаћим условима, нарочито у јужном дијелу Панонског басена, дубинске пумпе на клипним шипкама доминирају као метод експлоатације због специфичне геологије, варијабилног притиска и слојевитости лежишта. Међутим, ефикасност овог система значајно зависи од квалитета одржавања и периодичних ремонтних интервенција. Кварови на клипним шипкама, вентилима, пумпама као и кварови настали услед слојних проблема (парафин, пијесак, гасна сепарација) представљају изазове који захтијевају системску анализу и инжењерско приступање рјешавању проблема.

Савријемени трендови у нафтној индустрији све више укључују дијагностику у реалном вријемени, примјену софтверских модела за анализу динамограма и предикцију кварова, као и дигиталне алате за праћење перформанси система. У том контексту, ремонтни радови не смеју више бити схваћени као пука физичка интервенција, већ као оптимизовани инжењерски процес који укључује анализу претходних кварова, пројектовање новог система рада, избор одговарајуће опреме и евалуацију ефеката.

Циљ овог истраживања је свеобухватна анализа фактора који утичу на кварове и перформансе система дубинског пумпања на клипним шипкама, са фокусом на бушотине јужног дијела Панонског басена. Рад обухвата пријеглед литературе, анализу конкретних случајева, упоређење са међународним праксама и приједлог стратегија оптимизације. На основу идентификованих узрока отказа и утицаја различитих фактора на ефикасност система, биће предложене техничке и организационе мјере за унапријеђење процеса одржавања и продужење интервала рада без квара, које могу унаприједити поузданост и економичност експлоатације нафте у домаћим условима.

2 Преглед литературе

Развој система дубинског пумпања на клипним шипкама има дугу историју у нафтној индустрији. Традиционални извори, као што су радови Солеше (2003), Зелића и Чикеша (2006), дају детаљан приказ компоненти система, принципа рада и механичких ограничења, као и описа кварова карактеристичних за домаћа нафтна поља. У тим радовима јасно су идентификовани изазови у експлоатацији, укључујући замарање клипних шипки, оштећење вентила, механичко хабање и формационе утицаје.

У последње двије деценије, са развојем рачунарства и мјерних технологија, дошло је до значајних унапријеђења у анализи и одржавању система SRP. Takacs (2015) уводи свеобухватан приручник за пројектовање дугоходних пумпи, са посебним освртом на динамичке силе које дјелују у систему и енергетске аспекте рада. У истом периоду, софтверски алати као што су SROD, XSPOC, RodDiag и RodStar омогућили су реалистичне симулације рада и значајно допринијели оптимизацији пумпања.

Најновија истраживања, као што су Wang et al. (2022), Kumar et al. (2023), и Dutta et al. (2020), фокусирају се на примјену предиктивне аналитике, алгоритма машинског учења и IoT (Internet of Things-интернет ствари) сензора за надзор рада пумпи у реалном вријемени. Ти приступи омогућавају инжењерима да на основу података о вибрацијама, динамограмима и трендовима потрошње енергије предвиде кварове прије него што до њих дође, чиме се смањују застоји и повећава оперативна ефикасност.

Литература такође указује на значајан утицај слободног гаса на волуметријску ефикасност пумпе. Wang et al. (2021) и други истраживачи су моделовали ефекте присуства слободног гаса у цилиндру и показали да правилна уградња гасног сидра и избор дубине могу утицати на повећање EV (волуметријске ефикасности) и смањење губитака. Примјеном емпиријских модела и симулација утврђено је да је најповољнији услов рада онај када је притисак на усису пумпе већи од притиска засићења.

Поред тога, међународни радови (SPE конференције, Journal of Petroleum Science and Engineering) указују на све већу примјену антикорозивних легура, керамичких кошуљица и модерних вентила отпорних на хабање. Такви материјали су се показали значајним у продужењу вријемења између два ремонта и редукцији укупних оперативних трошкова.

Коначно, преглед литературе указује на то да успјех у раду дубинских пумпи све више зависи од интегрисаног приступа који укључује: правилно пројектовање система, оптимизацију дубине уградње, константан надзор параметара рада и прецизно планирање одржавања на основу историјских и података у реалном вријемени.

3 Систем за дубинско пумпање на клипним шипкама

Дубинско пумпање је најчешће коришћена механичка метода за вађење нафте. Ова метода функционише тако што дубинска пумпа претвара механичку енергију у потенцијалну, чиме повећава притисак флуида. Притисак флуида при уласку у пумпу зове се усисни притисак, док је притисак на излазу потисни притисак. Разлика између ова два притиска назива се притисак пумпања и она показује колико је потенцијална енергија флуида порасла. Међутим, само дио укупне механичке енергије троши се на то повећање, док се остатак користи за покретање клипа пумпе. Ефикасност рада пумпе зависи од тога колико успјешно се механичка енергија претвара у корисну потенцијалну енергију флуида.

Подјела дубинских пумпи изведена је на основу начина на који се остварује пријенос и трансформација кретања мотора. Према том принципу, дубинске пумпе се могу подијелити у двије основне групе:

1. *Дубинске пумпе на клипним шипкама.* Кретање клипа се остварује трансформацијом обртног кретања мотора у наизмјенично кретање клипа. Трансформација ротационог кретања може се постићи механички помоћу полуге и то су дубинске пумпе на клипним шипкама са качаљком.
2. *Дубинске пумпе без клипних шипки.* Овим дубинским пумпама углавном припадају клипне и центрифугалне. Постоје и неки други типови (нпр. мембранске), али су оне од мањег значаја. Хидрауличке клипне пумпе без клипних шипки покрећу се хидрауличким мотором, који је саставни дио пумпе, а у погон се ставља снагом флуида. Хидрауличке млазне пумпе функционишу на принципу повећања кинетичке енергије узлазне струје флуида његовим мијешањем са погонским флуидом који се утискује или кроз други низ цијеви или кроз међупростор. Центрифугалне пумпе се покрећу електричним мотором који се спушта у бушотину заједно са пумпом. Овај тип пумпи се назива електрична потопљена центрифугална пумпа (ESP).

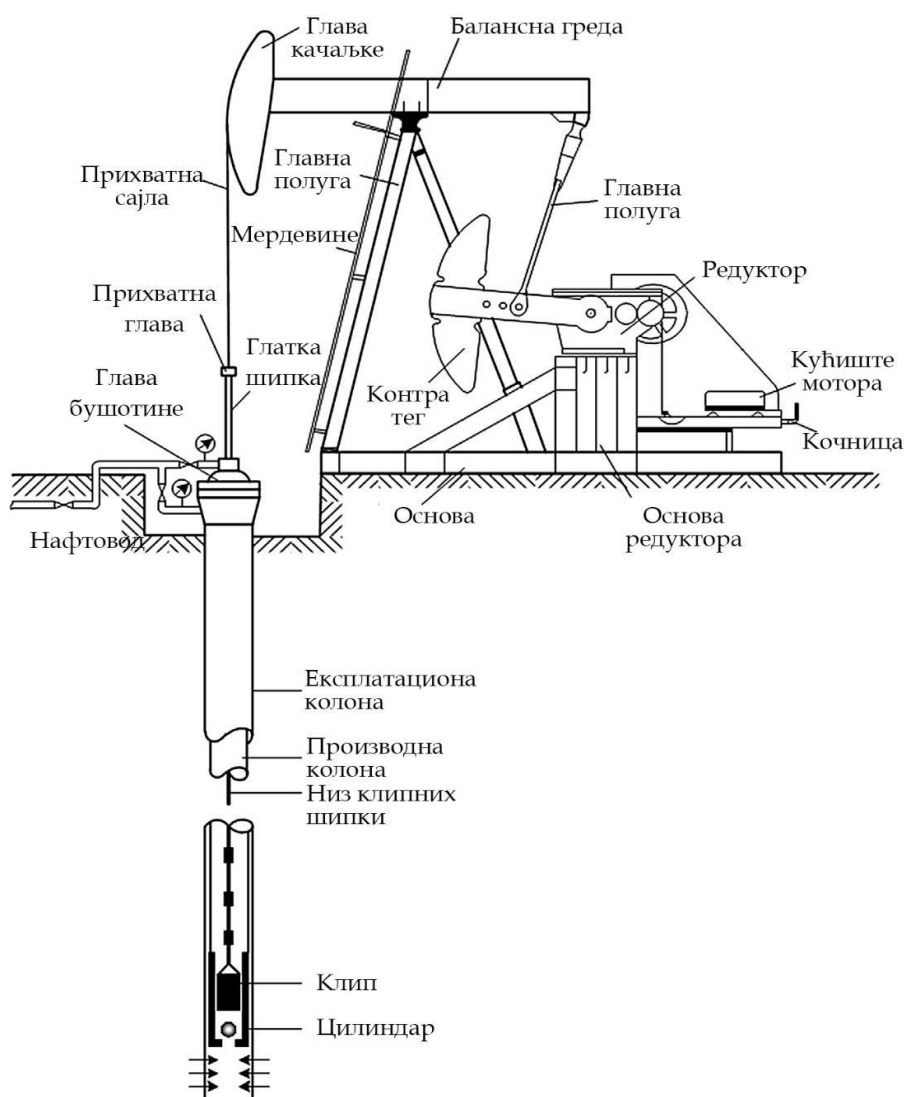
Од свих до сада примијењених пумпи за производњу нафте, готово 80-90% припада дубинским пумпама на клипним шипкама.

3.1 Дубинске пумпе на клипним шипкама са качаљком

Систем за дубинско пумпање, приказан на слици 3.1, састоји се од два главна дијела: надземних и подземних компоненти. Електромотор ротационо покреће систем, а пријеко трапезног каиша се тај покрет преноси на редуктор, при чему се број обртаја смањује. Тиме се регулише број ходова глатке шипке. Ход глатке шипке је отприлике двоструко већи од дужине регулационе полуге, чиме се обезбјеђује да балансна греда има једнако дугачке кракове.

Ход глатке шипке и дужина регулационе полуге могу се подешавати у одређеном опсегу, што зависи од начина на који је качаљка конструисана. Покрет се даље преноси преко полуга до балансне греде и главе качаљке. На кретање глатке шипке утичу елементи као што су постоље качаљке, балансна греда и глава качаљке. Током једног радног циклуса, промјене оптерећења шипке се избалансирају помоћу тегова постављених на главној полузи и балансној греди.

Клипне и глатка шипка су повезане са главом качаљке преко носача. На крају цијеви (тубинга) постављена је дубинска пумпа у којој се клип креће. Када клип иде нагоре, потисни вентил се затвара, па клип подиже флуид кроз простор између цијеви и шипки. Истовремено, усисни вентил је отворен, омогућавајући да флуид уђе у пумпу кроз филтер на дну. Када клип иде надоле, потисни вентил се отвара, усисни се затвара, и пумпа се пуни флуидом.



Слика 3.1 Производна опрема бушотина у дубинском пумпању

3.2 Опрема за дубинско пумпање

Саставни дијелови опреме за дубоко пумпање су:

- подземна опрема,
- површинска опрема.

Подземна опрема за дубинско пумпање

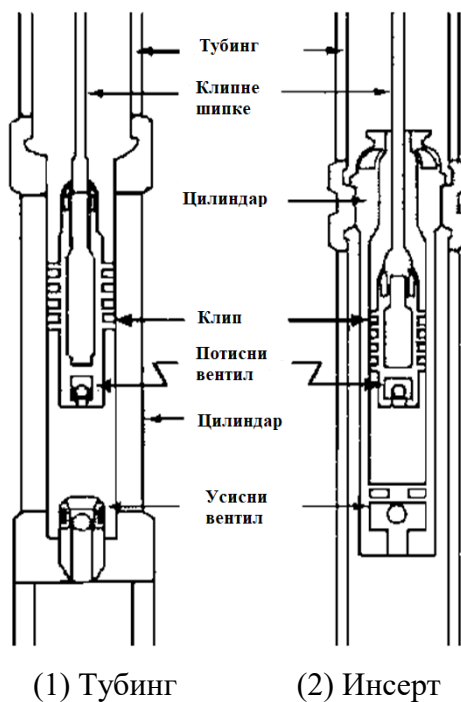
У састав подземне опреме за дубинско пумпање улазе основне компоненте као што су:

- дубинска пумпа,
- гасно сидро,
- тубинг анкер,
- клипне шипке,
- тубинг.

Дубинска пумпа

Дубинске пумпе се према конструкционим карактеристикама и начину уградње могу подијелити у двије основне групе (приказане на слици 3.2):

1. Тубинг пумпе,
2. Инсерт пумпе.



Слика 3.2 Врсте дубинских пумпи

Посебан тип инсерт пумпи већих димензија предвиђен за експлоатацију високопродуктивних бушотина је кезинг пумпа.

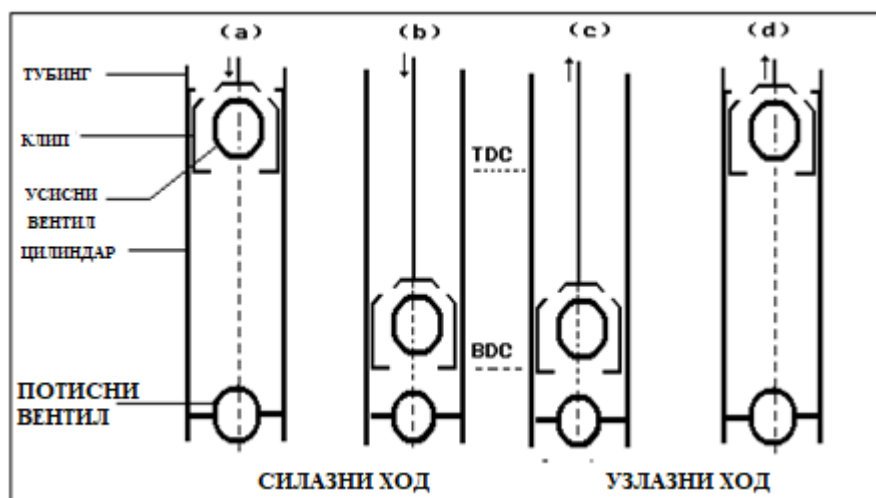
Главни елементи дубинске пумпе су:

1. радни цилиндар,
2. клип,
3. усисни вентил,
4. потисни вентил.

Рад дубинске пумпе у једном циклусу је приказан на слици 3.3. На почетку циклуса (слика 3.3 а) клип је у горњем мртвом положају (Top Dead Center - TDC). Потисни вентил је затворен услед дејства притиска стуба течности у тубингу, а цилиндар је испуњен течношћу из претходног циклуса.

При силазном ходу клипа (слика 3.3 б) усисни вентил се затвара. Како клип наставља кретање, притисак у цилиндру расте. Када притисак у цилиндру премаши притисак у тубингу, потисни вентил се отвара и део течности бива истиснут у тубинг. На дну хода клипа (Bottom Dead Center - BDC) (слика 3.3 с) завршава се потискивање. Потисни вентил се поново затвара услед притиска течности у тубингу.

Током узлазног хода клипа (слика 3.3 д) потисни вентил остаје затворен, а усисни вентил се отвара под дејством притиска флуида из анулуса. На тај начин цилиндар се поново пуни течношћу и циклус је спреман да се понови. Уколико је пречник клипа једнак или мањи од пречника шипки, пумпа ради у диференцијалном режиму, што значи да се ефективно потискивање течности у тубинг дешава искључиво током силазног хода клипа, док узлазни служи само за пуњење цилиндра.



Слика 3.3 Шематски приказ циклуса пумпања

Тубинг пумпе

Основна приједност тубинг пумпи у односу на инсерт пумпе је могућност веће производње због већег номиналног пречника клипа и цилиндра. Веће димензије клипа и цилиндра такође омогућавају дужи период између два ремонта, и тиме смањење оперативних трошкова, што је посебно важно при експлоатацији плитких нафтних бушотина. Ограничење дубине пумпања настаје као резултат ограниченог напона композиције клип шипки. Конструктивно рјешење тубинг пумпи са цилиндром, који се уграђује на композицији тубинга, значи да се при сваком ремонту пумпе мора извадити и композиција тубинга. Из тог разлога тубинг пумпе треба уграђивати само онда када се примјеном инсерт пумпи не може остварити планирана производња.

Уградња тубинг пумпи се врши унутар композиције тубинга, а према пројектованој дубини уградње. Цилиндар је директно спојен са композицијом тубинга. Испод њега се налази доња сједишна спојница, која при спуштању клипа блокира усисни вентил. Након спуштања цилиндра тубинг пумпе са композицијом тубинга, спушта се клип са композицијом клип шипки који клипном склопу пумпе омогућава усједање у цилиндар и смјештање усисног вентила на доњу сједишну спојницу. Усисни вентил се најчешће спушта причвршћен за дно клипа пумпе помоћу извлакача усисног вентила. Након спуштања усисног вентила у доњу сједишну спојницу, долази до блокирања уз помоћ механичког затварача. Клип се од усисног вентила може ослободити ротирањем композиције клип шипки у смјеру супротном од смјера казальке на сату. Клипни склоп се подиже, док се усисни вентил не ослободи на другом крају хода пумпе, плус за око једну стопу, чиме се компензује повећање дужине корака шипке због инерције. Усисни вентил се такође може спустити и заједно са цилиндром тубинг пумпе.

Тубинг пумпе се могу класификовати према врсти цилиндра, дизајну усисног склопа и клипа. Цијеви пумпе се могу подијелити према **врсти цилиндра**:

- Пумпе са заједничким радним цилиндром (цилиндар са дебелим зидом) – Максимални пречник цилиндра је обично мањи од пречника тубинга за око 6,35mm, да би се обезбедио неопходан зазор при уградњи клипа;
- Радни цилиндар пумпе са пуним туљком – Цилиндар је направљен из једног комада каљене челичне цијеви или легуре сличних карактеристика;
- Цилиндар пумпе направљен од рукава – Цилиндар је направљен од дијелова чахура од тврдог челика, ливеног гвожђа, итд., који су међусобно повезани, и држе се у положају помоћу компресијског оптерећења.

Тубинг пумпе се према типу усисног вентила могу подијелити на:

- Тубинг пумпе са фиксним усисним вентилом – Усисни вентил је причвршћен за доњи дио тубинга, па да би се извршила његова замјена потребно је извадити композицију тубинга. Веће димензије вентила омогућавају ефикасно

пумпање вискозне нафте, те експлоатацију бушотина са ниским динамичким нивоом и лошим карактеристикама утока флуида у канал бушотине;

- Тубинг пумпе са замјенљивим усисним вентилом – Код овог типа, усисни вентил се поставља у цилиндар и спушта заједно са композицијом тубинга, или се поставља у цилиндар помоћу клипа. Вентил се држи у фиксном положају помоћу заптивних манжетни.

Тубинг пумпе се могу подијелити према **врсти клипа** на:

- Тубинг пумпе са меким паковањем – Код овог типа, заптивни елементи (манжетне) се израђују од различитих материјала (кожа, гума, пластика, керамика итд.). Притисак флуида у току узлазног хода клипа доводи до ширења паковања, чиме се остварује добро заптивање унутрашњег зида цилиндра. У силазном ходу притисак се изједначава са обе стране паковања, чиме се омогућава слободно кретање клипа. Избор паковања се врши на основу података о температури, дубини уградње, садржају воде и карактеристикама флуида. Клипови са меким паковањем се могу успјешно примијенити до дубина $h = 1650,00\text{m}$ у већини случајева;
- Тубинг пумпе са металним клипом – Клип се израђује од ливеног гвожђа или челика, са површином која може бити равна или ребраста. Тубинг пумпе са металним клипом се могу употребијети за веће дубине уградње $h > 2200,00\text{ m}$, а век трајања им је обично дужи од пумпи са меким паковањем;
- Тубинг пумпе са концентричним цијевима – Ове пумпе зависе од заптивања флуидом и удаљености коју исти мора да пређе да би прошао поред клипа. Овај тип клипа користи три цијеви. Велика дужина заптивања флуидом смањује потребу за врло малим зазором између клипа и цилиндра.

Инсерт пумпе

Цилиндар инсерт пумпи је саставни дио пумпе, тако да се инсерт пумпе уграђују или ваде из бушотине у склопљеном облику (цилиндар са клипом). Код тубинг пумпе цилиндар се спаја са тубингом и уграђује се у бушотину као његов интегрални дио што представља основну разлику ове двије пумпе. Код инсерт пумпи постоји могућност избора различитих материјала за израду покретних и непокретних дјелова пумпе, као и велики број конструктивних рјешења који чине овај тип пумпи прилагодљивим за различите услове експлоатације. На нафтном пољу Турија су у употреби дубинске пумпе произвођача Weatherford и домаће производње МРЗ (Машинска радионица Зрењанин).

Weatherford пумпе се израђују са једнодијелним цилиндром са продужецима, док је клип од метала са жљебовима, чиме се остварује добро заптивање између зидова цилиндра и клипа. Сједиште дубинске пумпе се спушта заједно са композицијом тубинга на пројектом одређену дубину. Дубинска пумпа се спушта на низу клип шипки и пролази

кроз сједиште до врха на коме се налази опруга. Када опруга прође кроз сједиште дубинске пумпе, шири се, што омогућава пумпи да усједне са силом противседања од око 9,81kN.

Домаће МРЗ дубинске пумпе се, за разлику од Weatherford пумпи, израђују са цилиндром од туљака који су чврсто „набијени“, а са спољашње стране обмотани са спољном облогом. Начин усједања се разликује од Weatherford пумпи, јер се у бушотину заједно са сједиштем спушта и опруга за усједање.

Постоје два основна типа инсерт пумпи:

- Непокретна инсерт пумпа и
- Инвертована (покретна) инсерт пумпа

Непокретна инсерт пумпа

Рад пумпе остварује се кретањем клипа у непокретном цилиндру. Конструктивна рјешења усисног и потисног вентила су следећа:

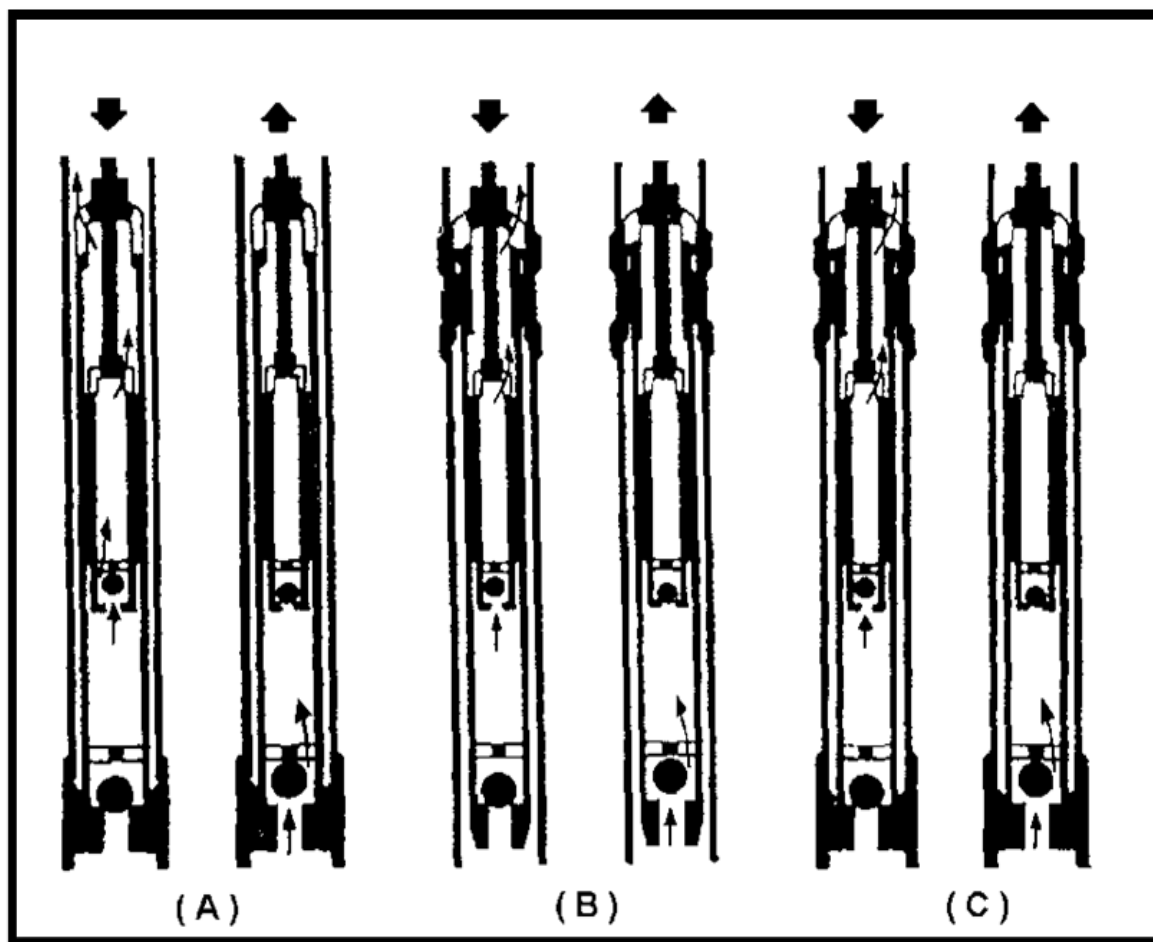
- већи усисни и мањи потисни вентил,
- већа запреминска ефикасност у случају да се пумпање изводи када је динамички притисак нижи од притиска засићења (присуство гаса на усису пумпе),
- могућност остваривања високог односа потисног и усисног притиска чине ове пумпе веома ефикасним у било којим условима рада у бушотини.

Тијело пумпе је спојено са цилиндром и усједање се врши у горњем дијелу, самим тим овај тип инсерт пумпи се успјешно примјењује у бушотинама са неправилном геометријом (криве и косе бушотине). Такође ове пумпе се могу примијенити за пумпање вискозних нафти веће запреминске масе ($\mu_o \geq 400\text{mPas}$). У случају пумпања флуида са присуством слојног пијеска, препоручљива је употреба овог типа пумпи јер се тијело пумпе може бртвити у горњем дијелу са вођицом за провјеру пијеска која спрјечава таложење пијеска између клипа и цилиндра у случају прекида пумпања.

Инсерт пумпе са непокретним цилиндром се према начину усједања (слика 3.4) могу подијелити на пумпе са:

- (А) усједањем на дну,
- (В) усједањем на врху,
- (С) пумпе са двоструким усједањем.

На нафтном пољу Турија сјевер у употреби су инсерт пумпе са усједањем на дну. Главна карактеристика ове пумпе је могућност уградње на већој дубини (експлоатација дубоких бушотина) пошто се цилиндар пумпе не истеже услед утицаја тежине стуба флуида. А главни недостатак инсерт пумпе са усједањем на дну долази до изражаја у бушотинама где постоји изношење мобилног пијеска, јер не постоји циркулација лежишног флуида око спољне површине цилиндра и може доћи до заглављивања пумпе у тубингу услед наталоженог пијеска, што на нафтном пољу Турија сјевер није проблем.



Слика 3.4 Начин усједања пумпе са непокретним цилиндром

Инвертована (покретна) инсерт пумпа

Код овог типа пумпи, радни цилиндар је покретан, а клип непокретан дио пумпе. Усједање се врши у доњем дијелу. Ове пумпе су мање ефикасне у односу на непокретне инсерт и тубинг пумпе услед неповољног односа усисног и потисног вентила. Не препоручују се у случају присуства слободног гаса.

Приједности ових пумпи су што покретни вентил смањује могућност таложења пијеска између цилиндра и тубинга, и такође се могу користити у бушотинама које имају низак динамички ниво.

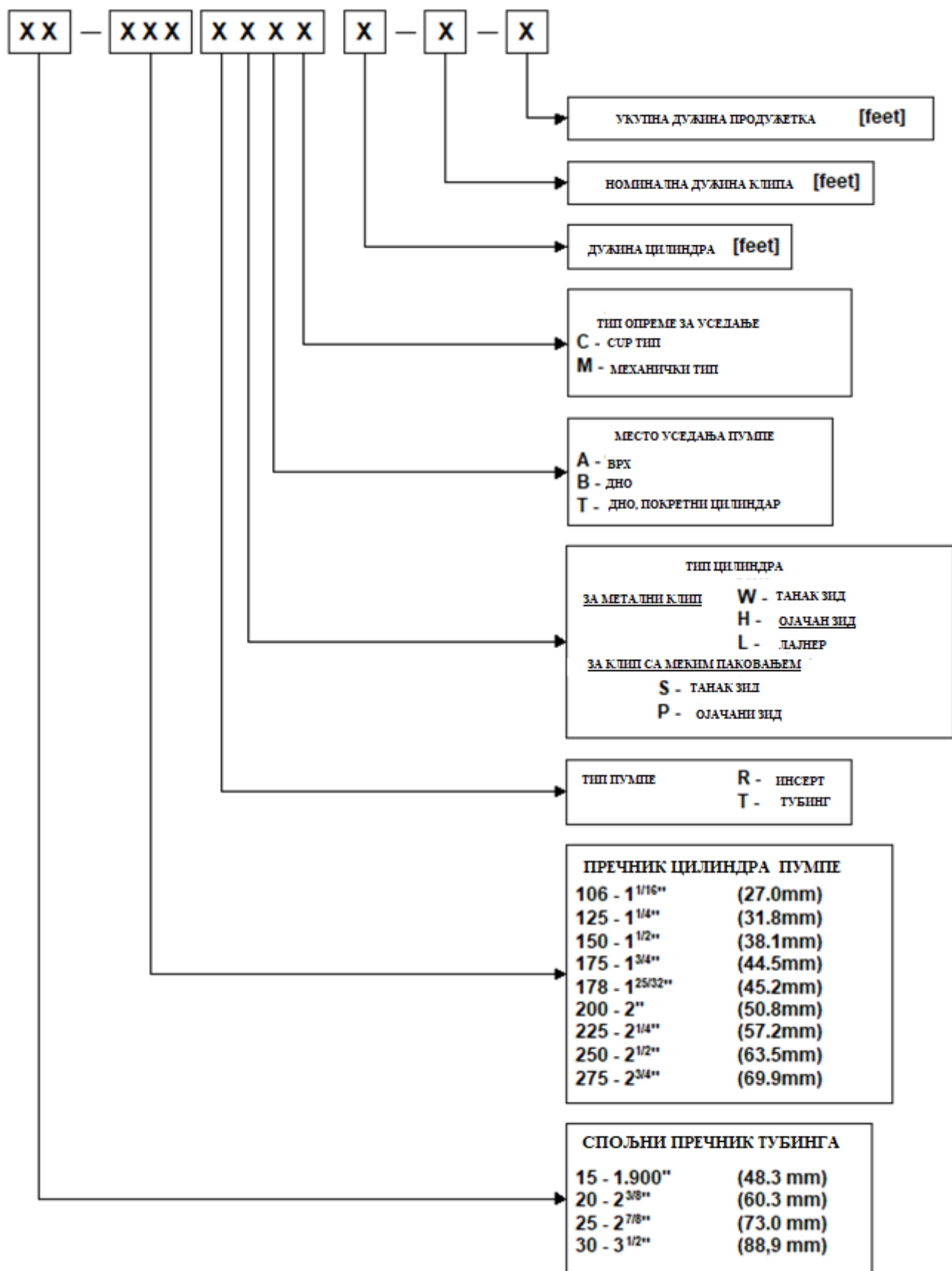
Кезинг пумпа

Конструкција и принцип рада кезинг пумпе је веома сличан раду непокретне инсерт пумпе, па је начин уградње и вађења исти. При уградњи ових пумпи се не користи композиција тубинга. Бртвљење између цилиндра пумпе и кезинга се остварује пакером постављеним на врху или дну цилиндра. Примјена ове пумпе је најчешћа у плитким високопродуктивним бушотинама. Ограничења примјене су бушотине са малим садржајем гаса, и брзо оштећење клип шипки и експлоатационе колоне услед извијања композиције клип шипки у силазном ходу.

Основни типови и начин означавања дубинских пумпи по API класификацији приказан је у табели 3.1 и на слици 3.5.

Табела 3.1 API класификација пумпи

ТИП ПУМПЕ		ОЗНАКА				
		Пумпе са металним клипом			Пумпе са меким паковањем	
		ЦИЛИНДАР		LINER	ЦИЛИНДАР	
		са танким зидом	Са ојачаним зидом		са танким зидом	Са ојачаним зидом
ИНСЕРТ ПУМПЕ	Непокретан цилиндар са усједањем на врху	RWA	RHA	RLA	RSA	-
	Непокретан цилиндар са усједањем на дну	RWB	RHB	RLB	RSB	-
	Покретан цилиндар са усједањем на дну	RWT	RHT	RLT	RST	-
ТУБИНГ ПУМПЕ		-	TH	TL	-	TP



Слика 3.5 Обиљежавање дубинске пумпе

Гасно сидро

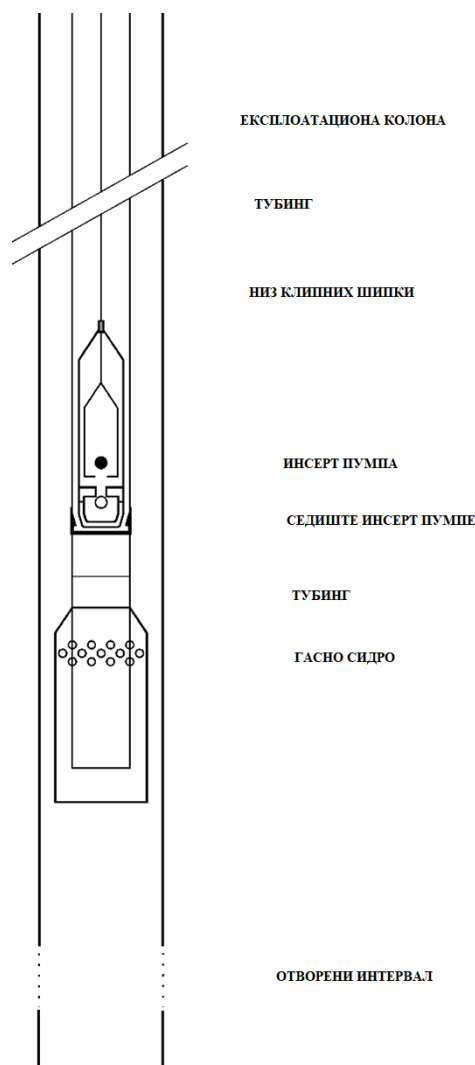
Приликом производње нафте са дубинском пумпом из бушотине, на дну се ствара пад притиска (ΔP) између притиска у лежишту (P_f) и динамичког притиска на дну бушотине (P_{wf}). Ова разлика притиска изазива уток флуида из дренажне зоне, што осигурава сталност динамичког нивоа флуида у бушотини, а тиме и ефективни рад пумпе и непрекидну производњу бушотине. Гас који утиче из лежишта у бушотину помијешан је са нафтом у виду сталних мјехурића, а дијелом и растворен у нафти. Количина растворених гасова у нафти зависи од температуре и притиска који владају у бушотини, као и од састава саме нафте. При раду пумпе у цилиндру заједно са нафтом улази гас и зависно од притиска, под којим се налази смјеша нафте и гаса на дубини уградње дубинске пумпе, може постојати двофазно стање (нафта и слободан гас) и једнофазно стање (нафта са раствореним гасом). Једнофазно стање постоји у случају када се смјеша налази под притиском већим од притиска засићења (P_b).

На коефицијент корисног дејства пумпи утиче већи број фактора. Присуство слободног гаса представља један од кључних фактора који смањују коефицијент корисног дејства дубинске пумпе. Његов утицај постаје све израженији како опада притисак у лежишту и долази до појаве двофазног струјања на дну бушотине. Ради смањења негативних ефеката гаса, у пракси се користе гасна сидра.

Табела 3.2 Примјер означавања дубинских пумпи

25-150-RHBC-10-3		
25-125-RHBC-10-3-1		
25-125-RHBC-10-3-3		
25	Пречник тубинга Dot	73,02mm
150	Пречник цилиндра пумпе	38,1mm
125		31,8mm
R	Инсерт пумпа	
H	Са ојачаним зидом	
B	Усједање на дну	
C	Тип опреме за усједање је „Cup”	
10	Дужина цилиндра	3,048m
3	Номинална дужина клипа	0,9144m
-	Укупна дужина продужетка	-
1		0,3048m
3		0,9144m

Гасна сидра се уграђују непосредно испод усиса дубинске пумпе што се може видјети на слици 3.6.



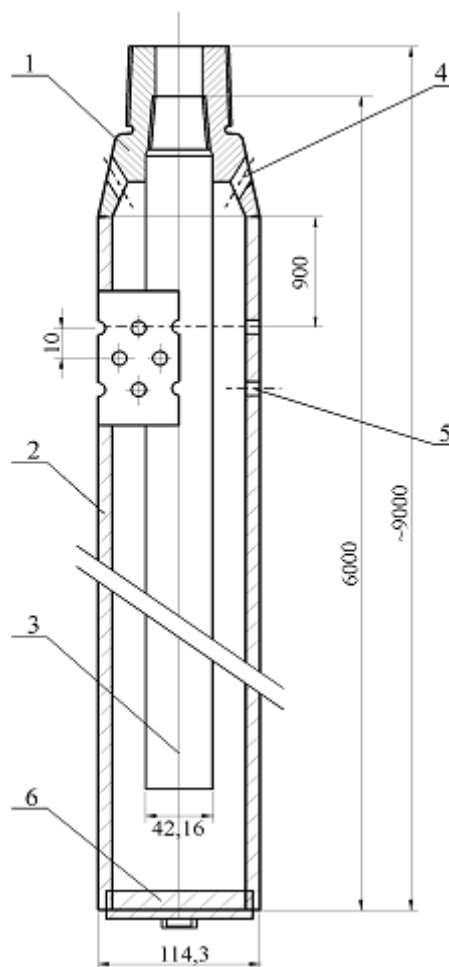
Слика 3.6 Подземна опрема са гасним сидром

Главни дијелови гасног сидра су:

- глава гасног сидра,
- тијело гасног сидра,
- усисна цијев гасног сидра,
- горњи ред перфорација,
- доњи ред перфорација,
- чеп гасног сидра.

Тијело сидра је у горњем дијелу исперфорирано са три реда шаховски размјештених отвора пречника $d = 10\text{mm}$ кроз које нафта утиче у гасно сидро. На глави гасног сидра постоји ред отвора кроз које одлазе ослобођени мјехурићи гаса. Глава сидра

је истовремено и пријелаз са API навојем за повезивање са тубингом. Чеп гасног сидра служи за отварање гасног сидра приликом чишћења наталоженог материјала и слично (слика 3.7).

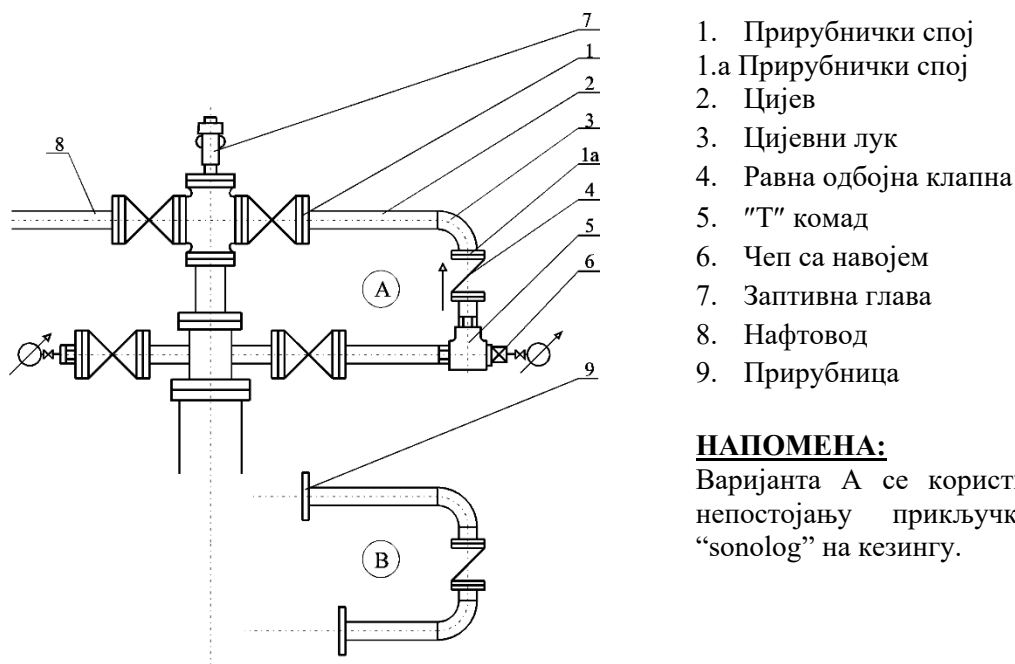


Слика 3.7 Гасно сидро

Током експлоатације, услед смањења притиска на дну бушотине, долази до утока нафте и гаса из лежишта у бушотину. При сваком усисавању пумпе, нафта из бушотине скреће хоризонтално са вертикалног правца свог кретања навише и кроз прорезе на телу сидра улази у сидро. Неки гасни мјехурићи настављају кретање вертикално кроз нафту право кроз међупростор ка динамичком нивоу, где се издвајају из нафте и гас даље наставља навише ка устима бушотине, док други мјехурићи бивају повучени са нафтом у гасно сидро. Уласком у гасно сидро гасни мјехурићи заузимају правац навише и излазе кроз горње прорезе на глави гасног сидра, док нафта мијења правац и улази у усисну цијев и даље у цилиндар пумпе. При овом скретању нафта тежи да повуче са собом и гасне мјехуриће наниже. Површина међупростора (тијело сидра – усисна цијев) обезбјеђује да повучени мјехурићи за вријеме периода усисавања пумпе пређу краћи пут навише него што је растојање од прореза до улаза у усисну цијев пумпе. У пумпу ће утицати само чиста нафта, што значи да ће запремински учинак пумпе бити максималан.

Ради обезбеђивања бржег кретања гасних мјехурића, као и потпунијег издвајања гаса из нафте у бушотини, потребно је стално одвођење гаса из кезинга што се омогућава приказаном везом кезинг-тубинг на слици 3.8. Ова мјера је неопходна да би се постигао максимални учинак гасног сидра у погледу одвајања гасних мјехурића из нафте. Истовремено, тиме се елиминише додатни притисак на дну бушотине, што омогућује и бољи уток флуида.

Простор испод доњег краја усисне цијеви служи за таложење пијеска и талоба (органског или неорганског) који се издваја из нафте дејством гравитације при кретању нафте у гасном сидру. Овај простор је користан јер се тиме спрјечава механичко оштећење пумпе.



Слика 3.8 Веза кезинг-тубинг

Тубинг Анкер

Тубинг анкер представља неопходан дио подземне опреме при уградњи дубинске пумпе на већим дубинама. Поставља се на доњем крају тубинга како би се спријечило његово савијање, што се постиже уклињењем у зид заштитне колоне. На тај начин, тубинг остаје под одређеном затегнутошћу (најчешће у опсегу од 4 до 6 тона). Услијед савијања тубинга клипне шипке се брзо троше, а тубинг оштећује. Производност дубинске пумпе је већа ако је уграђен тубинг анкер.

На бушотинама нафтног поља Турија Сјевер, које се налазе у дубоком пумпању, користе се цијевна сидра за експлоатационе стубове $D_k = 139,7 \text{ mm}$, $D = 177,8 \text{ mm}$. На слици 3.9 приказан је тубинг анкер.



Слика 3.9 Тубинг анкер

Клипне шипке

Клипне шипке су израђене од пуних комада округлог попречног пресјека направљених од висококвалитетног челика. Шипке су направљене у двије групе дужина, али се може претпоставити да је њихова просјечна дужина око 8-9 метара. Њихови крајеви су ојачани и имају мушке нити. Клипњаче су повезане помоћу спојница. Поред навоја, шипка има квадратни облик, који се користи за хватање кључем приликом завртања или одвртања.

Шупље клипне шипке се примјењују за убризгавање адитива и/или других флуида, као што су водена пара или топла вода, у циљу спрјечавања или уклањања парафинских наслага.

За заштиту клипних шипки од хабања и генерално од оштећења се уграђују клипне шипке са централизерима и протекторима. Ово се чини због трајекторије бушотине, која никада није савршено права, и самим тим уграђена композиција тубинга прати ова одступања у бушотини. Да би се у што већој мјери спријечило трење клипних шипки и спојница истих о унутрашњи зид тубинга, уграђују се централизери и протектори.

У табели 3.3 приказане су клипне шипке које се користе на бушотинама у дубинском пумпању нафтног поља Турија.

Табела 3.3 Карактеристике клипних шипки у употреби на НП Турија

пречник клипних шипки D_r	тежина у ваздуху W_r
19,05mm	2,36 kg/m
22,22mm	3,39 kg/m
Запреминска маса $\rho_r = 7850 \text{ kg/m}^3$	
Јангов (Young-ov) модул еластичности $E_r = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$	

3.2.1 Површинска опрема за дубинско пумпање

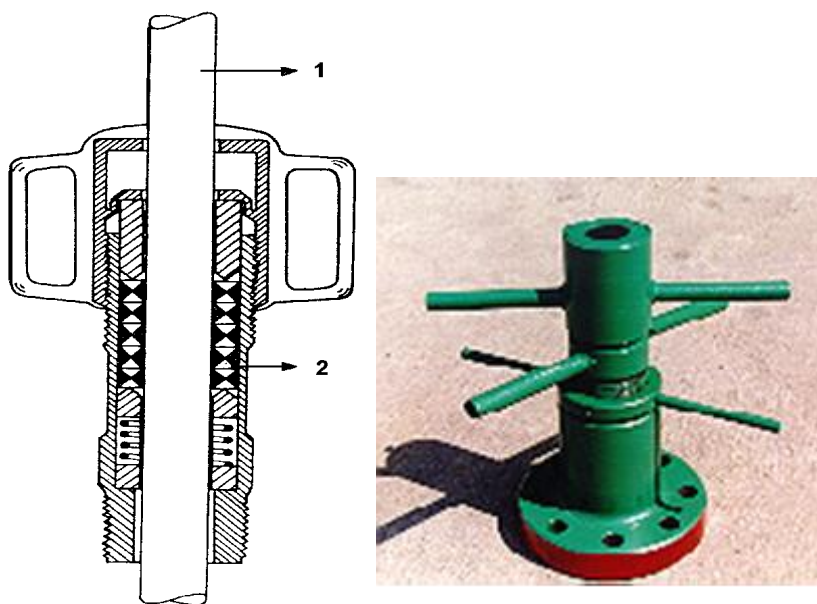
Основне компоненте површинске опреме за дубинско пумпање су:

- опрема на устима бушотине,
- глатка шипка,
- погонска опрема.

Опрема на устима бушотине

Све бушотине које су у дубинском пумпању, по правилу, немају притисак на устима бушотине или је тај притисак мали, тако да се уста бушотине не морају опремати ерупционим уређајем (јелком). Уколико је бушотина прије уградње дубинске пумпе била у еруптивном раду, ерупциони уређај треба скинути са кезинг главе и поставити прирубницу са “Т” разводом и заптивну главу за глатку шипку (слика 3.10). “Т” развод може бити спојен са кезинг главом помоћу прирубнице или навоја. Он омогућава пролаз глатке шипке и усмјеравање протицања нафте из бушотине кроз нафтовод ка сабирној станици. На горњем дијелу “Т” развода постављена је заптивна глава, кроз коју такође пролази глатка шипка.

Заптивна глава служи да онемогући истицање нафте поред глатке шипке, те се у том циљу унутар ње уграђује гумена или графитна лојна бртвила (заптивачи).



Слика 3.10 Заптивна глава
1. Глатка шипка 2. Заптивна глава

Глатка шипка

Глатка шипка се налази на самом врху низа клипних шипки и служи за повезивање система са погонским механизмом. Има округли попречни пресјек и прецизно је машински обрађена ради ефикасног заптивања приликом проласка кроз заптивну главу на врху бушотине. Њен горњи крај је повезан са носачем, који је пријеко ужади спојен са главом качаљке. Израђује се од легираног челика пуног пресјека, што јој обезбјеђује високу чврстоћу и отпорност на оптерећења.

У погледу пречника израђују се следеће димензије глатких шипки: 1 1/8", 1 1/4", 1 1/2", 1 3/4" и 2". За изузетне услове израђују се шупље глатке шипке. Дужина глатких шипки је 2,432mm (8'); 3,344mm (11'); 4,864 mm (16') и 6,732 mm (22'). Која ће се дужина глатке шипке одабрати зависи од тога колики ће бити ход клипа пумпе у бушотини.

Погонска опрема (кука)

Погонска опрема – качаљка служи за покретање клипа дубинске пумпе. Она врши подизање и спуштање глатке шипке и клипне шипке а са њима и клипа дубинске пумпе. Качаљка се карактерише максималним допуштеним моментом торзије, својом носивошћу (пријеко максималног оптерећења глатке шипке) и максималном дужином хода глатке шипке. Број ходова и дужина хода код качаљке могу се мијењати. Основни конструкциони елементи качаљке су: балансна греда, редуктор, противтегови и погонски мотор.

На нафтним пољима јужног дијела Панонског басена користе се, између осталих, качаљке конвенционалног типа уравнотежења марке »AMERICAN 228-213-86«. Њене основне карактеристике су:

• Максимални допуштени момент торзије	25,76 Nm
• Максимално оптерећење глатке шипке (носивост качаљке)	94,75 kN
• Максимална дужина хода глатке шипке	2,1844 m
• Снага електромотора	11 kW
• Дужина главне полуге	0,3 m
• Дужина регулационе полуге	3,6 m

Такође у употреби су још и качаљке типа:

- МРЗ (домаће качаљке, ознака К5-130-1.5, носивост 50kN);
- API (домаће качаљке израђене према API стандарду, ознака API 80-119-63, носивости 50kN);
- Вулкан (румунске качаљке, носивост 50kN).

3.3 Систем анализа рада и пројектовање система за дубинско пумпање

3.3.1 Основе систем анализе дубинског пумпања

Примјена систем анализе рада дубинских пумпи представља први и најважнији корак у поступку дефинисања граничних услова за оптималан рад и остваривање максималне енергетске ефикасности код бушотина које се експлоатишу методом дубинског пумпања. При пројектовању система за дубинско пумпање мора се изабрати одговарајућа опрема и прецизно дефинисати технолошки параметри рада (број ходова, дужина хода и запреминска ефикасност пумпе) да би се остварила програмирана производња при минималним оперативним трошковима. Резултат систем анализе је теоретски капацитет рада дубинске пумпе при стабилизованим условима. Систем анализом долази се до података:

- при каквим условима рада ће се добити максимална запреминска ефикасност (E_{vmax}) уграђене пумпе,
- какви технолошки параметри ће обезбедити E_{vmax} и
- каква опрема је потребна у бушотини.

Основни задатак систем анализе је да се изврше испитивања следећих утицаја:

- дужина хода глатке шипке (S_g),
- број ходова (n),
- дубина уградње пумпе (L_p),
- уисни притисак (P_{in}),
- ефикасност примјене гасног сидра.

Ови параметри се користе као улазни подаци код пројектовања система за дубинско пумпање.

Одређивање криве IPR (Inflow Performance Relationship) - Vogel

Проблем протока течности кроз резервоар и перфорације и одлива у канал бушотне је решен израчунавањем карактеристика протока течности у бушотину (IPR) у овом тренутку, као и могућност да се предвиди будуће понашање бушотине и његове производне могућности.

Најчешће се користи Vogel-ова метода јер се ради о лежиштима са ниским притиском.

Одређивање вертикалне вишефазне криве протока

Крива динамичког притиска на дну на основу вертикалног протока флуида кроз тубинг рачуна се на основу више метода и то:

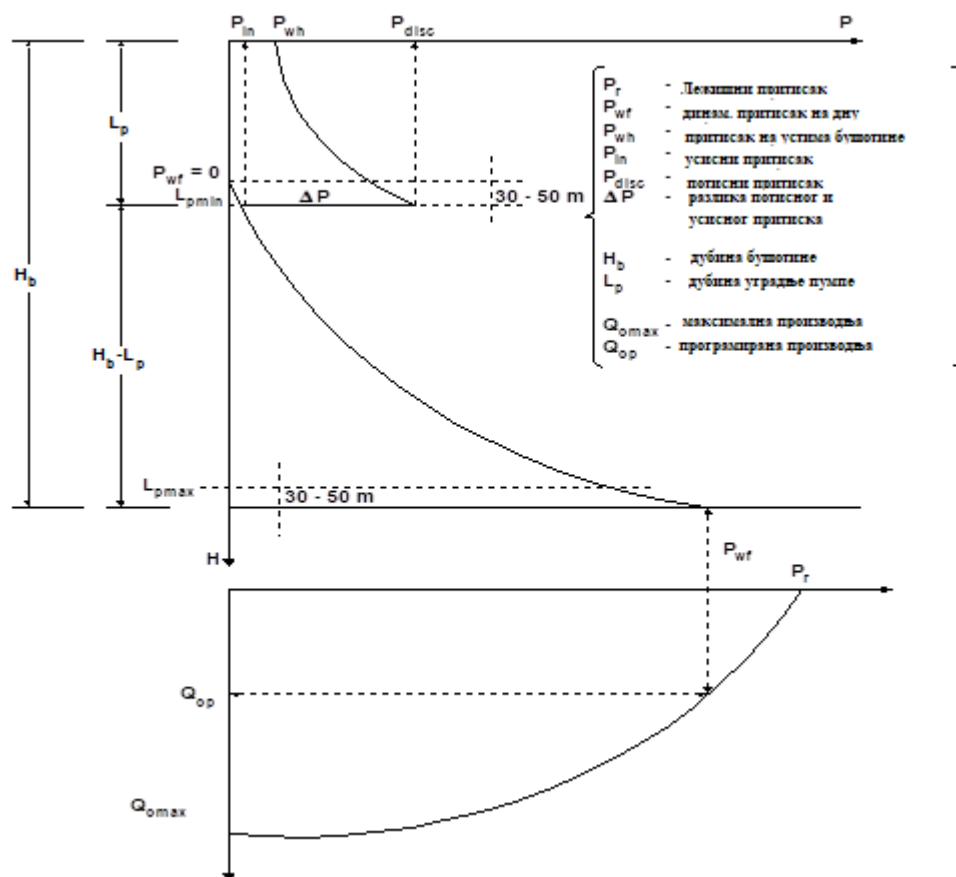
- Hagedorn Brown,
- Duns Ros,
- Orkizewski,
- Gilbert.

Углавном се користе методе које узимају у обзир структуру протока, ефекат проклизавања гаса кроз течну фазу и фактор трења услијед двофазног протока.

Ефективна висина дизања флуида представља ону дубину (тачку) у бушотини у којој је $P_{wf} = 0$ (слика 3.11). До ове дубине, течност се креће на рачун енергије резервоара. Ако је дубинска пумпа инсталирана испод тачке (30-50 m) на којој је притисак цијеви нешто већи од нуле, што истовремено представља усисни притисак пумпе (P_{in}), излазни притисак мора да буде знатно већи. Да би се остварио излазни притисак из пумпе, односно потисни притисак (P_{disc}) потребно је потрошити додатну енергију.

Ова дубина представља минималну дубину уградње дубинске пумпе (L_{pmin}) и карактерише се обавезном примјеном гасног сидра. Оптимална дубина уградње се одређује из услова када је динамички притисак, тј. притисак на усису пумпе већи од притиска засићења ($P_{in} > P_b$). У том случају се не примјењује гасно сидро јер на тој дубини нема издвајања гаса из нафте. Максимална дубина уградње (L_{pmax}) зависи од носивости постројења и узима се да је једнака дубини отвореног интервала. У опсегу од L_{pmin} до L_{pmax} врши се испитивање утицаја дубине, односно усисног притиска на волуметријску ефикасност пумпе (E_v).

Разлози за уградњу пумпе на дубинама где је усисни притисак већи од 20bar увијек су везани за рјешавање проблема утицаја гаса. Пумпу је потребно потопити довољно дубоко испод ефективне висине подизања (30-50m) тако да се спријече ефекти кавитације и савладају отпори кроз пумпу и другу опрему (гасно сидро).



Слика 3.11 Одређивање дубине уградње дубинске пумпе

3.3.2 Избор максималне брзине пумпања

Да би се израчунала максимална могућа производња за дати систем дубинског пумпања, потребно је прво одредити максимално дозвољене брзине пумпања, односно максимални број ходова. Да би се то одредило, врши се анализа ограничења компоненти пумпног система и на основу тога израчунавају се одговарајуће брзине пумпања:

- анализа оптерећења степеничастог низа клипних шипки (n_1),
- максимална вриједност номиналног торзионог оптерећења редуктора погонског уређаја (n_2),
- дозвољена носивост погонског уређаја (n_3),
- максимална вриједност фактора динамичности (n_4),
- максимална вриједност бездимензионалне брзине пумпања (однос броја ходова и фреквенције лонгитудиналних таласа) (n_5).

Свака од наведених компоненти има своју сопствену дозвољену брзину пумпања. Најмања се користи за прорачун теоретског капацитета пумпања, запреминске ефикасности и максималног могућег протока.

Гдје су:

- A_r и A_p [m²] - површине попречног пресека клипних шипки и пумпе,
- b фактор олакшања клипних шипки,
- F_r [N] - тежина клипних шипки у ваздуху,
- F_f [N] - тежина течности изнад пумпе.

Вриједност сервисног фактора (СФ) зависи од врсте радне средине у којој ће се налазити клипне шипке. Његова вриједност се креће у распону од 0,5 до 1. У табели 3.4 приказане су вриједности сервисног фактора за клипне шипке типа API Ц и Д, зависно од типа средине, које се користе на нафтном пољу Турија. А у табели 3.5 дат је корекциони фактор.

Табела 3.4 Сервисни фактор

СЕРВИСНИ ФАКТОР		
Тип средине	API-Ц	API-Д
Тип средине	1	1
<i>Слана вода</i>	0,65	0,90
<i>Водоник-сулфид</i>	0,50	0,70

Табела 3.5 Корекциони фактор F_{1a}

F_{1a} – ФАКТОРИ			
Пречник клипних шипки (mm)	Пречник тубинга (mm)		F_{1a}
	унутрашњи пречник	спољашњи пречник	
15,88	50,8	60,3	1,440
	63,5	73,02	1,360
	76,2	88,9	1,300
19,05	50,8	60,3	1,080
	63,5	73,02	1,000
	76,2	88,9	0,941
22,22	63,5	73,02	0,787
	76,2	88,9	0,729
	101,6	114,3	0,690
25,4	63,5	73,02	0,648
	76,2	88,9	0,590
	101,6	114,3	0,551

3.3.3 Запреминска ефикасност пумпе и утицај гаса

У већини случајева рад дубинске пумпе се одвија у условима недовољног степена искоришћења због смањене запреминске ефикасности. То значи повећање трошкова пумпања и смањење енергетске ефикасности рада система за дубинско пумпање, а директно се одражава и на вјек трајања опреме за дубинско пумпање (подземне и површинске).

Ниска запреминска ефикасност рада дубинске пумпе последица је више фактора од којих су најважнији:

- присуство слободног гаса у цилиндру пумпе,
- цурење течности кроз вентиле и клип,
- губитак течности кроз јаз између клипа и цилиндра током хода клипа на доле.

Општа једначина, којом се исказује утицај наведених фактора има облик:

$$E_V = E_{Vfg} \cdot E_{Vl} \cdot E_{Vc} \quad (1)$$

гдје је:

- E_V - укупна запреминска ефикасност рада дубинске пумпе,
- E_{Vfg} - запреминска ефикасност услед утицаја гаса,
- E_{Vl} - запреминска ефикасност услед пропуштања флуида кроз клип и вентиле,
- E_{Vc} - запреминска ефикасност због губитака течности кроз зазор између клипа и цилиндра.

Пропуштање флуида кроз клип и вентиле при исправном раду пумпе је обично врло мало и највећи утицај на запреминску ефикасност пумпе има присуство слободног гаса.

Ако се претпостави да на запреминску ефикасност пумпе искључиво утиче слободни гас ($E_V = E_{Vfg}$), тада се запреминска ефикасност може једноставно дефинисати као запремина произведене течности на површини и одговарајућег запреминског капацитета пумпе, који се добија на основу израчунате ефективне дужине хода клипа S_p .

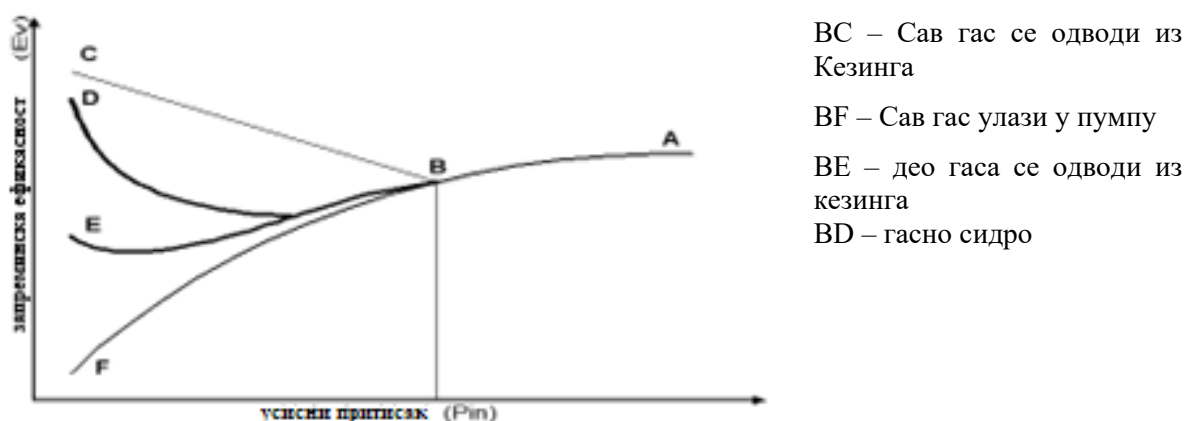
$$E_V = \frac{q_o + q_w}{R_{pd}} \quad (2)$$

гдје је:

q_o и q_w -запремински проток нафте и воде [m^3/d],

R_{pd} -запремински капацитет пумпе [m^3/d].

Испитивање једначине за запреминску ефикасност рада пумпе показује значај слободног гаса и усисног притиска који је у функцији дубине уградње пумпе. Зависност коефицијента запреминске ефикасности пумпе и усисног притиска дат је на слици 3.12.



Слика 3.12 - Утицај гасног сидра на запреминску ефикасност гасног сидра

Линија BC представља најповољнији случај када се сав слободни гас одводи из кезинга и запреминска ефикасност пумпе се повећава са смањењем притиска усиса. Када је притисак усиса већи од притиска засићења (притисак у тачки B) и када се гас одводи из кезинга, BE не зависи од тога да ли се користи гасно сидро и да ли се гас одводи из кезинга. Његова вриједност је иста за све случајеве и искључиво зависи од усисног притиска (крива BA). Крива BF представља случај када сав слободан гас улази у пумпу заједно са течностима. Крива BE представља случај када се део гаса издваја у међупростор, а део гаса улази у пумпу. Када се за издвајање слободног гаса користи гасно сидро (крива BD), повећањем усисног притиска до одређене вриједности запреминска ефикасност се смањује. Потпун ефекат примјене гасног сидра постиже се при нижим вриједностима усисног притиска што за резултат има већу запреминску ефикасност пумпе.

Ако се при пројектовању дубинске пумпе као једини параметар разматра запреминска ефикасност пумпе могу се примијенити два основна принципа:

- пожељно је пумпу уградити на дубину тако да усисни притисак буде изнад притиска засићења;
- ако дубина уградње пумпе резултира ниским усисним притиском, потребно је извршити издвајање гаса примјеном гасног сидра прије уласка течности у пумпу.

У случају када је гасно сидро уграђено, и при релативно ниском усисном притиску може се добити висока вриједност коефицијента запреминске ефикасности пумпе. То се објашњава процесом гравитационог раздвајања у смјеши. Када је усисни притисак близак притиску засићења, почиње издвајање гаса али је број и величина издвојених мјехурића гаса још увијек мали да би утицај гравитационих сила био велики. Због тога при притисцима на којима се издвајају значајније количине гаса и када је величина мјехура гаса велика (брзина гравитационог дјеловања је већа од брзине кретања течности - што одговара критичним условима), повећава се коефицијент запреминске ефикасности.

Утицај растојања између клипа у доњем положају и цилиндра (мртви простор) на коефицијент запреминске ефикасности може бити велики. При одређеним условима, E_v може бити једнака и нули због тога што се испод клипа формира гасни јастук, који се при ходу наниже компримује а при ходу навише експандира. На тај начин, у бушотинама које имају динамички ниво на усису пумпе, потребно је уградити гасно сидро које би гас одводило у кезинг.

Највећу помоћ при анализи рада бушотина које садрже велике количине гаса пружа динамограм. На основу динамограма може се утврдити стварни утицај гаса. Задржавање равномјерног смањења напрезања при силазном ходу указује на постојање утицаја гаса. Тај утицај може често да буде аналоган утицају непотпуног пуњења цилиндра. У таквом случају анализу динамограма треба урадити паралелно са анализом карактеристике бушотине (динамички ниво, индекс продуктивности итд.). Ако је одређени притисак усиса довољан за потпуно пуњење цилиндра, тада облик динамограма сигурно може показати да је главна сметња рада дубинске пумпе гас који улази у пумпу.

Иако постоје различита конструктивна рјешења гасног сидра, основна карактеристика било ког гасног сидра је стварање релативно великог међупростора где је брзина подизања мјехурића гаса већа од силазне брзине течности. При ниским вриједностима притиска, када су мјехурићи гаса велики а густина мала, а такође и при малим брзинама течности, може се постићи веома висока ефикасност гасног сидра. При вишим притисцима и брзинама, када мјехурићи гаса постану мањи, а густина већа, ефикасност сепарације се смањује. При довољно високом усисном притиску и брзини течности, брзина мјехурића гаса постаје мања у односу на брзину течности и сав гас који улази у гасно сидро, пумпа се заједно са течношћу.

Приликом пројектовања потопне пумпе, основни параметар који се мора одредити је укупни запремински капацитет пумпе. Укупан запремински капацитет пумпе може се одредити на основу претпостављеног коефицијента запремине ефикасности пумпе (најчешће 0,8).

$$R_{pd} = 1130.97 \cdot D_p^2 \cdot s_p \cdot n \cdot \eta_v \quad (3)$$

Ако се користи гасно сидро укупни запремински капацитет пумпе може се директно израчунати као функција одговарајућег усисног притиска и програмиране укупне производње q_l у облику:

$$R_{pd} = \frac{q_l \left[B_o \left\{ 1 + K_{ga} \cdot (5.947 \cdot P_{IN}^{2/3}) \sqrt{\frac{3.79161 \cdot 10^{-5} \cdot q_l \cdot (B_o + F_{wo} \cdot B_w)}{(1 + F_{wo}) \cdot A_{an}}} \right\} + F_{wo} \cdot B_w \right]}{1 + F_{wo}} \quad (4)$$

Гдје је:

- F_{wo} - однос садржаја воде и нафте тј. $F_{wo} = q_w / q_o$,
- P_{in} - усисни притисак пумпе [bar],
- B_o - запремински фактор за нафту [m^3/m^3],
- B_w - запремински фактор за воду [m^3/m^3],
- A_{an} - површина попречног пресека гасног сидра [m^2],
- K_{ga} - коефицијент рада гасног сидра.

K_{ga} зависи од типа гасног сидра и физичких карактеристика гаса. На основу дугогодишњих п искустава из праксе израчуната је приближна вриједност K_{ga} (табела 3.6):

Табела 3.6 Коефицијент гасног сидра

Тип гасног сидра	K_{ga}
CUP тип	0,028
Пакер тип	0,036
Једноставне конструкције	0,1

Ако се претпостави да комплетан гас улази у пумпу, производња течности q_l једнака је:

$$q_l = \frac{R_{pd}}{(1 - W_C) \cdot B_o + W_C \cdot B_w + (GOR - R_s) \cdot (1 - W_C) \cdot B_g} \quad (5)$$

гдје је:

- R_s - растворени гас [m^3/m^3],
- GOR - гасни фактор [m^3/m^3],

W_c - садржај воде [d.j.],

B_o - запремински фактор за нафту [m^3/m^3].

Коришћењем ове једначине може се одредити производња течности q_l , која у случају коришћења гасног сидра представља почетну вриједност за итеративну процедуру прорачуна могуће производње течности за изабрани сет технолошких параметара рада дубинске пумпе.

3.3.4 Пројектовање система за дубинско пумпање

Дефинисањем оптималних услова рада дубинске пумпе и извођењем систем анализе завршена је фаза припреме потребних података за коначни избор опреме и одређивање најекономичнијег начина подизања програмиране производње флуида. Оперативни трошкови пумпања који су изражени пријекто потрошње електричне енергије могу бити оптимизовани ако се изврши правилан избор опреме (пречник пумпе, носивост качаљке, снага електромотора итд.) и технолошки параметри њеног рада (број ходова, дужина хода, дубина уградње).

Методe пројектовања система за дубинско пумпање су:

- Емпиријски модел,
- API метода,
- SBS метода,
- Комбиновани модел.

Оптерећење низа клипних шипки и њихов утицај на пројектовање

Постоји неколико метода за израчунавање оптерећења глатке шипке, јер се мора узети у обзир низ фактора. Када се израчунава користећи различите методе, често постоје значајне разлике у израчунатим и стварним подацима. Ово показује да употреба једноставних емпиријских метода често даје боље резултате од сложених математичких процедура. Неке од метода које се користе су:

- Муравјев и Крилов методе и
- API – метод.

Оптерећење глатке шипке са пуним низом клипних шипки

Највеће оптерећење на низу клипњача је на самом врху, тј. на глаткој траци. Због тога носи цјелокупно оптерећење састава клипњаче и изложен је значајним промјенама током силазног и узлазног хода клипа. Оптерећење глатке траке је функција великог броја фактора, а они могу бити статични или динамички.

Статичко оптерећење глатке шипке у току узлазног хода једнако је:

$$F_{su} = F_{f'} + F_{wh} - F_h - F_c + F_r \quad (6)$$

Гдје су:

$F_{f'}$ - тежина течности када дјелује на разлику површине клипа и клипних шипки,

F_r - тежина клипних шипки у ваздуху,

F_{wh} - оптерећење услијед притиска на тубинг,

F_h - сила услијед притиска флуида у кезингу,

F_c - оптерећење услијед притиска на кезингу.

У току силазног хода, статичко оптерећење глатке шипке је једнако нето тежини композиције клипних шипки:

$$F_{sd} = W'_r \cdot D_p = W_r \cdot b \cdot D_p \quad (7)$$

Композиција клипних шипки потопљена у течност се истеже услијед сопствене тежине. То истежање на основу Хуковог закона износи:

$$\Delta S_{rw} = \frac{F_r \cdot b \cdot D_p}{2 \cdot A_r \cdot E_r} = \frac{W_r \cdot D_p^2 \cdot b}{2 \cdot A_r \cdot E_r} \quad (8)$$

Замјеном неких основних, средњих и усвојених нумеричких вриједности за неке од параметара, добија се упрошћена једначина:

$$\Delta S_{rw} = \frac{D_p^2}{5,59 \cdot 10^6} \quad (9)$$

Тубинг је такође изложен променљивом истезању услед сопствене тежине у току узлазног хода клипа, при чему се узима и тежина стуба течности у току силазног хода. Истежање тубинга се може израчунати једначином:

$$\Delta S_r = \frac{F_f \cdot D_p}{A_r \cdot E_r} = \frac{W_f \cdot D_p^2}{A_r \cdot E_r} \quad (10)$$

У наредној табели, приказани су подаци о клипним шипкама према API стандарду.

Табела 3.7 Подаци о клипним шипкама по API стандарду

Номинални пречник клипних шипки d_r		A_r	L_r^{**}	G_r
[inch]	[mm]	[cm ²]	[m]	[N/m]
1/2	12,7	1,27	6,43	10,5
5/8	15,9	1,98	6,43	16,5
3/4	19	2,85	6,43	23,8
7/8	22,2	3,88	6,43	32,4
1	25,4	5,07	6,43	42,3
1 1/8	28,6	6,41	6,43	53,6

Динамичка оптерећења глатке шипке морају се узети у обзир при великим брзинама пумпања ($n > 8 \text{ min}^{-1}$) и дубинама уградње пумпе ($D_p > 1000 \text{ m}$). Ова оптерећења могу настати услед различитих фактора, од којих се нека могу апроксимирати релативно тачно (нпр. трансформација ротационог кретања мотора у трансляторно кретање клипних шипки), док се нека оптерећења могу приближно дефинисати (нпр. слободне осцилације клипних шипки). Постоје и она која се изузетно тешко могу дефинисати неким математичким моделом, као што су прорачуни услед кривине бушотине, протока високо вискозне нафте, присуства пијеска у флуиду итд.

Извијање тубинга

Истраживања су показала да у случајевима промјенљивог оптерећења насталог услед тежине стуба течности, долази до истезања и извијања неанкерисаног тубинга.

У овом случају се јављају многи пропратни проблеми. Долази до појаве повећања трења између тубинга и клипних шипки, што доводи до механичког оштећења истих. Према теорији Лубинског и Бленкарна стуб течности дјелује на клип стварајући узлазну силу $F=A_p\Delta p$ у цијеви, што доводи до појаве увијање цијеви. Дужина извијање цијеви дијела може се израчунати из стања равнотеже силе извијања F и укупне тежине стуба течности и тубинга:

$$L = \frac{A_p \cdot \Delta p}{W_T \cdot W_f} \quad (11)$$

Критична дужина се мјери од пете тубинга и одређује положај неутралне тачке у тубингу до које ће доћи до појаве извијања композиције тубинга. Да би се елиминисала ова појава, а и пропратни проблеми, најчешће се врши анкерисање тубинга.

Постоји и други начин за елиминисање штетног утицаја извијања тубинга, а то је коришћење продуженог дијела композиције тубинга. Потребна дужина композиције тубинга испод дубинске пумпе се израчунава коришћењем једначине:

$$l_{tp} = \frac{4,157 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma_f \cdot L_d \cdot A_p}{W_{tp} \cdot (1 - 0,128\gamma_f)} \quad (12)$$

гдје су:

l_{tp} - продужени дио композиције тубинга испод пумпе [m],

L_d - динамички ниво флуида у међупростору [m],,

W_{tp} - линеарна тежина тубинга испод пумпе [kg/m]

A_p - површина клипа [m²].

Приједност ове методе је сигурније вађење композиције клипних шипки и тубинга из бушотине, док је основни недостатак да се „дисање“ система не може елиминисати, а то директно утиче на смањење ефикасности рада дубинске пумпе.

3.4 Дијагностика рада и проблема

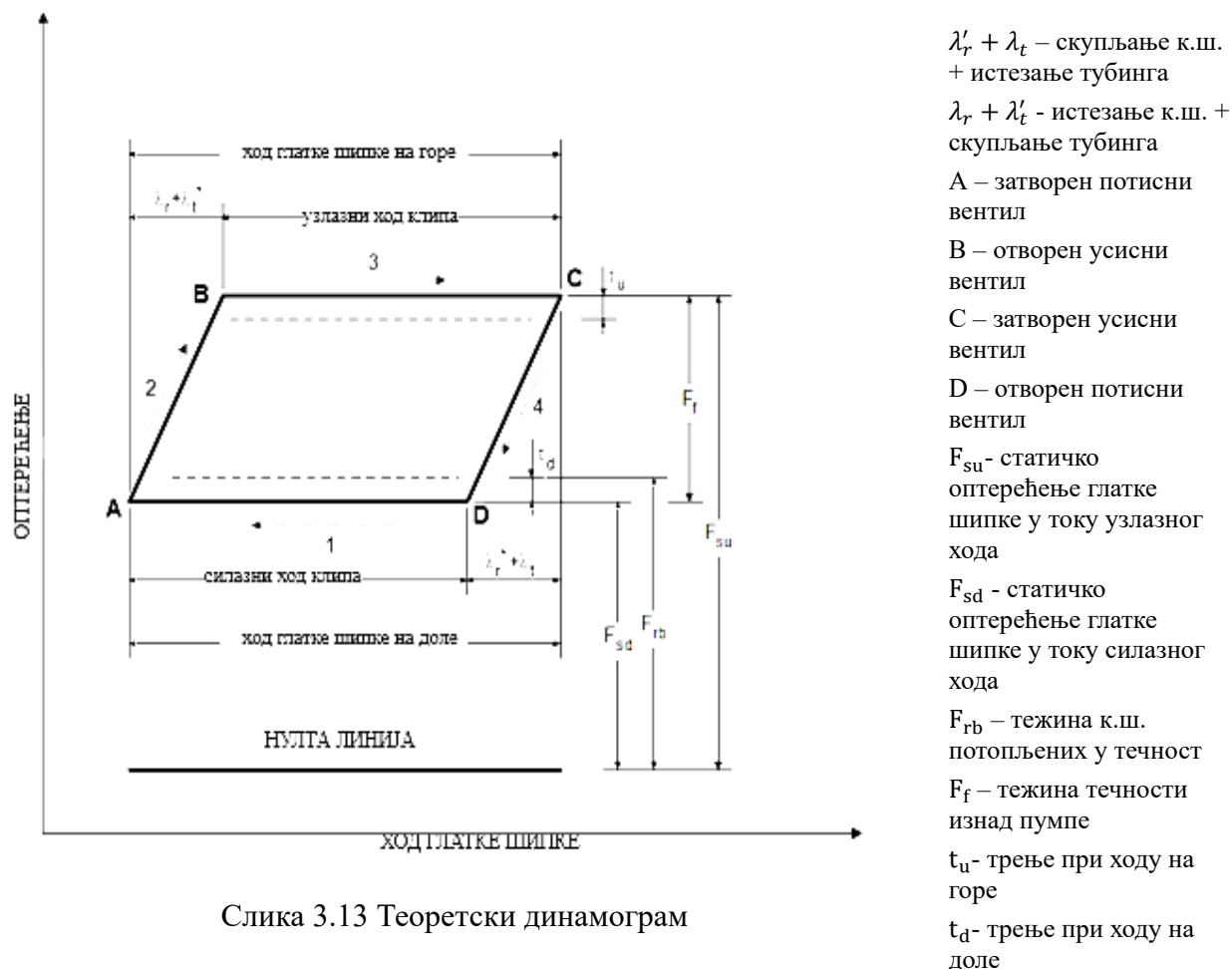
Да би се могла извршити контрола рада дубинске пумпе и дијагноза проблема рада врше се следећа мјерења:

- снимање динамограма рада потопне пумпе,
- акустично мјерење нивоа флуида (сонолог).

3.4.1 Динамограм

Динамограм представља континуирано мјерење резултанте свих сила дуж осе глатке шипке у сваком датом тренутку у току фаза пумпања. Када се негазификована нафта пумпа при малој брзини, добија се теоријски дијаграм оптерећења у облику паралелограма. Док се глатка шипка помјера нагоре (од тачке А до В), оптерећење расте због притиска течности у тубингу на клип. Међутим, клип се још не помјера јер се клипне шипке истежу, а тубинг се растеређује и скупља.

У тачки В клипне шипке преузимају цијело оптерећење и клип почиње да се помјера нагоре, што је приказано правом ВС, гдје оптерећење остаје константно. Затим, у тачки С, шипка креће надоле. Током кретања од С до D, клип се још увијек не помјера јер се шипке скупљају, а тубинг се истеже под притиском течности. У тачки D клип почиње да се креће надоле, а права DA приказује то кретање уз константно оптерећење, које одговара тежини шипки у течности умањеној за силу трења.



Слика 3.13 Теоретски динамограм

На дијаграму на слици 3.13 се могу одредити силе трења, које ће бити једнаке разлици између регистрованог максималног оптерећења клипних шипки и израчунатог напона хода на горе. При ходу надоле, сила трења је једнака разлици између тежине шипке уроњене у течност и регистрованог минималног оптерећења.

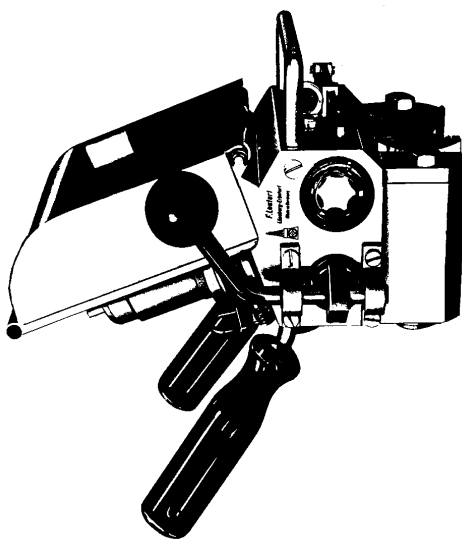
Постоје различити типови динамометара, и то:

- механички,
- хидраулични,
- електрични.

Хидраулични динамометар је најраспрострањенији, јер се дијаграм добија без заустављања рада моторне тестере. У нафтном пољу Турија користи се динамометар Leutert Dynamometer DYN 77 (Слика 3.14).

Динамометар се састоји из три основна дијела:

- система за примање оптерећења – њега чине два клипа носача са одговарајућим цилиндрима и пумпа за високи притисак,
- индикаторског система,
- комплета за регистровање добијених динамограма.



Слика 3.14 Динамометар »Leutert DYN 77«

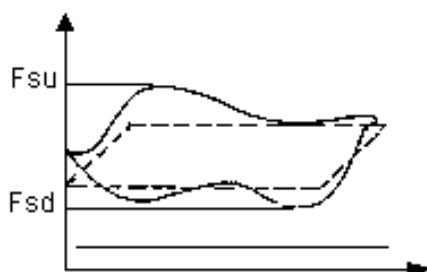
Извођење мјерења

Мјерење се изводи тако што се динамометар стави у носећи уређај на горњем крају глатке шипке, а затим се помоћу полуге пумпе високог притиска пумпа уље из резервоара у хидраулични систем. Клипови у динамометру се тада потискују и примају оптерећење на себе. Затим се бубањ за регистрацију повезује пријекто канапа и ланчића за неки чврст ослонац. Динамометар је сада спреман за рад и отпуштањем кочнице, игла (писач) уцртава дијаграм на специјалном папиру који је постављен на бубњу за регистрацију. По завршеном мјерењу отварањем против-повратног вентила врши се растерећење динамометра, пошто се уље из хидрауличног система враћа у резервоар. Сада се цјео апарат може лако извадити из носећег уређаја.

Стварни динамограм који се добија разликује се од теоретског, те се на основу тих разлика могу одредити узроци неправилног рада дубинске пумпе. Такође не треба заборавити да на облик динамограма утичу силе инерције маса које се крећу, као и динамичка напрезања која изазивају вибрације у клипним шипкама. Услијед ових сила, линије паралелограма (теоретског динамограма) су дјелимично изобличене и таласасте. Ово је нарочито изражено код уграђивања пумпи на већим дубинама и при великом броју ходова глатке шипке.

3.4.2 Одређивање динамичког притиска на дну и уисног притиска на основу динамограма

Са добијеног динамограма се може измјерити максимално и минимално оптерећење глатке шипке (слика 3.15). Мјерење се изводи специјалним лењирима у зависности од тога која опруга се користи на динамометру.



Слика 3.15 Динамограм

Fsu - Статичко оптерећење глатке шипке у току узлазног хода ($F_{\max}$)

Fsd - Статичко оптерећење глатке шипке у току силазног хода ($F_{\min}$)

$$\begin{aligned} F_{su} &= F_f + F_r + F_{wh} - F_{TO} \\ F_{sd} &= F_r \cdot b \end{aligned} \quad (13)$$

гдје су:

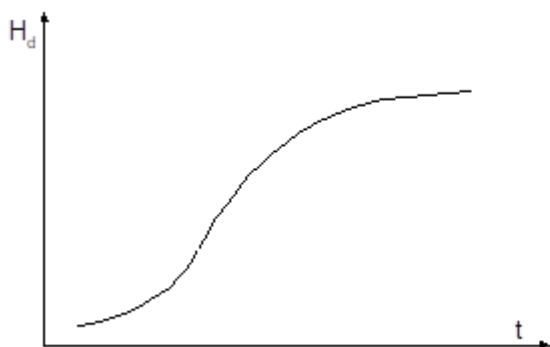
- F_f Тежина течности изнад пумпе,
- F_r тежина клипних шипки у ваздуху,
- F_{wh} оптерећење услијед силе притиска на глави бушотине,
- F_{TO} оптерећење клипа пумпе,
- b фактор олакшања клипних шипки у течности.

3.4.3 Акустично мјерење нивоа флуида (сонолог)

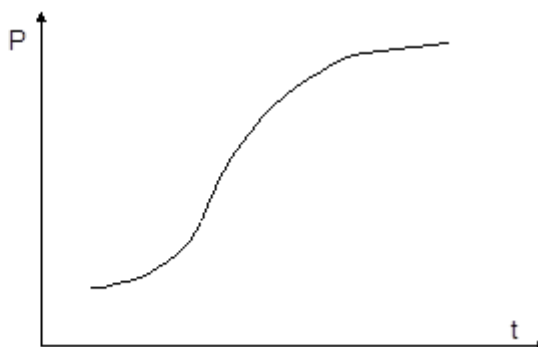
За акустично мјерење нивоа флуида користи се инструмент – сонолог. Поставља се на прикључку кезинг вентила и помоћу њега се иницира пуцањ. На специјалном папиру региструју се спојнице тубинга (у облику пикова). Када сигнал дође до нивоа

флуида долази до његове рефлексије и на папиру се биљежи пик који се по величини доста разликује од пикова спојница. Познавањем комплета тубинга и прецизним мјерењем броја спојница (специјалним чешљем) долази се до дубине на којој се налази ниво флуида (H_d). Међутим, мора се водити рачуна о присуству гаса јер може да се региструје лажан пик, чиме се умањује тачност мјерења. Због тога прије мјерења сонологом мора се измјерити притисак у кезингу и по могућству ако је гас присутан, растеретити бушотину, па онда приступити мјерењу.

На основу акустичног мјерења сонологом може се одредити лежишни притисак P_g . Да би се он одредио потребно је затворити бушотину на одређено вријеме Δt . Сачекати да се ниво флуида повећа у кезингу и онда се измјерити, понављајући поступак више пута. На основу ових мјерења може се нацртати дијаграм пораста нивоа флуида у функцији вријемена (слика 3.16). Трансформацијом статичког нивоа у притисак добија се дијаграм повећања притиска у функцији вријемена (слика 3.17) и на тај начин долази се до вриједности лежишног притиска.



Слика 3.16 Пораст нивоа флуида у функцији вријемена



Слика 3.17 Пораст притиска у функцији вријемена

3.4.4 Одређивање динамичког притиска на дну коришћењем података акустичног мјерења нивоа флуида

Динамички притисак на дну када је константан притисак на кезингу (излазна крива из нодалне тачке) једнак је:

$$P_{wf} = P_c + \Delta P_g + P_{fAP} + P_{fBP}, \quad (14)$$

А ако је кезинг спојен са нафтоводом:

$$P_{wf} = P_{sep} + \Delta P_{FL} + \Delta P_g + P_{fAP} + P_{fBP}, \quad (15)$$

гдје су:

p_c	- притисак у кезингу;
Δp_g	- повећање притиска стуба гаса у кезингу услијед тежине стуба гаса;
p_{fAP}	- притисак флуида изнад пумпе. Обично је флуид изнад пумпе нафта са мјехурићима гаса који се крећу кроз њу;
p_{fBP}	- притисак флуида испод пумпе. То је смјеша нафте, воде и гаса (ако бушотина производи и воду). У већини случајева пад притиска услијед трења се занемарује, јер се флуид креће са веома малим брзинама кроз тубинг или кезинг испод пумпе;
p_{sep}	- притисак сепаратора;
p_{FL}	- пад притиска у нафтоводу.

Хидродинамички градијент течности се множи са корекцијским фактором F_k и користи се за израчунавање промјене притиска у колони флуида. Ремонтни радови на бушотинама са дубинском пумпом на клипним шипкама

3.5 Подјела ремонтних радова

Ремонтни радови подразумијевају све радове којима се отклањају проблеми у раду бушотине у циљу оптимизације производње. Постоје капитални и текући ремонтни радови. Капитални радови представљају оне којима се отклањају проблеми у прибушотинској зони, док текући ремонт отклања проблеме у експлоатационој колони (замјена разних дјелова опреме и алата у самој бушотини). (Солеша, 2003)

Под капиталним радовима се подразумијевају:

- радови који повећавају продуктивност бунара у истом производном интервалу,
- радови којима се статус бушотине мијења, на примјер: ликвидација, изолација постојећег интервала и отварање новог, продубљивање канала бушотине и друге операције којима се мијења дубина производног интервала. (Солеша, 2003)

Радови у току:

Уграђивање и вађење дубинске пумпе, замјена и депарафинажа тубинга, спасавање уређаја за крацовање, замјена дотрајалих дјелова дубинске пумпе и сломљених клипних шипки, чишћење бушотина од пијеска. (Ковинчић, 2014)

Ремонтне радове дијелимо и према типу бушотине, које су подијелене према следећим критеријумима:

КРИТЕРИЈУМИ ПОДЈЕЛЕ БУШОТИНА		
Врста флуида	Статус бушотине	Начин производње
• Нафтне • Гасне	• Потенцијално производне (истражне, контурно-истражне) • Производне	• Еруптивне • Експлоатација примјеном механичке методе

Слика 3.18 Шема критеријума за подјелу бушотина, (Солеша, 2003)

Задатак ремонта код потенцијално производних бушотина је испитивање дефинисаних тј. очекиваних параметара и успостављање производње у позитивном случају, док се у супротном бушотина ликвидира. Задатак ремонта производних бушотина је оптимизација производње и постизање максималне профитабилности. (Солеша, 2003)

Радови на новоизбушеним бушотинама започињу монтажом превентерског склопа, перфорирањем производног интервала, освајањем – замјеном тежег радног флуида лакшим, гушењем бушотине и даље извршавањем операција редоследом по програму.

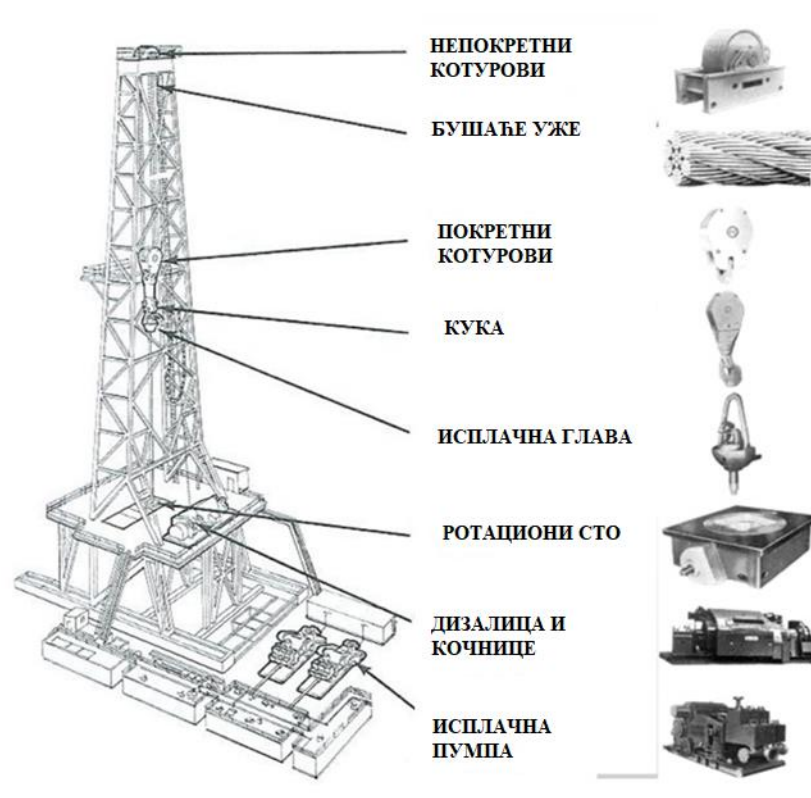
Код производних бушотина ремонтни процес започиње гушењем бушотине, замјеном ерупционог уређаја превентерским склопом. (Ковинчић, 2014)

3.6 Ремонтно постројење и опрема бушотине

Ремонтно постројење се састоји од сличних елемената као и бушаће постројење с тим што је ремонтно доста флексибилније и прилагодљивије брзом ефикасном раду, транспорту и монтирању како би се обезбедило адекватно правовремено отклањање кварова и проблема који узрокују застоје, губитке и трошкове.

Основне компоненте ремонтних постројења су: погонски систем, систем за маневрисање (дизалица-која се састоји од погонске јединице, радног бубња и радног ужета), торањ и радна постоља (рост), систем котурача, кочница, систем за циркулацију радним флуидом (пумпе, исплачна глава, исплачно црево, челични базени за исплаку),

уређаји за прављење и мијешање радних флуида, систем за ротацију (ротациона глава, ротациони сто, радна шипка), опрема на подишту торња (прихватни клинови, хидрауличка клешта, viseћа клешта, клешта са чељустима и кљуном, ланчана клешта, кључеви, чекић, алат који не варничи, прелази, помоћни уређаји и опрема). (Ковинчић, 2014)



Слика 3.19 Упрошћени приказ основних дијелова бушотинског постројења, (Пашић)



Слика 3.20 Ремонтно постројење, са покретним торњем и циркулационим системом

Ремонтна опрема производних бушотина обухвата: Гравел-пак, пушка за напуцавање, алат за инструментацију, скрепери, пакери.

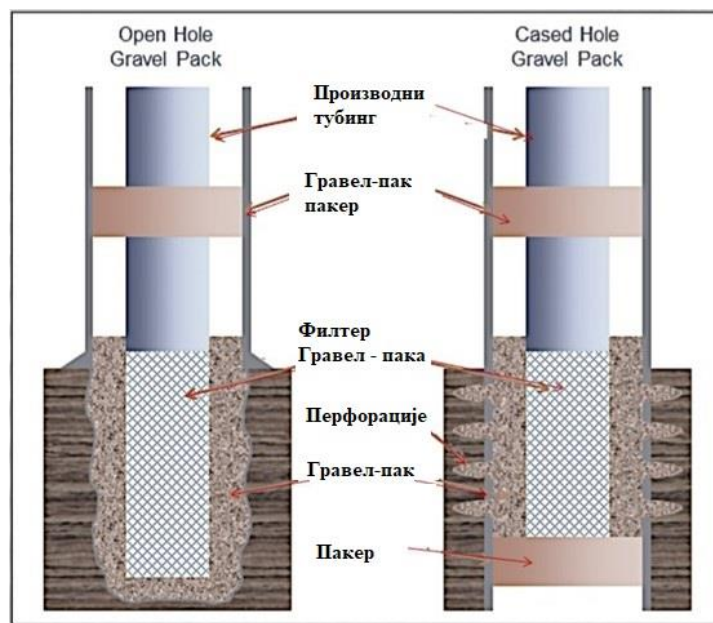
3.6.1 Гравел-пак

Гравел-пак је систем контроле продора пијеска у бушотини. Има функцију филтера, и поставља се у производном дијелу. Контрола продора пијеска се остварује убризгавањем зрна шљунка одговарајуће крупноће и количине која представљају филтер баријеру пијеску и спрјечавају његов улазак у бушотину, пропуштајући само флуид из лежишта. Најбитније код уградње Гравел-пак система су чистоћа бушотине, радног флуида и површинске опреме као и густо паковање гравела (шљунка). Гравел-пак опрема се састоји од производне и операционе опреме. Производна опрема остаје у бушотини након завршетка засипања гравелом, док се операциона вади из бушотине. (Солеша, 2003)

Производни дио Гравел-пак опреме чине: Главни филтер, производни филтер, неколико тубинга, спојница, централизатори.

Операциони дио опреме су: Испирне цијеви одговарајуће дужине, алат са бравом за спајање на спојници, Алат за унакрсну циркулацију, тубинг.

У бушотинама које производе кроз „OPEN HOLE“ неопходно је проширење „OPEN HOLE“-а и снимање пречника бушотине прије уградње Гравел-пака (слика 3.21). (Солеша, 2003)



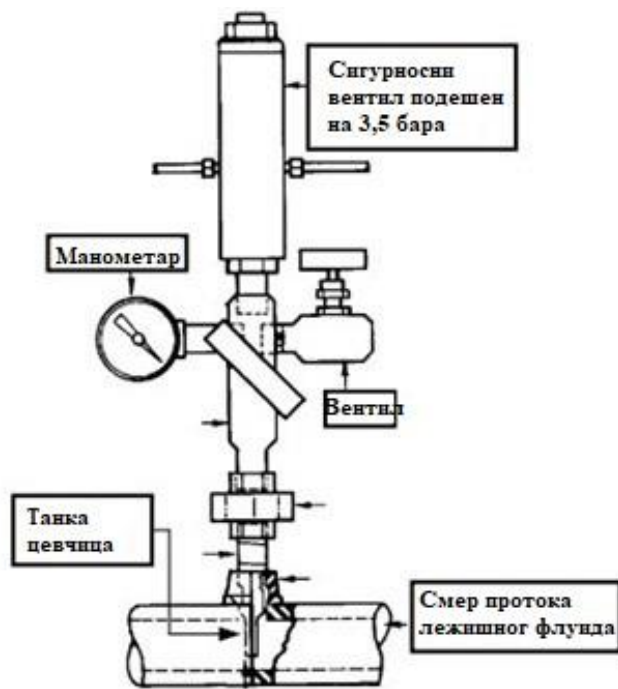
Слика 3.21 Основна опрема Гравел-пак система зацијевљене и незацијевљене бушотине, (SEMANTIC SCHOLAR, n.d.) (PETROBLOGWEB, n.d.)

Поступци пројектовања гравел-пак система подразумевају:

1. селекцију одговарајућег бунара - одговарајућег кандидата;

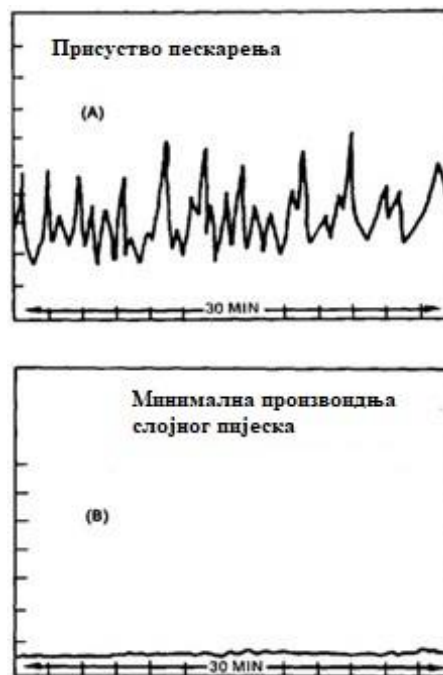
2. добијање репрезентативног узорка слоја пијеска: (конвенционално језгро, бочно језгро, узорак узет алатом на жици, узорак из произведеног резервоара течности);
3. гранулометријску анализу добијеног узорка;
4. одређивање оптималне гранулације, врсте гравела за засип, врсте филтера и величине зазора филтера;
5. одабир начина напуцавања и израчунавање пада притиска кроз ГП систем;
6. селекција радног флуида;
7. избор начина чишћења перфорационих канала након извођења пирсинга;
8. избор начина на који ће се вршити затрпавање ГП опреме;
9. одређивање састава оперативне и производне ГП опреме која ће бити инсталирана у бунару;
10. израчунавање параметара неопходних за оптимално попуњавање дијела производне ГП опреме шљунком;
11. избор начина третмана бунара, бунара и површинске опреме, као и радног флуида у смислу чистоће;
12. утврђивање нивоа и компактности стуба гравела у анулусу. (Солеша, 2003)

Код производних бушотина уколико превентивно није уграђен Гравел-пак, постављају се механички или звучни детектори пијеска на основу којих одређујемо време уградње Гравел-пак система, како не би дошло до абразивног оштећења опреме услед удара пијеска. Ови детектори се постављају иза ерупционог уређаја. Механички детектор се састоји од танке цјевчице која је уроњена у нафтовод и вентила ниског притиска око 3,5 бара, у случају оштећења цјевчице пијеском притисак из нафтовода долази до вентила који се отвара и сигнализира присуство пијеска. (Солеша, 2003)



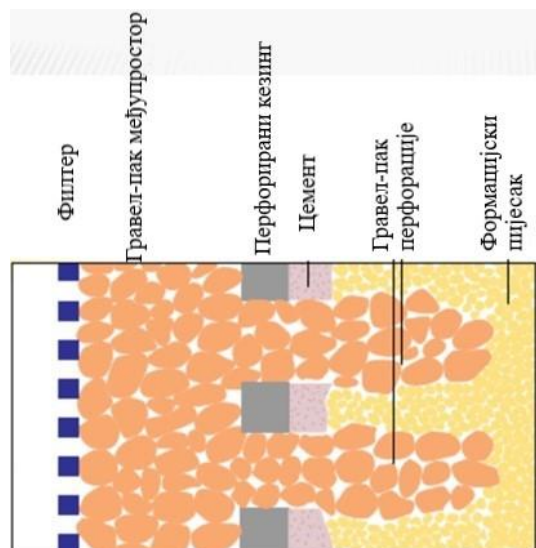
Слика 3.22 Механички детектор пијеска, (Солеша, 2003)

Звучни детектор пијеска се састоји од сонде и електронског инструмента са дисплејом на ком се аналогно детектују удари пијеска у сонду и добија се у виду електронског дијаграма на дисплеју. На основу графика се израчунава маса пијеска у јединици вријеме у зависности од брзине протока флуида. (Солеша, 2003)



Слика 3.23 Звучно детектовање пијеска сондом, (Солеша, 2003)

Да би уградња гравел-пака била успјешна, потребно је да се одреди оптимална величина зрна гравела, као и количина која се упумпава у бушотину. Гранулометрија мора да буде таква да зрна буду довољне величине и доброг распореда да обезбеде пропусност флуида, а спријече продор зрна пијеска у бушотину.



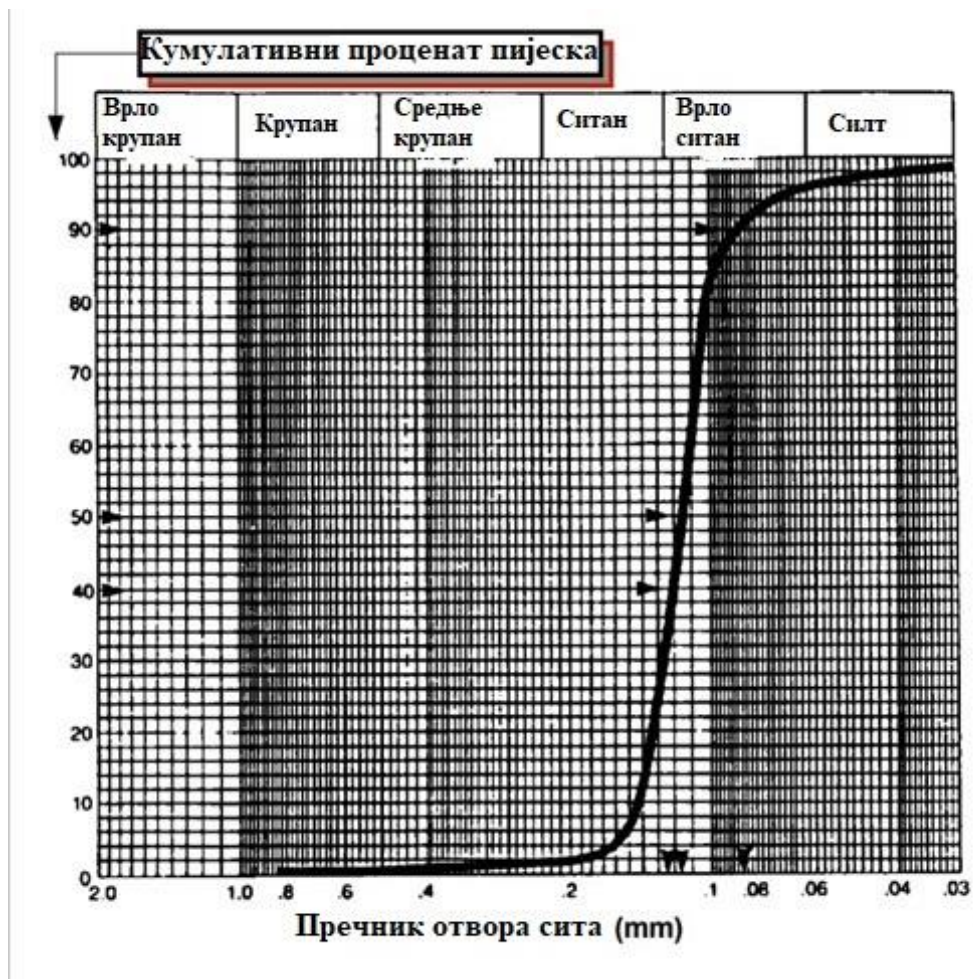
Слика 3.24 Приказ распореда зрна гравела између филтера и слоја, (PETROBLOGWEB, n.d.)

Основа за пројектовање гравела је гранулометријска С крива, која одређује униформност зрна пијеска и даје оптималне величине гравела за уградњу.

Униформност је дефинисана нагибом С криве, односом пречника зрна 40 % и 90 % кумулативног тежинског удела узорка.

$$C = \frac{D_{40s}}{D_{90s}} \quad (16)$$

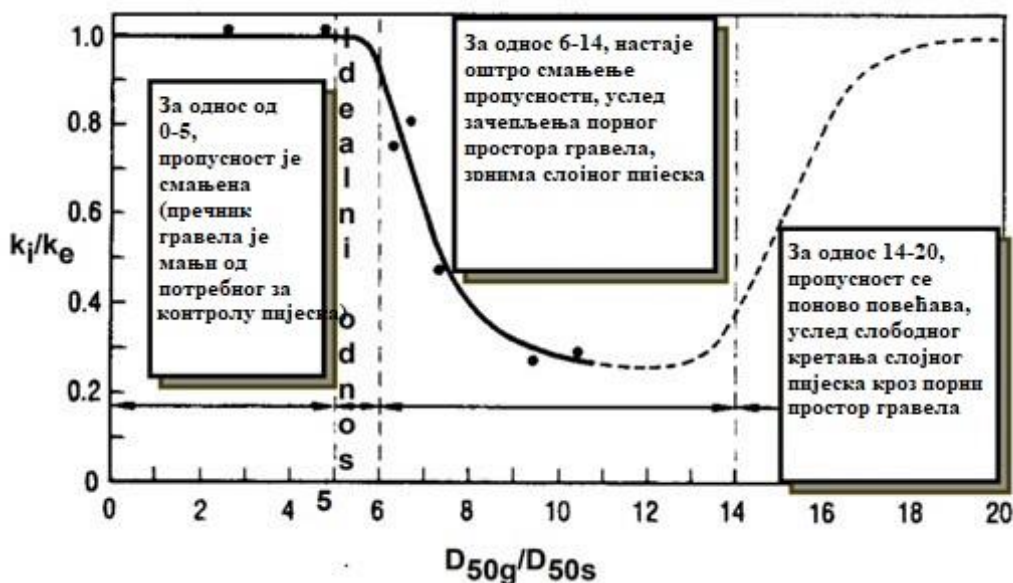
- $C < 3$ - пијесак је униформан;
- $3 < C < 5$ - пијесак је неуниформан;
- $C > 5$ - пијесак је врло неуниформан.



Слика 3.25 Гранулометријска С крива, (Солеша, 2003)

Гранулација гравела се добија множењем одговарајућим коефицијентима и одабраних пречника слојног пијеска са С криве. Постоје различите методе према различитим ауторима, најпримењиванија је Saucier-ova метода. (Солеша, 2003)

$$D_{50g} = 6 * D_{50s} \quad (17)$$



Слика 3.26 График одређивања оптималног пречника гравела, метода SAUCIER-A, (Солеша, 2003)

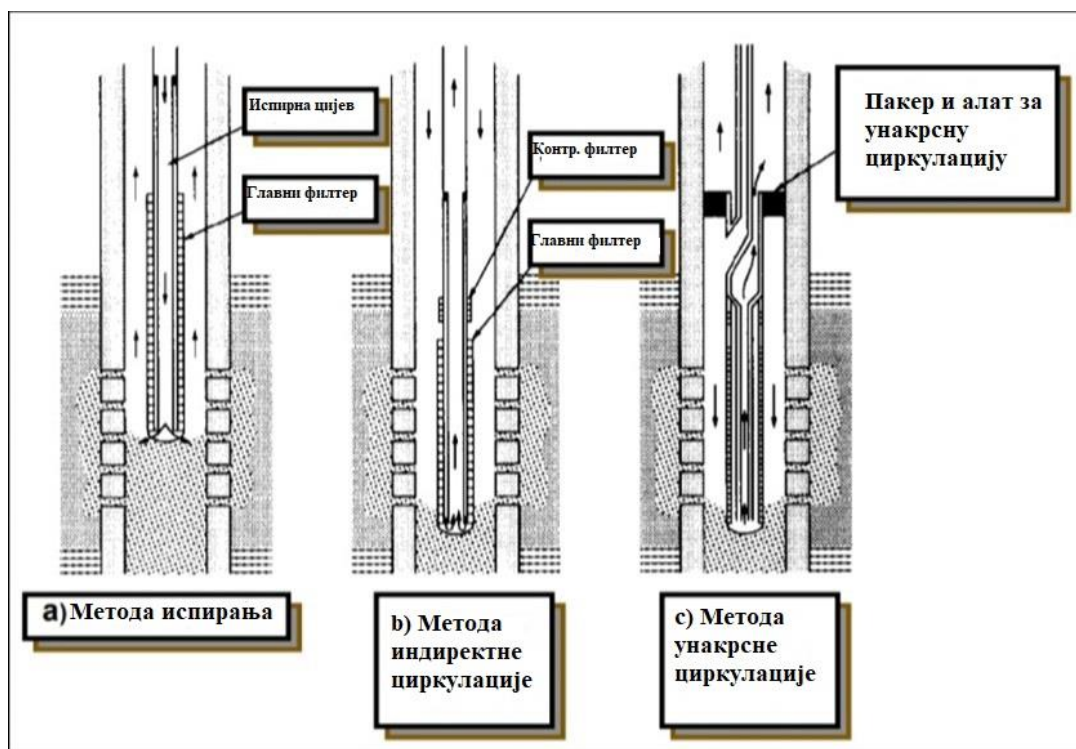
На слици бр. 3.26 дат је дијаграм на коме је приказан однос количника ефективне и почетне пропусности гравела и односа средњег пречника гравела и средњег пречника слојног пијеска.

Примјећује се да је за однос:

- $D_{50g}=5-6 D_{50s}$, пропусност гравела максимална уз потпуно спрјечавање продора слојног пијеска у канал бушотине;
- $D_{50g}=6-14 D_{50s}$, пропусност гравела се драстично смањује;
- $D_{50g}=14-20 D_{50s}$, пропусност гравела се поново повећава уз слободан пролаз слојног пијеска кроз гравел. (Солеша, 2003)

Методе којима ће се вршити затрпавање шљунка могу бити (Слика 3.27):

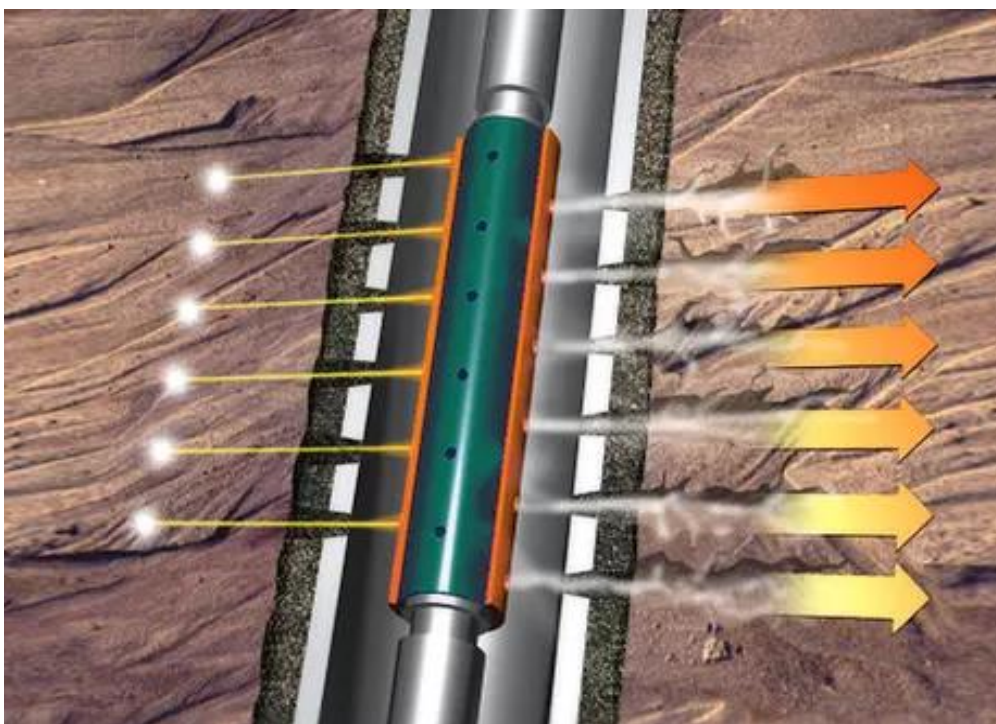
- метода испирања,
- метода индиректне циркулације,
- метода унакрсне циркулације (најбоље за нафтне и гасне бушотине).



Слика 3.27 Методе засипања гравелом, (Солеша, 2003)

3.6.2 Пушке за напуцавање

Перфорирање (напуцавање) је операција којом започиње освајање зацјељене бушотине након чега успостављамо пријем флуида кроз перфориране отворе у бушотину. Перфорира се експлоатациона колона, цемент и дијелом прибушотинска зона. У зависности од услова у бушотини користе се различите методе напуцавања и самим тим примјењују различити типови пушки (Слика 3.28).



Слика 3.28 Пушка за перфорирање, (Baker Hughes, n.d.)

Врсте пушака за напуцавање:

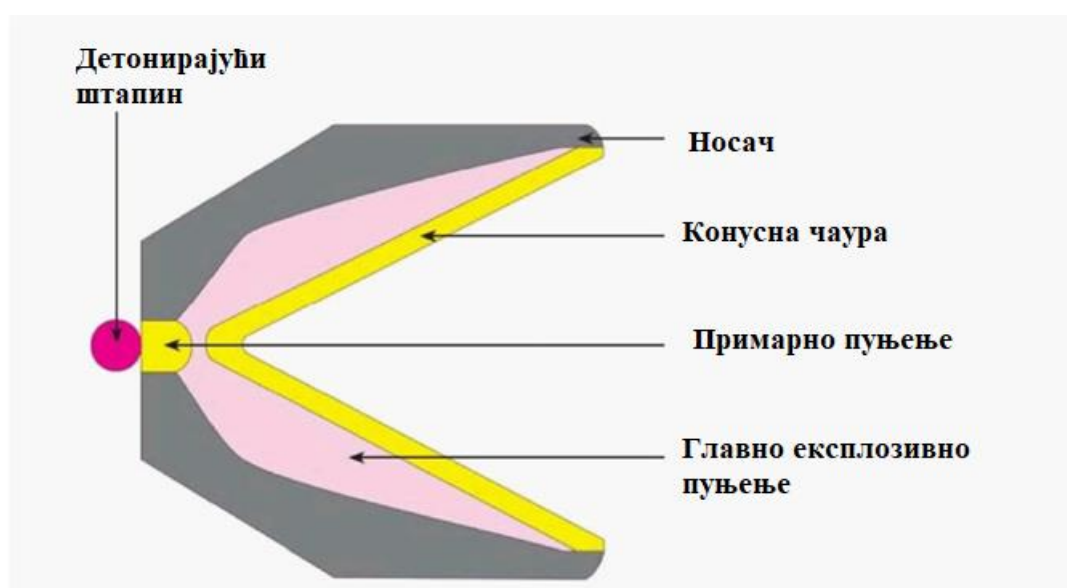
- млазна пушка,
- пушка са мецима,
- хидраулични млаз перфоратор,
- механички перфоратор.

Конвенционални начин пуцања врши се употребом експлозивних кумулативних набоја и пушака са мецима. Конвенционална метода може бити пребалансирана или недовољно уравнотежена. У пребалансираном стању, притисак у бушотини је већи од притиска у формацији, што доводи до зачепљења рупа и контаминације зоне бушотине. Код неуравнотежене бушотине, притисак у бушотини је нижи од формацијског, пиштољ се убацује каблом кроз опремљену цијев, и бушотина се одмах пушта у производњу без додатне интервенције.

Модеран метод снимања ТСП систем (tubing conveyer perforator). Сонда се спушта кроз цијев, а гама-зрак, који представља природни отпор стијена у резервоару, мјери се на улазу у бушотину. Након тога, активира се пушка са пакером и монтира се уређај за ерупцију. Активациона шипка се спушта кроз цијев, пролази кроз стаклени диск до детонирајуће главе и активира се ударцем. Снимање се врши под негативним диференцијалним притиском, уз обезбјеђењу циркулацију флуида из слоја у бунар, како би се спријечило оштећење продукционе зоне.

Млазно перфорирање омогућава већу дубину продирања коришћењем гелираног флуида и пијеска који се убризгавају у тубинг и великом брзином избацују кроз млазнице. Ова метода се примјењује при позитивном диференцијалном притиску, посебно код појаве гасних и водених конуса, али продуктивност се након тога брзо смањује.

Млазни пиштољ, најзаступљенији у нафтној индустрији, састоји се од челичне цијеви у којој су распоређени кумулативни експлозивни набоји. Он обухвата метални кертриџ конусног облика, главно кумулативно експлозивно пуњење, детонатор и почетно експлозивно пуњење; након детонације, кертриџ се распада и формира метални млаз од финих честица који великом брзином (око 10.000 m/s) продире ка експлоатационој колони (Слика 3.29).



Слика 3.29 Метални уложак

Проточност перфорација је дефинисана:

- бројем перфорација – n_p ;
- дужином перфорација – L_p ;
- пречником перфорација – D_p ;
- фазном подешености перфорација – φ .

Експлозиви се углавном користе у зависности од притиска, температуре, енергије (брзине) и потребне снаге. Њихово иницирање може бити механичко, када се са површине спушта тег који активира капсулу, или електрично, путем кабла који доводи струју до детонатора.

Постоје два основна типа перфорирања у зависности да ли се перфоратор спушта на тубингу или каблу.

Перфоратори могу да буду херметични и нехерметични у зависности од контакта експлозивног пуњења са флуидом.

Ефекат дејства експлозије зависи од пречника пуњења, пречника колоне, и карактеристике простора иза колоне.

3.6.3 Алат за инструментацију

Алати за инструментацију се користе у случају заглаве неког дијела опреме у бушотини, спуштају се у бушотину и ротационим или ударним покретима одглављују опрему и извлаче на површину.

Методe за инструментацију без оштећења бушаћих алатки се заснивају на хемијској обради купкама: нафтним, воденим или киселинским. Механичке методе за инструментацију обухватају (Слика 3.30): алат за унутрашње хватање (трн / спир), алат за спољашње хватање (овершот / звоно), хидраулични ударац, хидраулични паук, резачи, магнети, алати за глодање (фрезовање), сигурносна спојница и др. (Бизјак, 2004)



Слика 3.30 Алат за инструментацију

3.6.4 Ремонтни радови на производним бушотинама

Ремонтни радови производних бушотина обухватају: гушење бушотине, цементацију, киселинску обраду, бушење цементационог чепа, перфорирање, уградњу гравел пака, као и операције алатом за инструментацију. Први корак је гушење бушотине и вађење опреме уколико се ради о експлоатацији неком механичком методом, као што је у овом случају клипна дубинска пумпа.

Одговором на два кључна питања утврђујемо да ли је потребно примијенити ремонтне радове:

Да ли бушотина производи према хидродинамичким условима у лежишту и примијењеној методи и опреми?

Ако не – који су узроци?

Први одговор добијамо дефинисањем IPR и TIS криве. IPR крива представља однос динамичког притиска на дну бушотине и одговарајуће дневне производње лежишног флуида. Друга значајна крива система анализе - крива карактеристике утока лежишног флуида у тубинг (TIS крива). Представљањем ове двије криве на истом дијаграму добијамо пресечну тачку чија пројекција на x-осу представља оптималну производњу бушотине. Прва IPR крива добијена одмах након опремања бушотине је референтна крива са којом поредимо сваку следећу. Поређењем оптималне продуктивности бушотине, добијене из IPR и TIS кривих, са тренутном продуктивношћу бунара, одређује се степен могућег повећања продуктивности.

Прије слања ремонтног постројења, потребно је прикупити податке на основу тренда пада лежишног притиска, као што су положај контакта нафта–вода и природна стопа пада лежишног притиска. Бројни узроци могу да буду разлог смањењу очекиване производње, па се на основу анализирања и праћења свих података попут динамичког притиска на дну IPR кривих долази до закључка о узроку смањења. Пад производње може да буде решен замјеном бушотинске опреме, али ако је динамички притисак ипак висок, а мања производња, рјешење би било прочишћавање низа тубинга у еруптивним бушотинама или замјена оштећеног система за механичку методу експлоатације (неисправна дубинска пумпа или гас-лифт систем). У случају нижег динамичког притиска рјешење је стимулативни захват. Поступак планирања ремонтних радова завршава се поређењем стварних производних могућности сваке бушотине са оптималним. (Солеша, 2003)

Друго питање треба ријешити систематском анализом коришћењем одређених дијагностичких процедура уз истовремену употребу великог броја неопходних информација. За дефинисање узрока смањене продуктивности или престанка производње бушотина, потребно је препознати типове проблема присутних у производном систему и утврдити факторе који су довели до смањења или престанка

производње. Могуће проблеме у нафтним и гасним бушотинама можемо подијелити према мјесту настанка у четири групе, као што је приказано у следећој табели.

Табела 3.8 Могући проблеми у нафтним и гасним бушотинама

Проблеми лежишта	Проблеми у прибушотинској зони	Проблеми у перфорационим каналима и отворима на лајнер колони	Проблеми производне опреме и канала бушотине
Ниска пропусност колекторске стијене	Емулзије	Зачепљење перфорационих канала или прореза на "лајнер" колони	Оштећење експлоатационе колоне
Ниска порозност уз висок проценат везане воде	Промјена квашљивости	Хидродинамичко несавршенство бушотине са аспекта начина и услова напуцавања	Оштећење (нехерметичност) уграђене производне опреме или дна бушотине
Повећање гасног фактора	Водена блокада	Хидродинамичко несавршенство бушотине са аспекта степена отварања положаја отвореног интервала	Оштећење дубинске пумпе и клипних шипки
Повећање процента воде у лежишном флуиду	Неоргански (минерални) талози	Дјелимично или потпуно прекривање интервала талогом или слојним пијеском	Оштећење гас-лифтових вентила
Ниска вриједност лежишног притиска	Органски талози	—	Погрешно пројектован систем за механичку методу експлоатације
Висока вискозност нафте у лежишту	Мјешовити талози	—	Лоша цементна облога
Ретроградна кондензација у гасним лежиштима	Силт и минерали глина	—	Зачепљење тубинга

3.7 Програмирање ремонтних радова у нафтним и гасним бушотинама

Начин на који се врши програмирање ремонтних радова у нафтним и гасним бушотинама, односно кораци по којима се оно спроводи, приказани су у табели 3.9.

Табела 3.9 Програмирање ремонтних радова у нафтним и гасним бушотинама

ПРОГРАМИРАЊЕ РЕМОНТНИХ РАДОВА	Анализа дефинисаног проблема који треба отклонити
	Анализа претходних ремонтних захвата у бушотини, укључујући и захвате изведене примјеном специјалних постројења (савитљиви тубинг, алат на жици)
	Анализа постојеће производне опреме у бушотини
	Разматрање техничких карактеристика бушотине и карактеристика лежишта
	Избор радног флуида
	Избор начина гушења бушотине
	Избор потребне сигурносне опреме (превентери)
	Избор начина отварања новог производног интервала – напуцавање
	Избор опреме за извођење ремонтног захвата
	Прорачун укупне дилатације и напрезања тубинга у затвореном систему (тубинг + пакер)
	Пројектовање GP ("Гравел-пак") система
	Избор производне опреме која ће се уградити у бушотину по завршетку ремонтног захвата
	Избор начина освајања бушотине
	Избор начина затварања производног интервала (цементација у зацењеној бушотини, уградња мостовних чепова на тубингу или каблу)
	Анализа дефинисаног проблема који треба отклонити

У већини случајева потребно је ангажовање ремонтног постројења ради извођења радова на санацији бушотине. Основни критерији за одабир одговарајућег постројења обухватају: дубину бушотине, актуелну носивост постројења те врсту ремонтног захвата који је планиран.

4 Студија случаја

4.1 Ремонт бушотине X-1

У оквиру редовног одржавања производних капацитета, током новембра 2016. године изведени су радови на ремонту бушотине X-1, која се налази у експлоатационом подручју Кикинда. Радове је извео Нафтагас – Нафтни сервис, погон за ремонт из Зрењанина. Циљ активности био је отклањање техничких проблема, замјена дотрајале опреме и поновно оспособљавање бушотине за стабилну и безбједну производњу нафте и гаса.

4.1.1 Ток ремонта

Радови су започети провјером заптивености производне колоне до дубине гасног сидра, при чему је утврђено да је колона нехерметична (пад притиска са 40 на 0 бара у року од 30 секунди). Услијед тога је извршена комплетна демонтажа производне опреме:

- извађено је 114 комада клип шипки пречника 22,22 mm, 3 кратка сегмента и дубинска пумпа;
- ексцентрична јединица је демонтирана, а сигурносна опрема (СО) је монтирана;
- извађен је носач колоне, 113 цијеви производне колоне, гасно сидро и остала опрема;
- након инспекције комисије, утврђена је потреба за прањем опреме због присуства парафина (слика 4.1), замјена сједишта куглице због оштећења (слика 4.2);
- замјена кертриџа у сигурносној опреми (СО) је извршена неколико пута (из 2 7/8" и 2 3/8" и обрнуто), а заптивеност је провјерена на притисцима до 137 бара.



Слика 4.1 Присуство парафина на клип шипкама



Слика 4.2 Оштећење сједишта куглице

4.1.2 Интервенције у каналу бушотине

Током захвата вршено је више покушаја интервенције у бушотинском каналу коришћењем:

- обрасца,
- круне,
- бушилице (БШ),
- трнова и сигурносне спојнице.

На дубинама између 1120 m и 1158 m забележени су бројни проблеми са непланираним отпорима у бушотинском каналу. У више наврата покушано је прихватање формационе композиције (ФК), уз употребу директне и индиректне циркулације, оптерећења и ротације. Уочена су оштећења (присуство металних опиљака), циркулациони губици (укупно 31,3 m³ технолошке воде) и немогућност потпуног издвајања формацијског материјала.

Коришћени су разни алати – овершот, сретна рука, левкасти уводник – у покушају да се превазиђу препреке и остаци формационе опреме.

4.1.3 Резултати

Херметичност сигурносне опреме успјешно је потврђена на $P = 137$ бара.

Успостављена је стабилна геометрија бушотинског канала до дубине од 1158 m, иако дио формационе композиције није био могуће издвојити.

Завршна конфигурација обухватила је производни низ цијеви ТБГ 2 7/8” са левкастим уводником и носачем цијеви до дубине од 520,86 m.

4.1.4 Закључак

Ремонт бушотине Х-1 представља примјер комплексног захвата у производној бушотини са вишеструким техничким изазовима. Током операција примјењиване су различите методе интервенције, а флексибилан приступ и употреба адекватне опреме омогућили су успјешну санацију проблема и поновно оспособљавање бушотине за производњу. Овај случај указује на значај детаљног планирања и оперативне спремности у савријеменом инжењерингу нафте и гаса.

4.2 Ремонт бушотине X-2

Ремонт бушотине X-2, која се налази у експлоатационом подручју Кикинда, обављен је у периоду од 9. до 24. октобра 2016. године. Извођач радова била је компанија Нафтагас – Нафтни сервис, погон за ремонт из Зрењанина. Циљ ремонта био је отклањање механичких и хидрауличних препрека у бушотинском каналу, уклањање слојног пијеска и парафинских наслага, замјена дотрајале опреме и поновно оспособљавање бушотине за безбједну експлоатацију.

4.2.1 Ток ремонта

На почетку је извршено мјерење притисака, при чему је утврђено да бушотина има минималну активност. Бушотина је угушена сланим раствором ($\rho=1,06 \text{ kg/dm}^3$), али тираж није успостављен. Заптивна глава је демонтирана и инсталиран је хидраулични вентил.

Након вађења клипних шипки и покушаја чишћења парафинских наслага, бушотина је допуњена додатним количинама раствора, али се и даље није остварио жељени хидраулички контакт. Употребљени су скрепери различитих пречника, а цијевни низ је дјелимично демонтиран због парафинске блокаде.

У наставку радова, коришћени су фрезери, назубљене спојнице, хидровакум пумпе и гелирани раствори за испирање формационог пијеска. У више наврата регистровани су губици флуида, нарочито приликом активације хидровакум пумпи, што је указивало на присуство порозног формацијског материјала. У појединим фазама захвата вађено је и до 200 kg слојног пијеска (слика 4.3 и 4.4).



Слика 4.3 Присуство слојног пијеска



Слика 4.4 Присуство слојног пијеска

4.2.2 Техничке интервенције

Кроз неколико покушаја:

- дно је избушено до дубине од 1124,00 m;
- примјењивани су раствори са гелом ХЕЦ-10 у концентрацији до 7 kg/m³;
- спроведене су операције засипања филтерске конструкције кварцним пијеском (1800 kg, d = 0,8–1,6 mm);
- производни интервал (1119,00–1120,50 m) је реперфориран помоћу електричног уређаја за евидентирање (ЕЦ).

Завршни радови обухватили су:

- спуштање комплетне производне колоне са гасним сидром, перфо комадом, пакером и сједиштем за дубинску пумпу;
- инсталацију дубинске инсерт пумпе „Weatherword“ Ø44 mm са укупно 115 клип шипки;
- уградњу ерупционог уређаја и испитивање херметичности на 70 бара.

4.2.3 Резултати

- Успјешно очишћен бушотински канал до 1124,00 m и стабилизovan формацијски интервал;
- Херметичност свих компоненти је потврђена при тестираним притисцима (до 150 бара);
- Формацијска зона ефикасно третирана гелираним растворима и пијеском;
- Бушотина је способна да настави производњу, уз потврђену стабилност затрпавања и функционалност структуре филтера.

4.2.4 Закључак

Ремонт бушотине Х-2 представља технички захтијевну операцију која је укључивала вишефазно чишћење, испирање, реперфорацију и поновно комплетирање производног низа. Кључни изазови односили су се на уклањање парафинских и пјесковитих зачепљења, губитке флуида и осигурање стабилности у перфорираном интервалу. Употребом комбинованих механичких и хемијских метода, укључујући хидровакум пумпе, гелиране растворе и пијесак за засипање, бушотина је успјешно рехабилитована и припремљена за производни режим рада.

5 Закључак

Систем дубинског пумпања на клипним шипкама и даље представља најзаступљенију методу вјештачког подизања нафте у условима умјерених и ниских резервоарских притисака, посебно на нафтним пољима у јужном дијелу Панонског басена. Ефикасност овог система, као и укупна продуктивност бушотине, у значајној мјери зависи од прецизног пројектовања, квалитетне уградње, сталног мониторинга и правовремене реализације ремонтних интервенција.

Спроведена анализа рада дубинских пумпи, уз примјену методологије систем анализе и дијагностике (динамограм, акустична мјерења и мјерење нивоа флуида), показала је да су главни узроци смањене ефикасности најчешће повезани са присуством слободног гаса, механичким оштећењима компонената, као и неадекватном дужином уградње пумпе. Употреба гасних сидра значајно побољшава запреминску ефикасност, посебно у случајевима када је усисни притисак близак или нижи од притиска засићења.

Студије случаја бушотина показале су да је кроз правилно планиране ремонтне интервенције могуће продужити период непрекидне експлоатације, смањити оперативне трошкове и повећати поузданост система. Упоређење резултата прије и после ремонта показује пораст производње, смањење броја кварова и побољшање динамичког притиска.

Као кључне препоруке истичу се:

- интегрисано планирање одржавања на основу историјских података и података у реалном вријемени;
- оптимизација дубине уградње и параметара пумпања путем систем анализе;
- редовна дијагностика и употреба софтверских алата за праћење рада (нпр. SROD, RodDiag);
- примјена материјала отпорних на хабање и корозију (нпр. антикорозивне легуре, керамичке компоненте);
- увођење програма обуке за теренско особље о иновативним дијагностичким методама.

Резултати овог рада могу послужити као основа за развој стандарда и протокола ремонта дубинских пумпи у домаћој индустрији, као и за имплементацију модерних техника управљања експлоатационим системима у реалном вријемени.

6 Литература

- Бизјак, Д. Р. (2004). Технологија бушења са пројектовањем. Нови Сад.
- Dutta, S., et al. (2020). AI-based optimization of rod pump operations. *Journal of Petroleum Technology*, 72(4).
- Ковинчић, М. К. В. (2014). Приручник за обуку, за професију: помоћни радник на ремонтном постројењу, клинаш-торњаш.
- Kumar, R., et al. (2023). Predictive maintenance of sucker-rod systems using machine learning models. SPE-215398-MS.
- Солеша, М. (2003). Експлоатација нафте механичким средствима. Нови Сад: ДИТ НИС-Нафтагас.
- Солеша, М., Малогајски, С. (2002). Радови на поправци и стимулацији у нафтним и гасним бушотинама. Нови Сад: ДИТ.
- Takacs, G. (2015). *Sucker-Rod Pumping Handbook: Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping*. Gulf Professional Publishing.
- Wang, Y., et al. (2021). Improving volumetric efficiency of sucker-rod pumps in high-GOR wells. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 93, 104061.
- Wang, Y., Li, Z., & Zhou, H. (2022). Optimization of gas anchor performance in rod pumping wells. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 210, 110051.
- Зелић, М., Чикеш, М. (2006.): Технологија производње нафте дубоким пумпама, ИНА-Нафтаплин, Загреб
- Чикеш, М. (1995). Могућност повећања придобивих залиха угљоводоника применом поступка хидрауличног фрактурирања. Докторска дисертација.
- Пашић, Д. Д. (н. д.). *Техника израде бушотина 1, Бушаћа постројења* [Презентација].

Биографски подаци

Кандидат Немања Пушара, рођен је 30.01.1992. у Требињу, Босна и Херцеговина. Средњу школу завршио је у Гацку: Средњошколски центар Перо Слијепчевић, смер за рударство, геологију и металургију, и тиме стекао звање рударског техничара. Након завршене средње школе, уписује основне академске студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду. Одбраном завршног рада на тему: „Одређивање чврстоће гасовода“, стиче звање дипломираног инжењера рударства. Након тога, постаје приправник у предузећу: Рудник и термоелектрана, Гацко; у служби Припреме рударских радова. Након завршетка приправничког стажа полаже стручни испит из рударства као и за лиценцу за обављање послова из области Безбедности и здравља на раду при Министарству. Од 2023. запослен у Нафтној индустрији Србије као Експерт за Безбедност и здравље на раду.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

**Изјављујем да је
мастер/магистарски рад**

Наслов рада: Анализа ремонтних радова на бушотинама са дубинском пумпом на клипним шипкама на подручју јужног дијела Панонског басена

Наслов рада на енглеском језику: Analysis of workover operations on rod-pumped wells in the southern part of the Pannonian basin

- ☐ резултат сопственог истраживачког рада,
- ☐ да мастер/магистарски рад, у цјелини или у дијеловима, није био предложен за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- ☐ да су резултати коректно наведени и
- ☐ да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Бањој Луци _____

Потпис кандидата



**Изјава којом се овлашћује Рударски факултет/ Академија умјетности
Универзитета у Бањој Луци да мастер/магистарски рад учини јавно доступним**

Овлашћујем Рударски факултет/ Академију умјетности Универзитета у Бањој Луци да
мој мастер/магистарски рад, под насловом: Анализа ремонтних радова на бушотинама са
дубинском пумпом на клипним шипкама на подручју јужног дијела Панонског басена

који је моје ауторско дјело, учини јавно доступним.

Мастер/магистарски рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату,
погодном за трајно архивирање.

Мој мастер/магистарски рад, похрањен у д и г и т а л н и р е п о з и т о р и ј у м Универзитета
у Бањој Луци, могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце
Креативне заједнице (*Creative Commons*), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство - некомерцијално - без прераде
4. Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима
5. Ауторство - без прераде
6. Ауторство - дијелити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је
на полеђини листа).

У Бањој Луци _____

Потпис кандидата



ТИПОВИ ЛИЦЕНЦИ КРЕАТИВНЕ ЗАЈЕДНИЦЕ

Ауторство (CCBY)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

Ауторство - некомерцијално (CC BY-NC)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела.

Ауторство - некомерцијално - без прерада (CC BY-NC-ND)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, без промјена, преобликовања или употребе дјела у свом дијелу, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дјела.

Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима (CC BY-NC-SA)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дијела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела и прерада

Ауторство - без прерада (CC BY-ND)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, без промјена, преобликовања или употребе дјела у свом дијелу, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дјела.

Ауторство - дијелити под истим условима (CC BY-SA)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дјела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

Напомена: Овај текст није саставни дио изјаве аутора.

Више информација на линку: <http://creativecommons.org.rs/>

**Изјава о идентичности штампане и електронске верзије
мастер/магистарског рада**

Име и презиме аутора Немања Пушара

Наслов рада Анализа ремонтних радова на бушотинама са дубинском пумпом
на клипним шипкама на подручју јужног дијела Панонског басена

Ментор доц. др Мирослав Црногорац

Изјављујем да је штампана верзија мог мастер/магистарског рада идентична електронској верзији коју сам предао/ла за дигитални репозиторијум Универзитета у Бањој Луци.

У Бањој Луци _____

Потпис кандидата

