

Uzroci kvarova dubinske opreme na eksploatacijskim bušotinama koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka

Čagalj, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:011120>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-04**



Repository / Repozitorij:

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



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

**UZROCI KVAROVA DUBINSKE OPREME NA EKSPLOATACIJSKIM
BUŠOTINAMA KOJE SU OPREMLJENE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA**

Diplomski rad

Ivan Čagalj
N395

Zagreb, 2022.

UZROCI KVAROVA DUBINSKE OPREME NA EKSPLOATACIJSKIM BUŠOTINAMA KOJE SU
OPREMLJENE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA

Ivan Čagalj

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

Sažetak

Primjena dubinskih klipnih sisaljki s klipnim šipkama najstariji je i najčešće korišten sustav za prinudno podizanje kapljevine. Način rada sustava podrazumijeva prijenos energije i pogona od pogonskog motora na površini do niza klipnih šipki i dalje do dubinske klipne sisaljke. Podizanje fluida postiže se cikličnim kretanjem klipa prema gore i prema dolje. Tijekom rada u bušotini, dubinska oprema izložena je različitim tipovima opterećenja, i vibracijama, uz druge bitne elemente kao što su utjecaj tlaka i temperature te korozivnosti ležišnog fluida. Posljedično, nastaju značajna oštećenja i kvarovi povezani uglavnom s nizovima klipnih šipki i uzlaznih cijevi. Najčešće prisutni kvarovi su mehaničko trošenje spojnica klipnih šipki i propuštanje uzlaznih cijevi. Ostali primjetni kvarovi odnose se na dubinsku klipnu sisaljku i uključuju čepljenje sisaljke, propuštanje mirujućeg i putujućeg ventila te ispadanje klipa iz cilindra.

Ovaj će rad donijeti pregled mogućih kvarova dubinske opreme u eksploatacijskim bušotinama koje su opremljene dubinskim sisaljka s klipnim šipkama. Definirat će uzroke spomenutih kvarova uz rješenja i metode korištene s ciljem smanjenja njihove učestalosti. Nakon teorijskog objašnjenja, prikazat će oštećenja dubinske opreme na primjeru jednog hrvatskog naftnog polja.

Ključne riječi: dubinska klipna sisaljka, niz klipnih šipki, uzlazne cijevi, mehaničko trošenje

Diplomski rad sadrži: 69 stranica, 3 tablice, 72 slike i 20 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNF

CAUSES OF DOWNHOLE EQUIPMENT FAILURES IN PRODUCTION WELLS EQUIPPED WITH A
SUCKER ROD PUMPING SYSTEM

Ivan Čagalj

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

Abstract

Sucker rod pumping is the oldest and most utilized artificial lifting system. The working principle of a system implies energy and power transportation from a surface power source to the sucker rod string and then to the sucker rod pump. Fluid lifting is achieved by a cyclic upward and downward movement of a plunger. During its stay in a well, downhole equipment is exposed to different types of load and vibrations along with other important elements like pressure and temperature influence or corrosiveness of a reservoir fluid. As a consequence, significant damages and failures occur, connected mostly with rod and tubing strings. The most frequent failures are rod string couplings mechanical wear and tubing leakage. The other notable failures refer to the sucker rod pump and include pump plugging, standing and travelling valve leakage and plunger dropping out of the cylinder.

This thesis will present a review of potential downhole equipment failures in production wells equipped with a sucker rod pumping system. It will also define causes of the mentioned failures along with solutions and methods being utilized to reduce the frequency of their occurrence. After theoretical explanation, an example of one Croatian oil field with downhole equipment failures will be given.

Keywords: sucker rod pump, sucker rod string, tubing, mechanical wear

Thesis contains: 69 pages, 3 tables, 72 figures and 20 references.

Original in: Croatian

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

Supervisors: Associate Professor Borivoje Pašić, PhD

Reviewers: Associate Professor Borivoje Pašić, PhD
Associate Professor Vladislav Brkić, PhD
Assistant Professor Sonja Koščak Kolin, PhD

Defence date: January 13, 2023, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

| | |
|---|------|
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA | VIII |
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PRINUDNO PODIZANJE KAPLJEVINE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA | 3 |
| 2.1. Pogonski dio | 3 |
| 2.2. Površinski sustav pogona dubinske sisaljke | 3 |
| 2.2.1. Linearno pogonjene klipne sisaljke..... | 4 |
| 2.3. Niz klipnih šipki | 6 |
| 2.4. Dubinska klipna sisaljka | 7 |
| 2.5. Ostala dubinska oprema | 13 |
| 2.5.1. Niz uzlaznih cijevi (tubing)..... | 13 |
| 2.5.2. Sidreni paker..... | 14 |
| 2.5.3. Plinsko sidro..... | 15 |
| 3. KVAROVI DUBINSKE OPREME TIJEKOM PODIZANJA KAPLJEVINE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA I NJIHOVI UZROCI | 17 |
| 3.1. Kvarovi nizova klipnih šipki i uzlaznih cijevi | 18 |
| 3.2. Poteškoće i kvarovi u radu dubinske klipne sisaljke | 20 |
| 4. UZROCI KVAROVA DUBINSKE OPREME, SUSTAVA ZA PRINUDNO PODIZANJE KAPLJEVINE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA, NA PRIMJERU HRVATSKOG NAFTNOG POLJA X | 32 |
| 4.1. Pregled remontnih radova na naftno-plinskom polju X | 34 |
| 4.2. Pregled remontnih radova na bušotinama naftno-plinskog polja X koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljkama | 41 |
| 4.2.1. Analiza kvarova u odnosu na dubinu bušotine, opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine, pomoću dubinske klipne sisaljke..... | 41 |
| 4.2.1.1 <i>Završna analiza kvarova dubinske proizvodne opreme, na bušotinama koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljkama, s obzirom na dubinu kanala bušotine</i> | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2. Analiza kvarova u odnosu na konstrukciju kanala bušotina koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke..... | 51 |
| 4.2.2.1. <i>Završna analiza kvarova dubinske proizvodne opreme, na bušotinama koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka, s obzirom na konstrukciju kanala bušotine.....</i> | 60 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 66 |
| 6. LITERATURA..... | 68 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 2-1. Komponente površinskog sustava pogona dubinske klipne sisaljke..... | 4 |
| Slika 2-2. Površinski sustav pogona za LRP..... | 5 |
| Slika 2-3. Prikaz dijelova površinskog sustava pogona za LRP..... | 6 |
| Slika 2-4. Shematski prikaz dubinske klipne sisaljke..... | 9 |
| Slika 2-5. Označavanje dubinskih klipnih sisaljki..... | 12 |
| Slika 2-6. Promjene duljine niza uzlaznih cijevi tijekom rada dubinske klipne sisaljke.... | 15 |
| Slika 3-1. Mehaničko trošenje niza uzlaznih cijevi..... | 18 |
| Slika 3-2. Kombinacija mehaničkog trošenja i korozije..... | 19 |
| Slika 3-3. Dinamometar..... | 21 |
| Slika 3-4. Idealni dinamogram..... | 22 |
| Slika 3-5. Dinamogram s prikazom udaranja u gornjem dijelu sustava..... | 23 |
| Slika 3-6. Dinamogram s prikazom udaranja u donjem dijelu sustava..... | 23 |
| Slika 3-7. Dinamogram s prikazom utjecaja parafina u pridobivenom fluidu..... | 24 |
| Slika 3-8. Dinamogram s prikazom utjecaja djelomičnog začepljenja priključnog naftovoda ili sapnice..... | 24 |
| Slika 3-9. Dinamogram s prikazom utjecaja plina u sisaljci..... | 25 |
| Slika 3-10. Dinamogram s prikazom utjecaja blokade klipa u cilindru..... | 25 |
| Slika 3-11. Dinamogram s prikazom utjecaja kvara putujućeg ventila..... | 26 |
| Slika 3-12. Dinamogram s prikazom utjecaja kvara mirujućeg ventila..... | 26 |
| Slika 3-13. Dinamogram s prikazom utjecaja presporog zatvaranja putujućeg ventila..... | 27 |
| Slika 3-14. Dinamogram s prikazom utjecaja ispadanja klipa iz cilindra..... | 27 |
| Slika 3-15. Dinamogram s prikazom utjecaja propuštanja putujućeg ventila..... | 28 |
| Slika 3-16. Dinamogram s prikazom utjecaja propuštanja mirujućeg ventila..... | 28 |
| Slika 3-17. Dinamogram s prikazom utjecaja nedovoljne uronjenosti sisaljke..... | 29 |
| Slika 3-18. Dinamogram s prikazom utjecaja simultanog propuštanja putujućeg i mirujućeg ventila..... | 29 |
| Slika 3-19. Dinamogram s prikazom utjecaja plina u cilindru sisaljke..... | 30 |
| Slika 3-20. Dinamogram s prikazom utjecaja proizvodnje pijeska..... | 30 |
| Slika 4-1. Geografski smještaj Savske depresije..... | 32 |
| Slika 4-2. Raspodjela razmatranih bušotina na naftno-plinskom polju X s obzirom na njihovu konstrukciju..... | 34 |

| | |
|---|----|
| Slika 4-3. Ukupan broj remontnih radova, po pojedinom konstrukcijskom tipu bušotine, na naftno-plinskom polju X | 35 |
| Slika 4-4. Broj remontnih radova na bušotinama naftno-plinskog polja X s obzirom na način njihovog opremanja i pridobivanja fluida..... | 35 |
| Slika 4-5. Raspodjela ukupnog broja remontnih radova na bušotinama opremljenim dubinskim klipnim sisaljka, na razmatranom naftno-plinskom polju X, s obzirom na tip ugrađene sisaljke..... | 36 |
| Slika 4-6. Raspodjela kvarova koji su uzrokovali remontne radove na naftno-plinskom polju X s obzirom na pojedine komponente proizvodne opreme | 37 |
| Slika 4-7. Uzroci kvarova dubinske opreme na naftno-plinskom polju X | 37 |
| Slika 4-8. Raspodjela kvarova dubinske proizvodne opreme na naftno-plinskom polju X s obzirom na najčešći tip oštećenja | 38 |
| Slika 4-9. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki na naftno-plinskom polju X s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem | 39 |
| Slika 4-10. Raspodjela ukupno zabilježenih kvarova na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine do 2000 m | 42 |
| Slika 4-11. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za bušotine dubine do 2000 m, na naftno-plinskom polju X..... | 42 |
| Slika 4-12. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine do 2000 m..... | 43 |
| Slika 4-13. Raspodjela ukupno zabilježenih kvarova na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m..... | 44 |
| Slika 4-14. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m, na naftno-plinskom polju X..... | 44 |

| | |
|---|----|
| Slika 4-15. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m..... | 45 |
| Slika 4-16. Raspodjela ukupno zabilježenih kvarova na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine preko 2500 m..... | 46 |
| Slika 4-17. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za bušotine dubine preko 2500 m na naftno-plinskom polju X | 46 |
| Slika 4-18. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine preko 2500 m..... | 47 |
| Slika 4-19. Prosječan broj kvarova niza uzlaznih cijevi po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu..... | 48 |
| Slika 4-20. Prosječan broj kvarova klipnih šipki po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu..... | 48 |
| Slika 4-21. Prosječan broj kvarova polirane šipke po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu..... | 49 |
| Slika 4-22. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed korozije po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu..... | 49 |
| Slika 4-23. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed habanja po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu..... | 50 |
| Slika 4-24. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed djelovanja ostalih uzroka po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu | 51 |

| | |
|---|----|
| Slika 4-25. Raspodjela zabilježenih kvarova po pojedinim komponentama podzemnog dijela proizvodnog sustava, u horizontalnim bušotinama naftno-plinskog polja X, opremljenog dubinskim klipnim sisaljka..... | 52 |
| Slika 4-26. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki u horizontalnim bušotinama, na naftno-plinskom polju X, opremljenih dubinskom klipnom sisaljkom, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem..... | 52 |
| Slika 4-27. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za horizontalne bušotine, na naftno-plinskom polju X..... | 53 |
| Slika 4-28. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za horizontalne bušotine..... | 53 |
| Slika 4-29. Raspodjela zabilježenih kvarova po pojedinim komponentama podzemnog dijela proizvodnog sustava, u koso usmjerenim bušotinama, naftno-plinskog polja X opremljenog dubinskim klipnim sisaljka..... | 54 |
| Slika 4-30. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki u koso usmjerenim bušotinama, na naftno-plinskom polju X, opremljenih dubinskom klipnom sisaljkom, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem..... | 55 |
| Slika 4-31. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za koso usmjerene bušotine, na naftno-plinskom polju X..... | 55 |
| Slika 4-32. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za koso usmjerene bušotine..... | 56 |
| Slika 4-33. Raspodjela ukupnog broja vertikalnih bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljka, na naftno-plinskom polju X, s obzirom na tip ugrađene sisaljke | 57 |
| Slika 4-34. Raspodjela zabilježenih kvarova po pojedinim komponentama podzemnog dijela proizvodnog sustava, u vertikalnim bušotinama, naftno-plinskog polja X, opremljenog dubinskim klipnim sisaljka..... | 57 |
| Slika 4-35. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki u vertikalnim bušotinama, na naftno-plinskom polju X, opremljenih dubinskom klipnom sisaljkom, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Slika 4-36. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za vertikalne bušotine, na naftno-plinskom polju X | 59 |
| Slika 4-37. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za vertikalne bušotine..... | 59 |
| Slika 4-38. Prosječan broj kvarova niza uzlaznih cijevi po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju..... | 60 |
| Slika 4-39. Prosječan broj kvarova klipnih šipki po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju | 61 |
| Slika 4-40. Prosječan broj kvarova dubinskih klipnih sisaljki po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju..... | 61 |
| Slika 4-41. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed korozije po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju..... | 62 |
| Slika 4-42. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed habanja po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju | 62 |
| Slika 4-43. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed djelovanja ostalih uzroka kvarova po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju..... | 63 |
| Slika 4-44. Prosječan broj remontnih radova po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, određenog tipa konstrukcije | 64 |
| Slika 4-45. Prosječno vrijeme trajanja remontnog rada po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, određenog tipa konstrukcije | 64 |
| Slika 4-46. Prosječno neproizvedena („izgubljena“) količina nafte, zbog potrebe provedbe remontnog rada, za bušotine opremljene dubinskim klipnim sisaljka, određenog tipa konstrukcije..... | 65 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 2-1. Podjela i mehanička svojstva čelika klipnih šipki..... | 7 |
| Tablica 2-2. Klasifikacijska podjela dubinskih klipnih sisaljki..... | 10 |
| Tablica 4-1. Podaci o bušotinama na razmatranom eksploatacijskom polju ugljikovodika X..... | 33 |

1. UVOD

Nafta i prirodni plin najkorišteniji su energenti na globalnoj razini. Njihova se važnost najbolje uočila tijekom posljednje dvije godine u kojima su kretanja cijena ovih energenata značajno utjecala na promjene cijena proizvoda, svih skupina, diljem svijeta. Važnost nafte i prirodnog plina te kretanja njihovih cijena ogleda se i u sve prisutnijoj globalnoj inicijativi koja promovira prijelaz na obnovljive i alternativne izvore energije uz smanjenje emisija CO₂ ispuštenih u atmosferu.

Proizvodnja nafte i plina odvija se diljem svijeta na tri načina:

- primarnim,
- sekundarnim i
- tercijarnim metodama.

Primarne metode odnose se na eruptivno pridobivanje tijekom kojeg se stupac ležišnog fluida podiže djelovanjem prirodne energije ležišta. Primarnim metodama proizvodnje postiže se iscrpak od oko 10%. Sekundarne metode koriste se za povećanje iscrpka do oko 40%, a uključuju najčešće utiskivanje vode s ciljem podržavanja ležišnog tlaka ili istiskivanja nafte iz pornog prostora ležišne stijene. Tercijarne metode koriste se za povećanje iscrpka do oko 60% i uključuju termičko stimuliranje ili utiskivanje plina, polimera ili površinski aktivnih tvari. Mehanizam djelovanja tih metoda uglavnom je smanjivanje međupovršinske napetosti ili viskoznosti ležišnog fluida (Vulin, 2021).

Većina bušotina diljem svijeta koristi neku od metoda mehaničkog (prinudnog) podizanja stupca kapljevine do površine. U tim situacijama operatori biraju između dubinskih klipnih, centrifugalnih, vijčanih, turbinskih ili mlaznih sisaljki te plinskog podizanja. Plinsko podizanje najčešći je način podizanja stupca kapljevine u odobalnim proizvodnim bušotinama. Ovisno o količini utisnutog plina i trajanju ciklusa utiskivanja razlikuju se povremeno i kontinuirano utiskivanje plina. Povremenim utiskivanjem plina smanjuje se gustoća stupca kapljevine i olakšava njegovo iznošenje. Kontinuiranim utiskivanjem plina smanjuje se tlak u bušotini i olakšava pritjecanje kapljevine. Centrifugalne sisaljke koriste se za veće količine kapljevine i većinom su pogonjene elektromotorima postavljenim ispod razine sisaljke. Ostale spomenute sisaljke, osim dubinskih klipnih i vijčanih, spadaju u skupinu hidrauličkih sisaljki i rjeđe se koriste.

Dubinske klipne sisaljke najčešći su izbor operatora, a cijeli sustav za mehaničko podizanje kapljevine sastoji se od površinske i dubinske opreme. Tijekom rada dubinskih klipnih sisaljki sustav je izložen različitim tipovima opterećenja i vibracija. Dubinska

oprema dodatno je izložena utjecajima korozivnosti ležišnog fluida te tlaka i temperature u bušotinskim uvjetima. Posljedično, dolazi do intenzivnog trošenja dubinske opreme, a čemu su posebno izloženi cijevni dijelovi opreme. Zbog djelovanja spomenutog trošenja, različitih naprezanja materijala i kemijskih agensa dolazi do oštećenja i kvarova dubinske opreme.

Ovaj će rad donijeti pregled mogućih oštećenja i kvarova dubinske opreme na eksploatacijskim (proizvodnim) bušotinama koje koriste sustav podizanja kapljevine dubinskim klipnim sisaljka. Definirat će se uzroci tih oštećenja i kvarova te navesti rješenja ili metode primijenjene u praksi s ciljem smanjenja njihove učestalosti. Nakon teorijskog objašnjenja, prikazat će se i pregled spomenutih oštećenja i kvarova na primjeru jednog hrvatskog naftnog polja.

2. PRINUDNO PODIZANJE KAPLJEVINE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA

Podizanje kapljevine klipnim sisaljka najstariji je i najčešće primjenjivan način prinudnog podizanja kapljevine i koristi se u aktivnim eksploatacijskim bušotinama koje su prestale proizvoditi eruptivno. Sustav funkcionira na način da se snaga pogonskog motora, putem zupčaničkog reduktora i površinskog sustava opreme, prenosi na niz klipnih šipki čime se osigurava pogon dubinske klipne sisaljke. Na taj način, rotacijsko kretanje osovine motora pretvara se u nastupno-povratno kretanje klipnih šipki. Klipna sisaljka omogućuje prtok ležišnog fluida, a cikličkim izmjenama kretanja klipa prema gore i prema dolje i iznošenje fluida na površinu. Na površini ležišni fluid ulazi u cjevovod površinskog sabirnog sustava koji je spojen na „T“ prirubnicu.

Glavni dijelovi sustava za podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka su (Matanović i Moslavac, 2011):

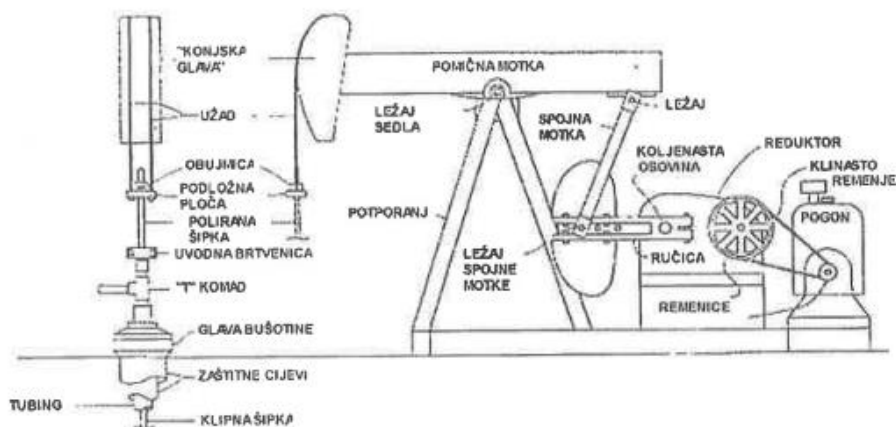
- pogonski dio,
- površinski sustav pogona dubinske sisaljke,
- niz klipnih šipki i
- dubinska klipna sisaljka.

2.1. Pogonski dio

Pogonski dio sustava za podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka odnosi se na pogonske motore. Pogonski motori koji se koriste u pravilu su motori s unutarnjim izgaranjem ili elektromotori. Češća je primjena elektromotora budući da je olakšana automatizacija njihovog rada. Osim toga, odabir motora ovisi o sveukupnoj efikasnosti, dostupnosti i cijeni pogonskog energenta na tržištu te o ograničenjima na lokaciji rada. Ukupna potrebna snaga pogonskog motora ovisi o potrebnoj hidrauličkoj snazi kao i o snazi potrebnoj za svladavanje trenja. Hidraulička snaga ovisna je o količini, gustoći i dubini nivoa fluida koji je potrebno iznijeti na površinu. Snaga potrebna za svladavanje trenja odnosi se na trenje koje većinski nastaje pri kretanju polirane (glatke) šipke. Ta snaga ovisi o težini niza klipnih šipki, broju hodova polirane šipke i o duljini spomenutog hoda polirane šipke (Guo et al., 2017).

2.2. Površinski sustav pogona dubinske sisaljke

Površinski sustav pogona osigurava prijenos snage s osovine pogonskog motora na niz klipnih šipki. Shematski prikaz tog sustava vidljiv je na Slici 2-1. Prvi element sustava je zupčanički reduktor gdje se ostvaruje prilagodba brzine rotacije. S reduktora, energija i rotacija prenose se na koljenastu osovinu i dalje na spojnu motku njihalice. Spojna motka omogućuje pomicanje pomične motke njihalice koja na svom kraju završava „konjskom glavom“. Konjska je glava pak čeličnom užadi spojena s vrhom polirane šipke preko podložne ploče i obujmice. Polirana šipka predstavlja vezu između površinskog sustava i niza klipnih šipki budući da je izravno povezana s klipnim šipkama posebnim spojnicama. Pritom prolazi kroz uvodnu brtvenicu i „T“ prirubnicu spojenu na konstrukciju ušća bušotine (Takacs, 2015).



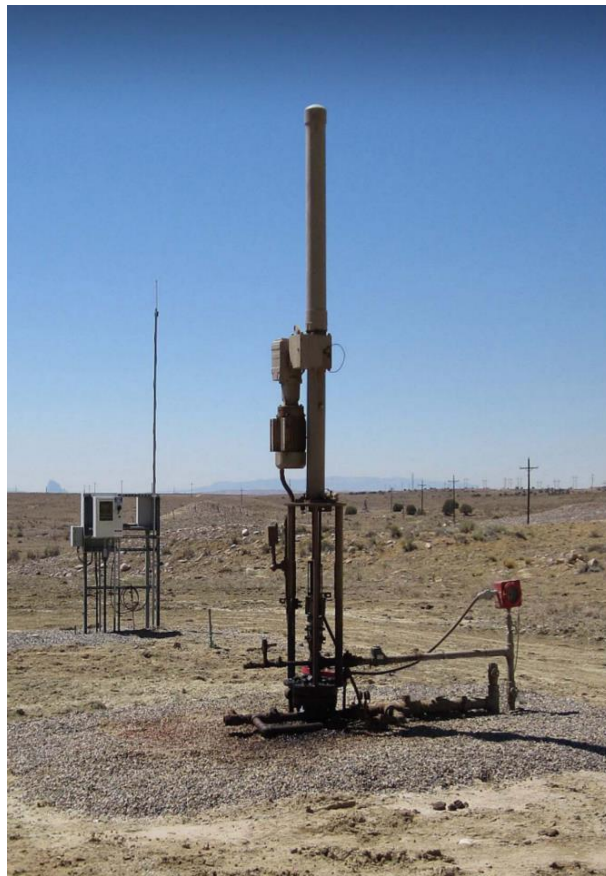
Slika 2-1. Komponente površinskog sustava pogona dubinske klipne sisaljke (Matanović i Moslavac, 2011)

Uravnoteženje opterećenja tijekom rada njihalice postiže se primjenom protuutega. Protuuteg je dio opreme koji se postavlja na pomičnu motku, spojnu motku ili na koljenastu osovinu. Protuuteg djeluje kao spremnik energije koju akumulira tijekom kretanja klipa prema dolje i manje potrebe za energijom. Tako prikupljenu energiju koristi na način da preuzima dio rada tijekom kretanja klipa prema gore. U tom dijelu ciklusa rada dubinske klipne sisaljke, opterećenje na njihalicu je najveće jer je potrebno podignuti niz klipnih šipki i određeni volumen ležišnog fluida (Matanović i Moslavac, 2011).

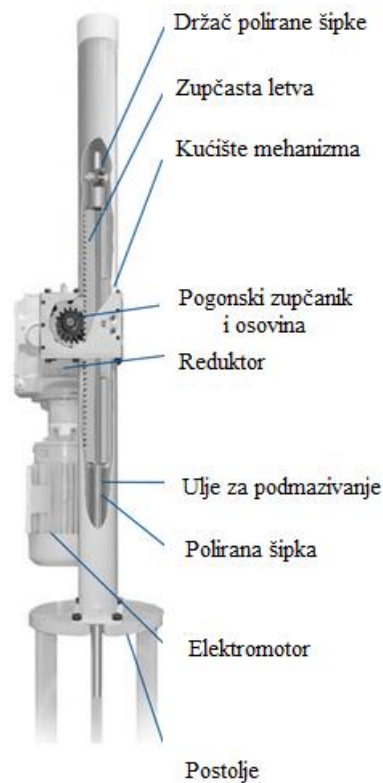
2.2.1. Linearno pogonjene klipne sisaljke

Potpuno različita izvedba površinskog sustava pogona dubinske klipne sisaljke koristi se kod primjene linearno pogonjene sisaljke (engl. *Linear Rod Pump-LRP*). Takva izvedba površinskog sustava pretvara rotacijsko gibanje osovine motora u linearno gibanje klipnih

šipki koristeći mehanizam zupčaste letve. LRP sustav postavlja se izravno na ušće bušotine. Pogoni se indukcijskim elektromotorom čija se izlazna brzina rotacije, za potrebe rada sisaljke, prilagođava reduktorom. Zupčasta letva pomiče se ciklički gore ili dolje pomičući pritom i s njom povezanu poliranu šipku. Polirana šipka na svom donjem kraju povezana je s nizom klipnih šipki, a one s dubinskom klipnom sisaljkom (Beck et al., 2006). Primjer izvedbe površinskog sustava pogona za LRP prikazan je na Slici 2-2, a shematski prikaz s označenim dijelovima na Slici 2-3.



Slika 2-2. Površinski sustav pogona za LRP (Phillips Energy Services Limited, 2015)



Slika 2-3. Prikaz dijelova površinskog sustava pogona za LRP

(Phillips Energy Services Limited , 2015)

Za razliku od klasične njihalice, ova izvedba površinskog sustava pogona ne koristi protuutege. Cijeli sustav zauzima znatno manje prostora, ugradnja i transport su jednostavniji i manja je razina buke u okolini radnog prostora. Sustav se značajno lakše automatizira i postiže se veći stupanj energetske učinkovitosti (Beck et al., 2006).

2.3. Niz klipnih šipki

Niz klipnih šipki predstavlja početak podzemne opreme na kojoj će biti naglasak u ovom diplomskom radu. Klipne šipke imaju ulogu prijenosa energije od površine do dubinske klipne sisaljke. Izrađuju se od čelika ili od polimernih materijala ojačanih staklenim vlaknima u pet standardiziranih promjera: 15,88 mm (5/8 in), 19,05 mm (3/4 in), 22,23 mm (7/8 in), 25,4 mm (1 in) i 28,58 mm (1 1/8 in). Duljine klipnih šipki su 7,518 i 9,042 m (25 i 30 ft), a međusobno se povezuju posebnim spojnicama koje imaju ženski navojni spoj na oba kraja. Pri postavljanju dubinske klipne sisaljke na dubine ispod 1070 m, poželjna je primjena kombiniranog niza s ciljem postizanja ekonomske uštede. Kombinirani

niz podrazumijeva korištenje šipki različitih promjera. Šipke najmanjeg promjera smještaju se u donji dio niza gdje djeluje najmanje vlačno opterećenje (Petrowiki, 2020).

Klipne šipke dijele se u tri klase s obzirom na kvalitetu čelika od kojeg su izrađene i njoj pridružena granična naprezanja. Sama podjela prikazana je u Tablici 2-1.

Tablica 2-1. Podjela i mehanička svojstva čelika klipnih šipki (Matanović i Moslavac, 2011)

| Kvaliteta čelika | Minimalna granica tečenja | | Minimalna vlačna čvrstoća | | Maksimalna vlačna čvrstoća | |
|------------------|---------------------------|-------|---------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | MPa | psi | MPa | psi | MPa | psi |
| K | 414 | 60000 | 620 | 90000 | 793 | 115000 |
| C | 414 | 60000 | 620 | 90000 | 793 | 115000 |
| D | 586 | 85000 | 793 | 115000 | 965 | 140000 |

Najčešće se upotrebljavaju klipne šipke klase D, a u posebno korozivnim uvjetima šipke klase K. Radni vijek klipnih šipki povezan je s dozvoljenim naprezanjima za svaku kvalitetu materijala. Ona pak ovise o korozivnosti fluida u koji su uronjene te o kemijskom sastavu i mehaničkim svojstvima materijala od kojeg su šipke izrađene. Tako prema iskustvenim podacima, za klipne šipke promjera 25,4 mm, oštećenja počinju nakon 10000 ciklusa pri opterećenju od oko $4,4 \times 10^5$ N. Za klipne šipke dodatno je korisno poznavati i dinamičku izdržljivost tj. naprezanje pri kojem će doći do njihovog loma pri izloženosti do 10^6 cikličkih naprezanja (Čikeš i Zelić, 2006).

2.4. Dubinska klipna sisaljka

Dubinska klipna sisaljka posljednji je element sustava za prinudno podizanje kapljevine ovom metodom. Sisaljka se spušta na potrebnu dubinu u bušotini kako bi omogućila crpljenje fluida te njegov prijenos do površine. Kako bi ispravno radila, sisaljka mora cijelo vrijeme biti uronjena u fluid. Svaka se dubinska klipna sisaljka sastoji od četiri osnovna dijela (Matanović i Moslavac, 2011) :

- kućišta ili radne komore,
- klipa,
- mirujućeg ventila i

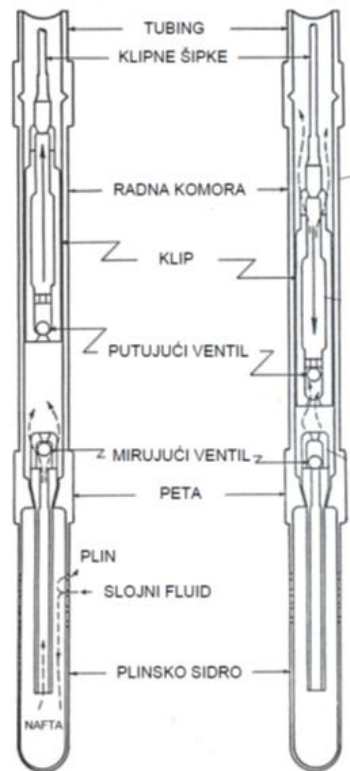
- putujućeg ventila.

Prolazni otvori dubinskih klipnih sisaljki u pravilu su između 25,4 mm (1 in) i 120,65 mm (4 ¾ in). Duljine sisaljki kreću se između 0,5 i 10 m, a kapaciteti podizanja mogu premašivati 100 m³/d (Čikeš i Zelić, 2006). Kapaciteti podizanja za određenu sisaljku računaju se kao umnožak teoretskog kapaciteta (dobave) i volumetrijske efikasnosti. Teoretski kapacitet funkcija je duljine hoda i površine poprečnog presjeka klipa te broja hodova sisaljke. Volumetrijska efikasnost promjenjiv je parametar i mijenja se na sljedeći način (Matanović i Moslavac, 2011):

- od 25 do 50% - za bušotine s plinovitim ili pjenušavim režimom protjecanja,
- od 50 do 70% - za bušotine s uspješnim odvajanjem plina,
- od 70 do 80% - za bušotine s uspješnim odvajanjem plina i dovoljno dubokim uranjanjem dubinskih klipnih sisaljki i
- 100% - za bušotine s malim udjelom plina i optimalno uronjenim sisaljka.

Dubinske klipne sisaljke koriste se za dubine do 2500 m i pogodne su za bušotine s konsolidiranim proizvodnim slojevima (Čikeš i Zelić, 2006). U praksi su popularne zbog niskih kapitalnih troškova povezanih s njihovom instalacijom. Nedostatak im je česta potreba za remontnim zahvatima na bušotinama, s ciljem njihovog održavanja i otklanjanja kvarova dubinske opreme, a o čemu će biti riječi u nastavku ovog rada.

Dubinske klipne sisaljke rade ciklički i ciklus crpljenja može se podijeliti na dva dijela. Pri kretanju klipa prema gore, ležišni fluid se crpi i podiže, a pri kretanju klipa prema dolje, puni se radna komora. Pri kretanju klipa prema gore, putujući ventil ostaje zatvoren zbog djelovanja fluida koji se podiže. Istovremeno se otvara mirujući ventil i omogućuje se pritjecanje fluida iz ležišta. Tijekom kretanja klipa prema gore, pridobiva se većinska količina fluida za vrijeme trajanja jednog radnog ciklusa. Pri kretanju klipa prema dolje, otvara se putujući, a zatvara mirujući ventil. Klip pada kroz niz uzlaznih cijevi ispunjen fluidom i opterećenje fluidom prenosi se s klipa na niz uzlaznih cijevi (Guo et al., 2017). Shematski prikaz dubinske klipne sisaljke s vidljivim različitim položajem putujućeg ventila tijekom jednog radnog ciklusa dan je na Slici 2-4.



Slika 2-4. Shematski prikaz dubinske klipne sisaljke (Matanović i Moslavac, 2011)

Dubinske klipne sisaljke načelno se ugrađuju na dva načina. Prvi od njih je ugradnja na klipnim šipkama, a takve sisaljke poznate su i kao usadne. U tom slučaju, cijela sisaljka ugrađuje se u komadu, spuštена na klipnim šipkama, i usađuje u prijelaz za odsjedanje koji je ugrađen na nizu uzlaznih cijevi (tubingu). Druga mogućnost je izravna ugradnja na nizu uzlaznih cijevi i takve sisaljke poznate su kao tubing sisaljke. Kod njih, radna komora zajedno s protupovratnim ventilom ugrađuje se s nizom uzlaznih cijevi, a klip se ugrađuje na klipnim šipkama. Tubing sisaljke imaju veći promjer otvora pa se za određeni broj hodova i duljinu hoda podiže veća količina fluida u usporedbi s usadnim sisaljka. Prilikom ugradnje mogu biti opremljene petom za ugradnju ili produženom petom uz prijelaz za odlaganje čime se omogućuje dulji hod klipa u odnosu na fiksnu duljinu kućišta. Tubing sisaljke jednostavnije su konstrukcije i jeftinije su od usadnih sisaljki. S druge strane, usadne sisaljke značajno se lakše vade iz bušotine i servisiraju pa su u praksi primjenjivnije od tubing sisaljki. Usadne sisaljke u pravilu se koriste za manje količine fluida i za veće dubine podizanja (Guo et al., 2017).

Treći tip sisaljki koji se značajno rjeđe koristi ugrađuje se usađivanjem u zaštitne cijevi. Takve sisaljke poznate su i kao „casing“ sisaljke. Koriste se u situacijama gdje se ne koristi

niz uzlaznih cijevi, a učvršćuju se unutar zaštitnih cijevi pomoću pakera ili sidra. Njihova primjena vezana je uz plíce bušotine i uz bušotine većih davanja (Čikeš i Zelić, 2006).

Dubinske klipne sisaljke mogu se podijeliti i prema tipu kućišta i klipa. Njihova klasifikacija prikazana je u Tablici 2-2. Kućište može biti pokretno ili nepokretno s gornjim ili donjim učvršćenjem, a klipovi mogu biti s metalnim ili nemetalnim brtvećim površinama. Klipovi su najčešće duljine 1200 mm i debljine stijenke 5-10 mm. Izrađuju se složenim tvorničkim procesima koji uključuju glačanje, kromiranje i poliranje. Kromiranjem površine klipa postižu se visoka tvrdoća i otpornost na korozijske procese, a prosječna debljina sloja kroma je oko 70 μm . Klipovi s nemetalnim brtvećim površinama u pravilu sadrže njihove izvedbe od gume s impregniranim platnom ili sa sintetičkim materijalima (Čikeš i Zelić, 2006).

Tablica 2-2. Klasifikacijska podjela dubinskih klipnih sisaljki (prema Matanović i Moslavac, 2011)

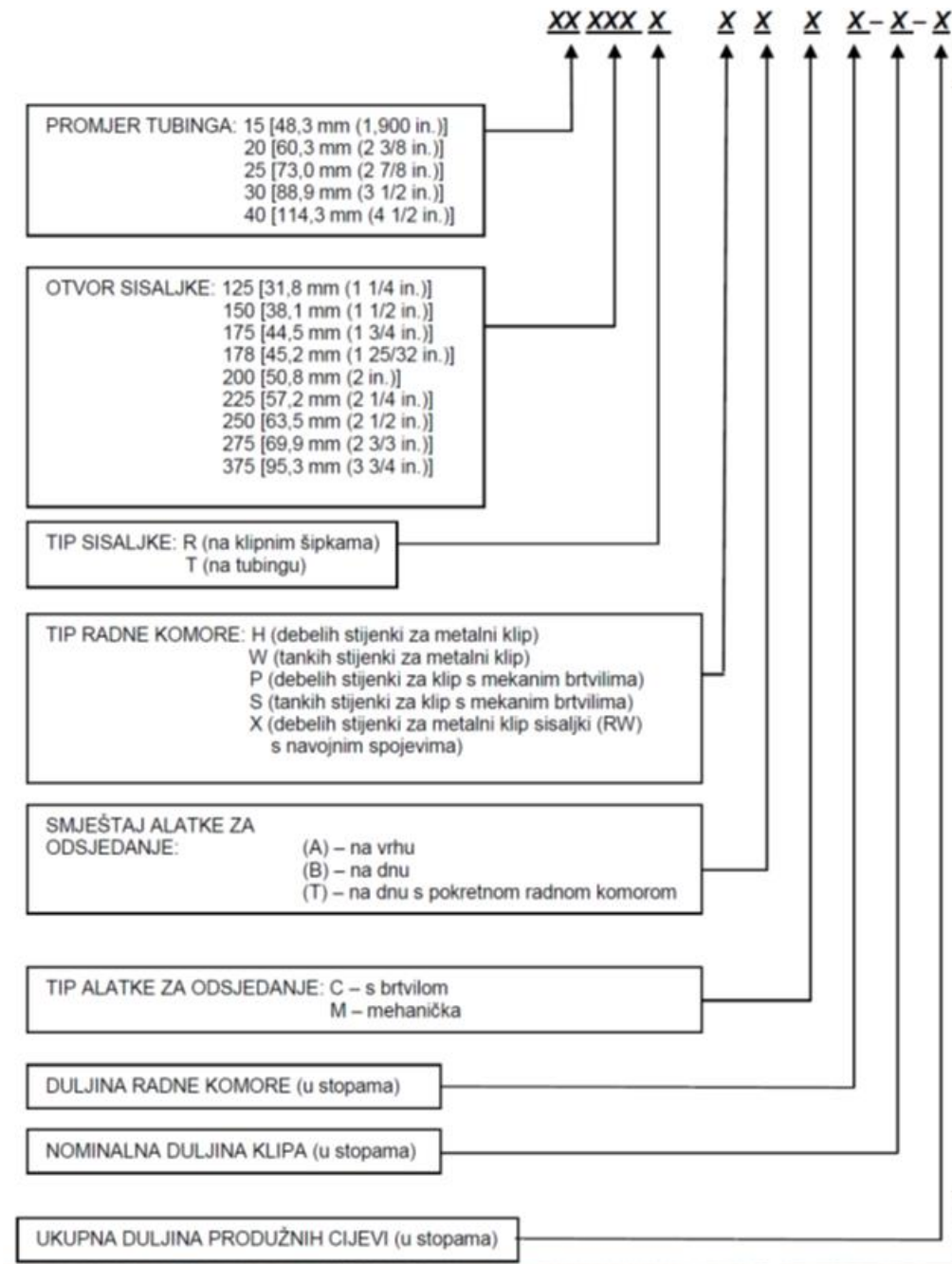
| | Metalni klip | Metalni klip | Klip s mekanim brtvilima | Klip s mekanim brtvilima |
|--|---|--|---|--|
| Tip sisaljke | Radna komora s debelom stijenkom | Radna komora s tankom stijenkom | Radna komora s debelom stijenkom | Radna komora s tankom stijenkom |
| Sisaljka koja se ugrađuje na klipnim šipkama | / | / | / | / |
| Stacionarna radna komora s učvršćenjem na vrhu | RHA | RWA | / | RSA |
| Stacionarna radna komora s učvršćenjem na dnu | RHB | RWB | / | RSB |

| | | | | |
|--|-----|-----|----|-----|
| Stacionarna radna komora s učvršćenjem na dnu | RXB | / | / | / |
| Pokretna radna komora s učvršćenjem na dnu | RHT | RWT | / | RST |
| Tubing sisaljka | TH | / | TP | / |

Oznake u tablici su sljedeće:

- T-tubing sisaljka (posljednji red u tablici), R-usadna sisaljka,
- W-radna komora s tankom stijenkom, H-radna komora s debelom stijenkom i vrijede za metalne klipove,
- S-radna komora s tankom stijenkom, P-radna komora s debelom stijenkom i vrijede za nemetalna brtvila te
- A-stacionarna radna komora s gornjim učvršćenjem, B-stacionarna radna komora s donjim učvršćenjem i T-pokretno kućište.

Dubinske klipne sisaljke označavaju se na način prikazan na Slici 2-5 sukladno standardu Američkog naftnog instituta (API).



Slika 2-5. Označavanje dubinskih klipnih sisaljki (Matanović i Moslavac, 2011)

Sustav prinudnog podizanja kapljevine dubinskim klipnim sisaljka popraćen je nizom propisa i preporuka, definiranih od strane spomenutog Američkog naftnog instituta. Najvažniji od njih su (Papavinasam, 2014):

- API RP 11AR – Preporuke za održavanje i primjenu dubinskih klipnih sisaljki,
- API Spec 11B – Specifikacije za klipne šipke,
- API Spec 11E – Specifikacije za njihalice,
- API Spec 11AX – Specifikacije za dubinske klipne sisaljke i njihove dijelove,
- API Spec 11 L6 – Specifikacije za pogonske elektromotore njihalica,

- API RP 11 BR – Upute za čuvanje i rukovanje klipnim šipkama,
- API RP 11 ER – Upute za održavanje njihalica,
- API RP 11G – Upute za postavljanje i podmazivanje njihalica i
- API RP 11L – Upute za projektiranje sustava za podizanje nafte dubinskim klipnim sisaljka.

2.5. Ostala dubinska oprema

Ostala dubinska oprema koja nije prethodno spomenuta, a koristi se tijekom prinudnog podizanja kapljevine dubinskim klipnim sisaljka su niz uzlaznih cijevi, sidreni paker i plinsko sidro.

2.5.1. Niz uzlaznih cijevi (tubing)

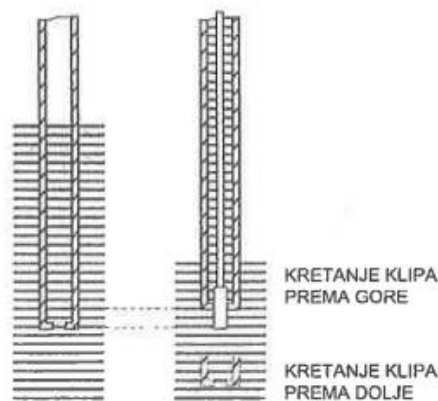
Niz uzlaznih cijevi ili proizvodni niz omogućuje protjecanje fluida iz ležišta do površine ili obrnuto tijekom utiskivanja različitih fluida u bušotinu ili ležište. To je niz cijevi koje se izrađuju od čelika ili od polimernih materijala ojačanih staklenim vlaknima. Postavlja se slobodno obješen u bušotini ili u kombinaciji s pakerom. Postavljanje u kombinaciji sa sidrenim pakerom posebno je poželjno tijekom primjene dubinskih klipnih sisaljki, a cilj je spriječiti promjene duljine niza uzlaznih cijevi koje nastaju kao posljedica djelovanja promjenjivih naprezanja. Niz uzlaznih cijevi izrađuje se u promjerima od 26,67 mm (1,06 in) do 114,3 mm (4 ½ in). Najčešće korišteni promjeri niza uzlaznih cijevi su 60,33 mm (2 3/8 in), 73,03 mm (2 7/8 in), 88,9 mm (3 ½ in) i 101,6 mm (4 in). Prema duljini, uzlazne cijevi dijele se u dvije kategorije. **Kategorija 1** obuhvaća duljine od 6,10 do 7,32 m, a **kategorija 2**, češće korištena, duljine od 8,53 do 10,36 m (Matanović i Moslavac, 2011).

Odabir niza uzlaznih cijevi obuhvaća definiranje kvalitete materijala, debljine stijenki i tipova navojnih spojeva. U tu svrhu, potrebno je prethodno definirati ili proračunati, za bušotine na odabranoj lokaciji, različite tipove i vrijednosti očekivanih naprezanja koja se mogu pojaviti. Naprezanja koja se razmatraju su naprezanja uslijed gnječenja i rasprskavanja, vlačno i tlačno opterećenje i torzijsko naprezanje. Kvaliteta materijala odnosi se na bitna mehanička svojstva materijala cijevi i označava se slovnim i brojevanom oznakom. Tako se za uzlazne cijevi izrađene od čelika koriste tipovi čelika od H-40 do P-

110 koji se međusobno razlikuju po granici tečenja, vlačnoj čvrstoći, istezljivosti i tvrdoći. Dvostruka debljina stijenke odgovara razlici vanjskog i unutarnjeg promjera. Za niz uzlaznih cijevi minimalna debljina stijenke iznosi 87,5% nominalne debljine dok maksimalna debljina stijenke nije propisana. Debljina stijenke posebno je bitna kod proračunavanja potencijalnog rasprskavanja. Za uzlazne cijevi postoje dva tipa spojnice koje se koriste. To su NU spojnice (engl. *Non-Upset Pipe End-NU*) bez ojačanja s deset koraka navoja na 25,4 mm širine i EUE spojnice (engl. *External Upset Pipe End-EUE*) s vanjskim ojačanjem i osam koraka navoja na 25,4 mm širine. NU spojnice imaju čvrstoću manju od tijela cijevi, a EUE spojnice čvrstoću veću od ostatka cijevi. Odabrani tip spojnice mora osigurati efektivno brtvljenje i imati zadovoljavajuću vlačnu čvrstoću. Efektivno brtvljenje postiže se primjenom propisanog momenta dotezanja i pravilnim održavanjem navojnih spojeva. Za uzlazne cijevi ono podrazumijeva obradu pjeskarenjem, prevlačenje zaštitnim prevlakama od metala nižih tališta i veće toplinske vodljivosti te korištenje preporučenih masti za podmazivanje navojnih spojeva (Matanović i Moslavac, 2011).

2.5.2. Sidreni paker

Sidreni paker izolacijska je alatka koja se ugrađuje zajedno s nizom uzlaznih cijevi. Njegova uloga je sprječavanje promjene duljine niza uzlaznih cijevi. Ono nastaje uslijed promjenjivih napreznja kojima je niz uzlaznih cijevi izložen tijekom prinudnog podizanja kapljevine dubinskim klipnim sisaljka. Tijekom rada dubinske klipne sisaljke izmjenjuju se periodi kretanja klipa prema gore i prema dolje. Kretanjem klipa prema dolje, opterećenje fluidom prenosi se na niz uzlaznih cijevi i dolazilo bi do njegovog produljenja. Kretanjem klipa prema gore, opterećenje fluidom prenosi se na klip i dolazilo bi do skraćivanja niza uzlaznih cijevi. Tako nastaju spomenute promjene duljine, prikazane na Slici 2-6, koje zahtijevaju primjenu sidrenog pakera. Učestale promjene duljine niza uzlaznih cijevi dovele bi do smanjenja njegovog radnog vijeka te narušavanja integriteta i hermetičnosti, a tijekom skraćivanja niza uzlaznih cijevi dolazilo bi i do smanjenja efektivne duljine hoda klipa.



Slika 2-6. Promjene duljine niza uzlaznih cijevi tijekom rada dubinske klipne sisaljke
(Matanović i Moslavac, 2011)

Pakeri koji se koriste za sidrenje niza uzlaznih cijevi mogu biti aktivirani nategom ili nasjedom. Općenito, postoje tri razloga koja potencijalno mogu onemogućiti ili smanjiti djelotvornost sidrenih pakera. To su (Matanović i Moslavac, 2011):

- formiranje nakupina kamena i hrđe na zubima klinova pakera tijekom proizvodnje,
- vremenski period potreban za optimalno utiskivanje klinova pakera u tijelo zaštitnih cijevi i
- značajno oštećenje tijela zaštitnih cijevi uslijed višestrukog utiskivanja klinova pakera.

2.5.3. Plinsko sidro

Plinsko sidro koristi se za izdvajanje plina iz ležišnog fluida koji pritječe iz ležišta prije dosezanja dubinske klipne sisaljke. Osim plinskih sidara, za istu se svrhu mogu koristiti dubinski separatori. Prisutnost plina u fluidu koji se crpi značajno smanjuje radne performanse dubinske klipne sisaljke tj. utječe na njenu volumetrijsku efikasnost. Postoji nekoliko tipova plinskih sidara koja se razlikuju po konstrukcijskim karakteristikama:

- prirodno ili uronjeno plinsko sidro,
- jednodijelno plinsko sidro,
- modificirano jednodijelno plinsko sidro,
- tanjurasto plinsko sidro,
- plinsko sidro s pakerom i
- vijčasto plinsko sidro.

Plinska sidra u pravilu djeluju na principu gravitacijskog razdvajanja. Iznimka su vijčasta sidra kod kojih se plin izdvaja djelovanjem centrifugalne sile (Čikeš i Zelić, 2006).

3. KVAROVI DUBINSKE OPREME TIJEKOM PODIZANJA KAPLJEVINE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA I NJIHOVI UZROCI

Tijekom rada dubinskih klipnih sisaljki, u bušotini djeluju različiti tipovi sila na dubinsku opremu koja se pritom koristi. Čikeš i Zelić (2006) definirali su pet tipova djelujućih sila:

- sila uzgona,
- težina nizova klipnih šipki i uzlaznih cijevi uz težinu stupca kapljevine,
- sila elastičnosti stupca kapljevine i materijala izrade klipnih šipki,
- inercijske sile pri kretanju klipa, klipnih šipki i stupca kapljevine te
- različiti oblici sila trenja.

Sile trenja povezane su s najčešćim uzrocima kvarova dubinske opreme koji zahtijevaju provedbu određenog tipa remontnih radova ovisno o intenzitetu i složenosti nastalih kvarova. Najzastupljeniji oblik trenja koji se javlja je mehaničko trenje. Primjeri mehaničkog trenja su trenje klipnih šipki o unutarnju stijenku niza uzlaznih cijevi i trenje klipa o stijenku cilindra dubinske klipne sisaljke.

Kvarovi dubinske opreme tijekom primjene dubinskih klipnih sisaljki većinski su vezani uz tri glavne komponente (Heinze et al, 1999):

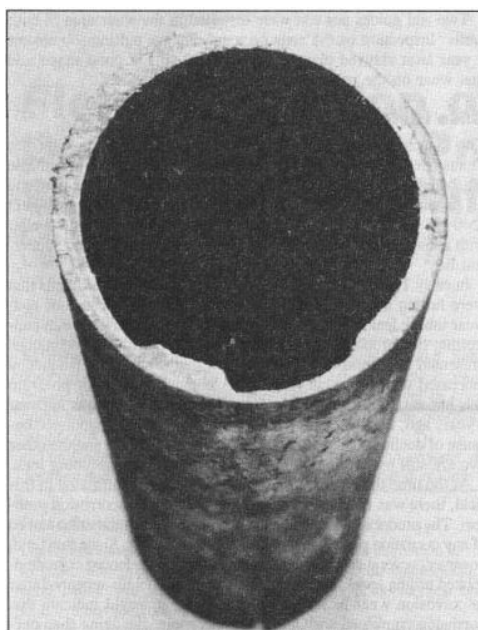
- dubinsku klipnu sisaljku,
- niz uzlaznih cijevi i
- niz klipnih šipki.

Podaci iz prakse pokazali su da se više od 50% zabilježenih kvarova odnosi na trošenje niza uzlaznih cijevi, a ono nastaje dugotrajnim kontaktom unutarnje stijenke uzlaznih cijevi s klipnim šipkama (Langbauer et al., 2018). Posljedično, intenzivnim trošenjem uzlaznih cijevi dolazi do smanjenja debljine spomenute stijenke i potencijalnih propuštanja. Kvarovi klipnih šipki uglavnom su vezani uz trošenje i lomove pri čemu su trošenju više izložene spojnice od tijela šipki. Mehanizam nastanka kvarova klipnih šipki sličan je onom za uzlazne cijevi. Zbog većinske učestalosti kvarova ovih dviju komponenata dubinske opreme, oni će biti detaljnije opisani u nastavku ovog poglavlja. Kvarovi dubinskih klipnih sisaljki mogu biti raznoliki. Pritom se razlikuju kvarovi koji zahtijevaju hitne prekide proizvodnje i remontne radove od onih koji predstavljaju manje poteškoće ili nepoželjne smetnje u radu. Kvarovi se razlikuju i po tome utječu li izravno ili neizravno na rad sisaljke, o čemu više detalja slijedi u nastavku ovog poglavlja.

3.1. Kvarovi niza klipnih šipki i uzlaznih cijevi

Kvarovi niza uzlaznih cijevi najnepoželjniji su kvarovi dubinske opreme tijekom primjene dubinskih klipnih sisaljki zbog visoke cijene zahtijevanog remonta. Dva glavna uzroka kvarova su mehaničko i korozijsko trošenje. Posebno je opasno njihovo kombinirano djelovanje. Istraživanja su pokazala da se u tom slučaju, u ekstremnim okolnostima, radni vijek niza uzlaznih cijevi može skratiti na dva mjeseca. Pravilnim utvrđivanjem uzroka kvarova i mehanizma njihovog nastanka, broj remontnih radova, povezanih s nizom uzlaznih cijevi, može se smanjiti za 80% (McCaslin, 1988).

Mehaničko trošenje opisuje se kao postupno uklanjanje metalne površine sa stijenke niza uzlaznih cijevi na mjestu kontakta s klipnim šipkama kao posljedica trenja. U tom slučaju, troši se mekanija metalna površina, a to je češće stijenka niza uzlaznih cijevi. Na Slici 3-1 prikazan je primjer mehaničkog trošenja niza uzlaznih cijevi.

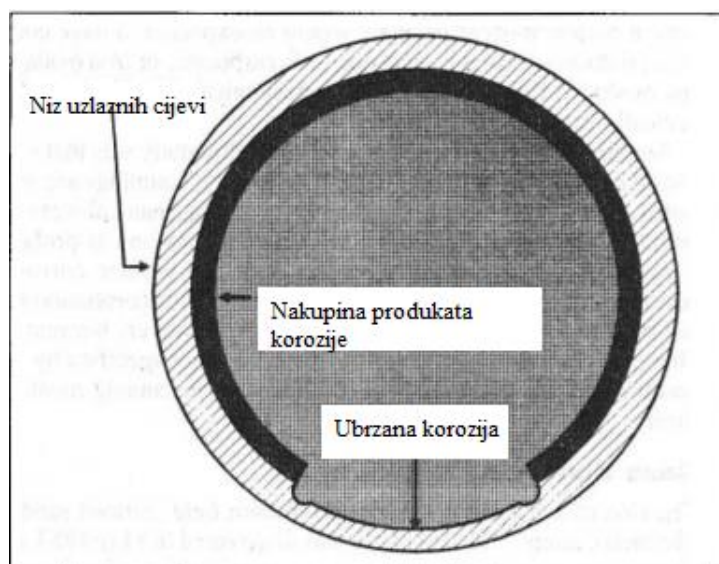


Slika 3-1. Mehaničko trošenje niza uzlaznih cijevi (McCaslin, 1988)

Postoji nekoliko načina za smanjenje mehaničkog trošenja niza uzlaznih cijevi. Prvi od njih je primjena vodilica klipnih šipki, rotatora klipnih šipki ili centralizera klipnih šipki čija je uloga zadržavanje niza klipnih šipki u središnjem položaju unutar niza uzlaznih cijevi. Ovaj je način posebno poželjan u otklonjenim dijelovima kanala bušotine kad je nalijeganje niza klipnih šipki na stijenku niza uzlaznih cijevi i obostrano trošenje intenzivirano. Drugi način odnosi se na dodatak inhibitora korozije ili površinski aktivnih tvari koje mijenjaju moćivost sustava. Čelik, najčešći materijal izrade klipnih šipki, u ranoj fazi proizvodnje

češće je naftomočiv. U kasnijoj fazi proizvodnje, povećava se udio vode u proizvedenom fluidu i čelik pokazuje sklonost promjeni močivosti pa se dodatkom površinski aktivnih tvari vraća originalna močivost. Ovaj se način češće primjenjuje za kombinaciju mehaničkog i korozijskog trošenja (McCaslin, 1988). Mehaničko trošenje niza uzlaznih cijevi može se smanjiti i kvalitetno provedenim projektiranjem opremanja, odnosno primjenom kratkih klipnih šipki na određenim pozicijama unutar njihovog niza. Svrha te promjene je pomicanje položaja spojnice klipnih šipki, budući da su zbog većeg promjera u odnosu na tijelo cijevi upravo spojnice trošenju najizloženiji dio klipnih šipki.

Korozijsko trošenje podrazumijeva djelovanje različitih korozijskih procesa koji rezultiraju trošenjem metalne površine. Posebno je opasna kombinacija korozije i mehaničkog trošenja. Trenjem klipnih šipki o stijenku niza uzlaznih cijevi uklanjaju se prethodno nastali korozijski produkti na mjestu kontakta čime izložena metalna površina postaje podložnija daljnjoj koroziji. Postojanje korozijskog produkta na metalnoj površini smanjuje intenzitet napredovanja korozije i u praksi se često koristi kao antikoroziivna zaštita određenih površina. Shematski prikaz kombiniranog trošenja niza uzlaznih cijevi prikazan je na Slici 3-2 (McCaslin, 1988).



Slika 3-2. Kombinacija mehaničkog trošenja i korozije (McCaslin, 1988)

Mogući su i slučajevi kombiniranog trošenja gdje se istovremeno javlja korozijsko trošenje niza uzlaznih cijevi i mehaničko trošenje niza klipnih šipki. Ono u pravilu nastaje kao posljedica legiranja čelika od kojeg su izrađene klipne šipke čime se poboljšavaju njihova

antikorozivna svojstva. Ovaj slučaj u pravilu rezultira lomom klipnih šipki i propuštanjem niza uzlaznih cijevi.

Korozijsko trošenje teško je vizualno razlikovati od mehaničkog trošenja pa je razvijeno nekoliko načina određivanja njihove razlike. Prvi od njih podrazumijeva analizu učestalosti trošenja i propuštanja niza uzlaznih cijevi u usporedbi s količinom vode u proizvedenom fluidu. Pokazalo se da korozijsko trošenje nastupa tek u kasnijoj fazi proizvodnje, s povećanjem udjela vode u proizvedenom fluidu, dok je mehaničko trošenje neovisno o tome. Drugi način utvrđivanja uzroka trošenja odnosi se na promatranje čvrstih čestica pri izlazu pridobivenog fluida na površinu. Za slučaj postojećeg korozijskog trošenja, očekuje se određena koncentracija produkata korozije u pridobivenom fluidu, a najčešći od njih su željezni sulfidi, karbonati i oksidi (McCaslin, 1988).

Probleme korozijskog trošenja nemoguće je u potpunosti izbjeći, a u pravilu se rješavaju na dva načina. Prvi od njih je primjena materijala otpornijih na koroziju. Za klipne šipke to u pravilu znači podešavanje kemijskog sastava čelika tj. legiranje, dok je kod niza uzlaznih cijevi sve popularnije plastificiranje tj. umetanje cijevi od kompozitnih materijala unutar čelične osnove. Drugi način je korištenje inhibitora korozije što se izbjegava u dubljim bušotinama zbog pogoršanja reoloških svojstava fluida i smanjenih operativnih mogućnosti dubinske klipne sisaljke na velikim dubinama (Matanović i Moslavac, 2011).

Poseban način smanjenja problema mehaničkog i korozijskog trošenja predstavlja ugradnja rotatora niza uzlaznih cijevi. Rotator osigurava raspodjelu opterećenja duž cijelog opsega niza uzlaznih cijevi. Na taj način izbjegava se koncentriranje naprezanja na uskom području stijenke uzlaznih cijevi (Hart, 2003). Osim nakon nastanka, trošenje se može preventivno smanjiti cjelovitim pregledom niza uzlaznih cijevi prije spuštanja u bušotinu. Na taj način saniraju se sve eventualno postojeće nepravilnosti i oštećenja na površini niza uzlaznih cijevi koje bi mogle biti podloga za nastanak prijevremenog trošenja. Takva oštećenja mogu nastati tijekom izrade, ali češće uslijed nepravilnog skladištenja, rukovanja i odlaganja uzlaznih cijevi.

3.2. Poteškoće i kvarovi u radu dubinske klipne sisaljke

Poteškoće i kvarovi u radu dubinske klipne sisaljke najlakše se uočavaju analizom dinamograma. Dinamogrami su grafički prikazi koji u odnos stavljaju opterećenje polirane šipke i duljinu njenog hoda. Kako bi se spomenuti grafički prikazi mogli analizirati potrebna je instalacija dinamometra.

Dinamometar je instrument koji se postavlja na priključni sklop, a on se postavlja na poliranu šipku. Svaki priključni sklop sastoji se od nosača, manžete međuprstena i bazne ploče. Nakon postavljanja, priključni sklop ostaje trajno na poliranoj šipki. Na taj način omogućuje se praćenje rada dubinske klipne sisaljke tijekom cijelog vremena proizvodnje odabrane bušotine. Tipičan dinamometar prikazan je na Slici 3-3 i sastoji se od tri glavna dijela (Matanović i Moslavac, 2011):

- nosivog sustava,
- sustava za registriranje i
- sustava za zapisivanje.



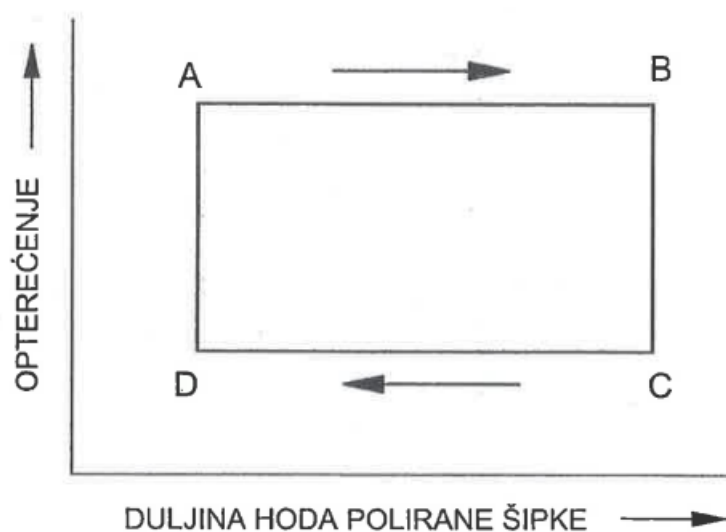
Slika 3-3. Dinamometar (Sonoecho, 2018)

Dinamogram je, kako je već spomenuto, grafički prikaz ispisan na logaritamskom papiru. Dinamogram na kojem je vidljiv idealizirani rad dubinske klipne sisaljke i cijelog sustava pravokutnog je oblika. Takav dinamogram objedinjuje sljedeće pretpostavke (Matanović i Moslavac, 2011):

- tijekom rada sisaljke nema sila zbog ubrzavanja,
- sustav je bez vibracija,
- tijekom rada sisaljke nema sila trenja,

- simultano se otvara mirujući i zatvara putujući ventil pred početak kretanja klipa prema gore,
- simultano se zatvara mirujući i otvara putujući ventil pred početak kretanja klipa prema dolje i
- tijekom rada sisaljke nema promjena duljine niza klipnih šipki.

Primjer idealnog dinamograma prikazan je na Slici 3-4. Linija A-B predstavlja kretanje klipa prema gore, a linija C-D kretanje klipa prema dolje. Zatvoreni pravokutnik odgovara jednom radnom ciklusu dubinske klipne sisaljke.

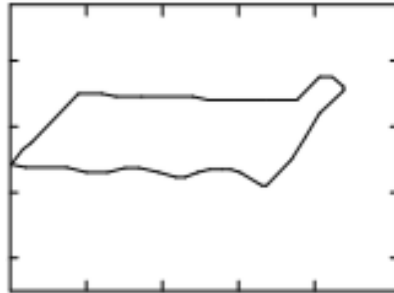


Slika 3-4. Idealni dinamogram (Matanović i Moslavac, 2011)

Kako je već spomenuto u uvodnom dijelu ovog poglavlja, kvarovi i poteškoće u radu dubinske klipne sisaljke mogu biti raznoliki. Neki od njih izravno su vezani uz komponente sisaljke, a ostali neizravno utječu budući da smanjuju količinu energije koja dolazi do sisaljke od pogonskog sustava na površini. U nastavku slijedi pregled najčešćih problema s pratećim dinamogramima.

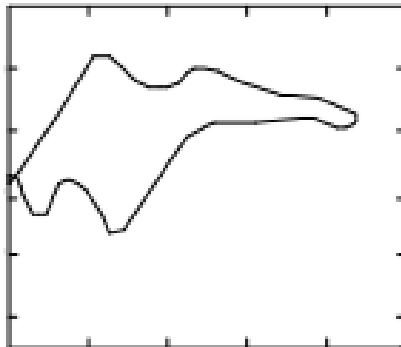
Udaranje u gornjem dijelu sustava opisuje se nekontroliranim vibracijama i kolizijom polirane šipke s „konjskom glavom“ njihalice ili s nizom klipnih šipki na predjelu zajedničke spojnice. Ovaj problem može biti povezan i s trošenjem izvijenog niza uzlaznih cijevi. Kao posljedica dolazi do „prigušenja“ rada dubinske klipne sisaljke tj. prijenosa smanjene količine energije s površine do dubine na kojoj je sisaljka uronjena. Na dinamogramu, čiji

primjer je prikazan na Slici 3-5, ovaj se problem uočava kao pojava ispupčenja u gornjem desnom kutu (Hua i Xunming, 2014).



Slika 3-5. Dinamogram s prikazom udaranja u gornjem dijelu sustava (Hua i Xunming, 2014)

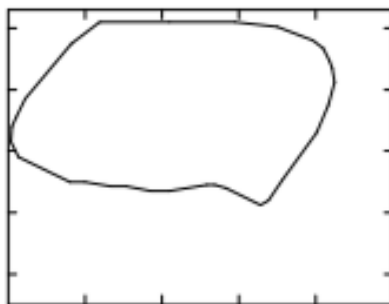
Udaranje u donjem dijelu sustava opisuje se nekontroliranim vibracijama i kolizijom klipa dubinske klipne sisaljke s kućištem njenog mirujućeg ventila. Do ovog problema dolazi kad je klip u pretjerano niskom položaju, uslijed čega naglo otpušta opterećenje fluidom koje bi trebao preuzeti prije početka kretanja prema gore. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-6, ovaj se problem uočava kao izduženost u donjem lijevom kutu ili kao nedostatak donjeg desnog kuta (Hua i Xunming, 2014).



Slika 3-6. Dinamogram s prikazom udaranja u donjem dijelu sustava (Hua i Xunming, 2014)

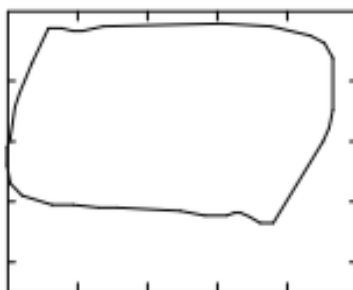
Pojava parafina u pridobivenom ležišnom fluidu predstavlja problem zbog stvaranja potencijalnih nakupina parafina u području ventila. Zbog povećanja viskoznosti takve nafte raste opterećenje na poliranoj šipki tijekom kretanja klipa prema gore, a smanjuje se tijekom kretanja klipa sisaljke prema dolje. Posljedično, dolazi do povećanja vibracija polirane šipke. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-7, ovaj se problem uočava kao

„napuhnutost“ dinamograma budući da se maksimalne i minimalne vrijednosti opterećenja nalaze van očekivanih vrijednosti (Hua i Xunming, 2014).



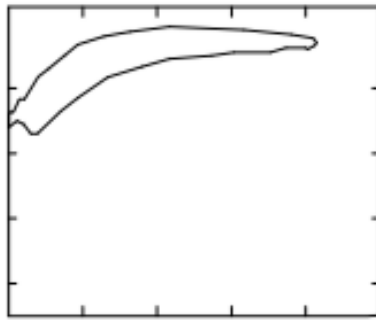
Slika 3-7. Dinamogram s prikazom utjecaja parafina u pridobivenom fluidu (Hua i Xunming, 2014)

Djelomična začepjenja priključnog naftovoda ili sapnice predstavljaju problem zbog pretjeranog rasta opterećenja na poliranoj šipki tijekom kretanja klipa prema gore i smanjenja opterećenja tijekom kretanja klipa prema dolje. Dijagnostika problema dosta je slična prethodno spomenutoj za prisustvo parafina. Na ovaj se problem sumnja nakon što se ukloni mogućnost prisutnosti parafina u ležišnom fluidu kao uzrok kvara. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-8, ovaj se problem uočava također kao „napuhnutost“ dinamograma (Hua i Xunming, 2014).



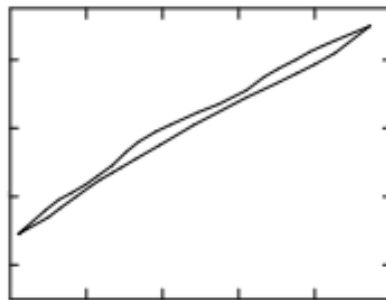
Slika 3-8. Dinamogram s prikazom utjecaja djelomičnog začepjenja priključnog naftovoda ili sapnice (Hua i Xunming, 2014)

Blokada plinom predstavlja problem budući da onemogućuje otvaranje mirujućeg ili putujućeg ventila ovisno o smjeru kretanja klipa tijekom rada dubinske klipne sisaljke. Blokada plinom podrazumijeva ulaz veće količine plina u pridobivenom fluidu pri čemu je na usisu sisaljke izrazito snižen tlak. Ulaskom plina u sisaljku, on popunjava dio volumena koji bi inače zauzimala kapljevina i vodi poremećaju tlaka potrebnog za otvaranje ventila. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-9, ovaj se problem uočava po njegovom obliku polumjeseca (Hua i Xunming, 2014).



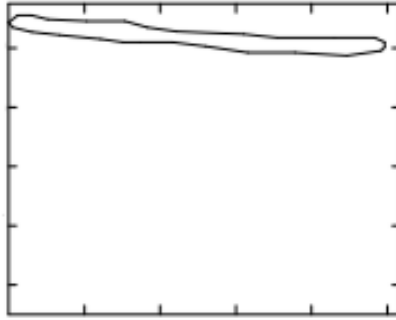
Slika 3-9. Dinamogram s prikazom utjecaja plina u sisaljci (Hua i Xunming, 2014)

Blokada klipa u cilindru u potpunosti zaustavlja rad dubinske klipne sisaljke. Nastaje kao posljedica nakupljanja pijeska, parafina ili mehaničkog kvara. Blokadom klipa u cilindru naglo raste opterećenje sisaljke. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-10, ovaj se problem uočava po obliku dinamograma koji nalikuje ravnoj liniji, a ukoliko je klip blokiran u središtu cilindra, dinamogram poprima poligonalan oblik (Hua i Xunming, 2014).



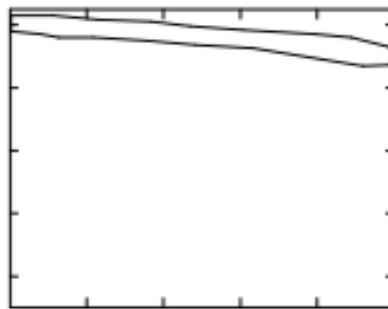
Slika 3-10. Dinamogram s prikazom utjecaja blokade klipa u cilindru (Hua i Xunming, 2014)

Kvar putujućeg ventila u potpunosti zaustavlja rad dubinske klipne sisaljke. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-11, vidljiv je karakterističan uzak i izdužen njegov oblik. Sličan oblik dinamograma vidljiv je i kod nekolicine drugih kvarova poput loma niza klipnih šipki pri dnu sustava ili značajnijem propuštanju niza uzlaznih cijevi pri dnu sustava za prinudno podizanje kapljevine ovom metodom (Hua i Xunming, 2014).



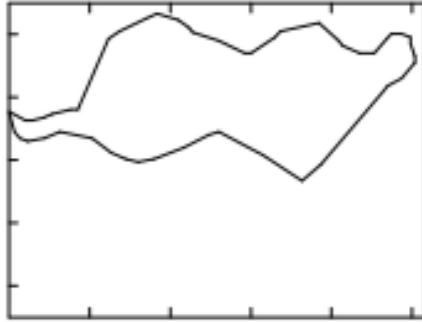
Slika 3-11. Dinamogram s prikazom utjecaja kvara putujućeg ventila (Hua i Xunming, 2014)

Kvar mirujućeg ventila u potpunosti zaustavlja rad dubinske klipne sisaljke. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-12, vidljiv je karakterističan uzak i izdužen njegov oblik. Razlika u odnosu na dinamogram iz prethodnog slučaja je da se postiže veće opterećenje koje vrlo sporo opada, tj. početak dinamograma je u samom lijevom gornjem kutu (Hua i Xunming, 2014).



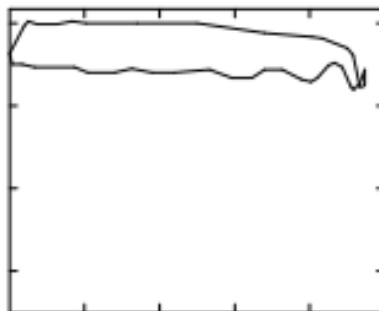
Slika 3-12. Dinamogram s prikazom utjecaja kvara mirujućeg ventila (Hua i Xunming, 2014)

Presporo zatvaranje putujućeg ventila nastaje kao posljedica malog zazora između putujućeg ventila i njegovog kućišta uslijed čega se javlja izraženo trenje. Može nastati i kao posljedica nekvalitetnog održavanja ili nakupljanja taloga u spomenutom prostoru. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-13, vidljiva je praznina u gornjem lijevom kutu i strmo kretanje linija opterećenja (Hua i Xunming, 2014).



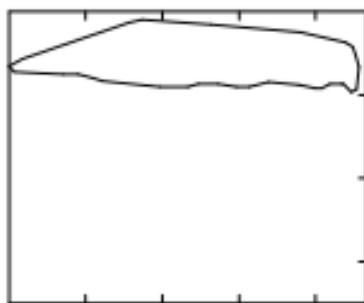
Slika 3-13. Dinamogram s prikazom utjecaja presporog zatvaranja putujućeg ventila (Hua i Xunming, 2014)

Ispadanje klipa iz cilindra u pravilu u potpunosti zaustavlja rad dubinske klipne sisaljke. Ispadanje klipa može biti djelomično ili potpuno, a povezuje se s postavljanjem klipa previsoko unutar cilindra u početnom položaju. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-14, vidljiva je praznina u gornjem desnom kutu i opadanje opterećenja tijekom kretanja klipa prema gore (Hua i Xunming, 2014).



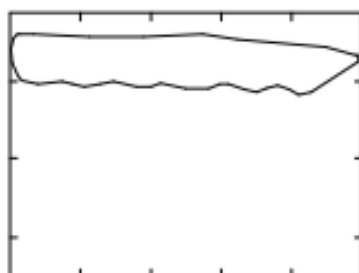
Slika 3-14. Dinamogram s prikazom utjecaja ispadanja klipa iz cilindra (Hua i Xunming, 2014)

Propuštanje putujućeg ventila nastaje kao posljedica kvara putujućeg ventila uslijed čega dolazi do stvaranja razlike tlaka iznad i ispod klipa dubinske klipne sisaljke. Uslijed toga dolazi do prebacivanja fluida iz područja iznad klipa u područje ispod klipa, a unutar cilindra. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-15, vidljiv je oštar rub u gornjem lijevom kutu i strmo kretanje linije opterećenja pri kretanju klipa prema gore (Hua i Xunming, 2014).



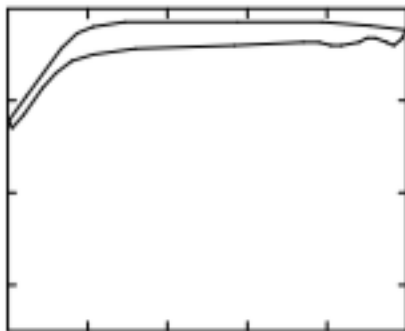
Slika 3-15. Dinamogram s prikazom utjecaja propuštanja putujućeg ventila (Hua i Xunming, 2014)

Propuštanje mirujućeg ventila nastaje kao posljedica nedovoljne pričvršćenosti ventila unutar sjedišta ili nakupljanja taloga pijeska ili parafina u kućištu ventila. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-16, vidljivo je strmije kretanje linije opterećenja pri kretanju klipa prema gore u usporedbi s linijom opterećenja pri kretanju klipa prema dolje (Hua i Xunming, 2014).



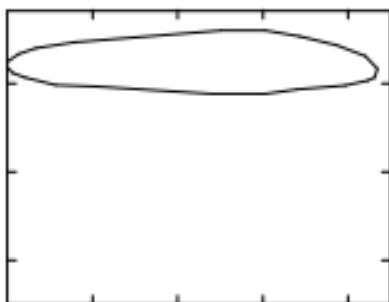
Slika 3-16. Dinamogram s prikazom utjecaja propuštanja mirujućeg ventila (Hua i Xunming, 2014)

Nedovoljna uronjenost sisaljke, premala količina kapljevine na usisu ili prevelik promjer dubinske klipne sisaljke često su povezani s očekivanom količinom pridobivenog fluida na površini. Dinamogram za sve nabrojane slučajeve ima sličan oblik. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-17, vidljiv je uzak i u lijevu stranu izdužen oblik dinamograma (Hua i Xunming, 2014).



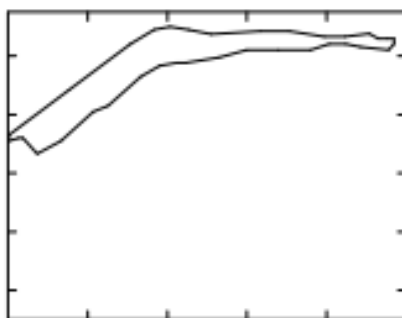
Slika 3-17. Dinamogram s prikazom utjecaja nedovoljne uronjenosti sisaljke (Hua i Xunming, 2014)

Simultano propuštanje putujućeg i mirujućeg ventila rezultira sporim rastom opterećenja tijekom kretanja klipa prema gore. Propuštanje je intenzitetom malo, a opterećenje polirane šipke u tom trenutku doseže maksimalnu vrijednost. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-18, vidljiva je zaobljenost u njegovom gornjem lijevom i desnom kutu (Hua i Xunming, 2014).



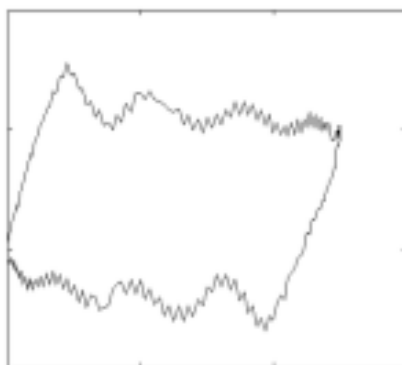
Slika 3-18. Dinamogram s prikazom utjecaja simultanog propuštanja putujućeg i mirujućeg ventila (Hua i Xunming, 2014)

Utjecaj prisustva plina u cilindru dubinske klipne sisaljke predstavlja problem donekle sličan blokadi plinom. Plin otopljen u kapljevini zaostaje u malim količinama, u cilindru, po završetku kretanja klipa prema dolje. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-19, ovaj se problem uočava po obliku polumjeseca ili oštrice noža (Hua i Xunming, 2014).



Slika 3-19. Dinamogram s prikazom utjecaja plina u cilindru sisaljke (Hua i Xunming, 2014)

Proizvodnja pijeska koji ulazi na usisu dubinske klipne sisaljke s pridobivenim fluidom, potencijalni je problem koji može voditi nastajanju taloga na različitim komponentama dubinske klipne sisaljke. Proizvodnja pijeska vrlo često nastaje kao posljedica prevelike razlike tlaka (depresije) na dubini postavljanja sisaljke. Intenzitet utjecaja pijeska na rad sisaljke ovisi o veličini zrna pijeska i količini pijeska koja popunjava prostor unutar sisaljke. Na dinamogramu, čiji primjer je prikazan na Slici 3-20, vidljiv je „titrajući“ oblik linija opterećenja tijekom kretanja klipa prema gore i prema dolje (Hua i Xunming, 2014).



Slika 3-20. Dinamogram s prikazom utjecaja pijeska s pridobivenim fluidom (Hua i Xunming, 2014)

Proizvodnja nafte predstavlja kontinuiran proces i tijekom njenog trajanja dubinska klipna sisaljka ne vadi se na površinu osim u slučaju kvara. Svako vađenje sisaljke zbog održavanja ili popravka istovremeno bi zahtijevalo prekid proizvodnje. Zbog vremenske i ekonomske uštede, u tim situacijama, sisaljka koja zahtijeva popravak hitno se mijenja rezervnom i odlazi na defektažu. Defektažom se potvrđuju uzroci kvara pretpostavljeni dinamogramom i odlučuje o sljedećim koracima vezanim uz njen popravak. Cijeli proces

zamjene sisaljke i njenog popravka, u pravilu se kontrolira popunjavanjem pratećih obrazaca.

Prinudno podizanje kapljevine primjenom dubinskih klipnih sisaljki uvelike je zastupljeno i u Hrvatskoj. U nastavku slijedi pregled uzroka kvarova dubinske opreme i analiza provedenih remontnih radova na primjeru hrvatskog naftnog polja X, na kojem se proizvodnja nafte odvija spomenutom metodom.

Tablica 4-1. Podaci o bušotinama na razmatranom eksploatacijskom polju ugljikovodika X (INA d.d., 2022)

| Status bušotine/ Način pridobivanja | | Eksploatacijsko polje ugljikovodika X |
|--|---|--|
| Naftne | eruptivne | 37 |
| | dubinske sisaljke | 107 |
| | plinsko podizanje | 4 |
| | Linearno pogonjene dubinske sisaljke (engl. <i>Linear Rod Pump – LRP</i>) | 3 |
| | uronjene centrifugalne sisaljke (engl. <i>Electric Submersible Pump - ESP</i>) | 1 |
| Plinske | eruptivne | 14 |
| Vodno-utisne | | 16 |
| Utisne H ₂ O, CO ₂ | | 36 |
| Mjerne | | 45 |
| Napuštene | | 9 |
| Likvidirane | | 45 |
| Ukupno izbušeno kanala bušotina | | 317 |

U Tablici 4-1 vidljivo je kako su proizvodne naftne i plinske bušotine najzastupljeniji tip bušotina na ovom eksploatacijskom polju ugljikovodika te njihovi kanali zauzimaju udio od 52% u ukupnom broju izrađenih kanala. Također je potvrđeno kako su dubinske klipne sisaljke glavna metoda pridobivanja slojnog fluida u naftnim bušotinama s udjelom od 72% u ukupnom broju izrađenih kanala, svih proizvodnih naftnih bušotina, na ovom naftno-plinskom polju.

Geološka građa područja pružanja eksploatacijskog polja ugljikovodika X uglavnom obuhvaća kvartarne naslage koje izgrađuju porječje rijeke Save. Najzastupljenije kvartarne naslage su (Gaurina-Međimurec et al., 2018) :

- jezersko-barski sedimenti,
- kopneni prapor,
- deluvij,

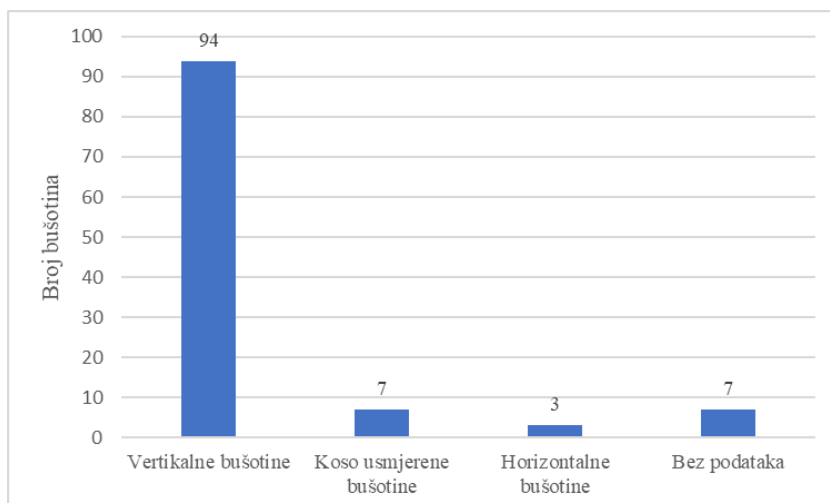
- proluvij,
- riječni i potočni aluvij,
- barski sedimenti i
- organogeno-barski sedimenti.

Osim kvartarnih naslaga, u rubnim dijelovima polja mogu se definirati starije naslage miocena i pliocena.

Na lokaciji naftno-plinskog polja X ugljikovodici se pridobivaju iz pješčenjaka podijeljenih u nekoliko grupa (serija). Podjela je napravljena na temelju rezultata analize geoloških i karotažnih podataka te podataka dobivenih jezgrovanjem. Najvažnija serija je gama serija koja ima najveću zasićenost ugljikovodicima. Prosječna debljina gama serije je 120 m i sastoji se od nekoliko različitih hidrodinamičkih cjelina (Hrvatska energetska tranzicija, 2020). Na površini, definirano je nekoliko klasa tala koje obuhvaćaju područje prostiranja naftno-plinskog polja X. To su vrijedna obradiva zemljišta, ostala obradiva zemljišta i ostala zemljišta. Većinu tih zemljišta odlikuje hipoglej, tip tla koji se opisuje kao mineralno nekarbonatno hidromorfno tlo (Gaurina-Međimurec et al., 2018).

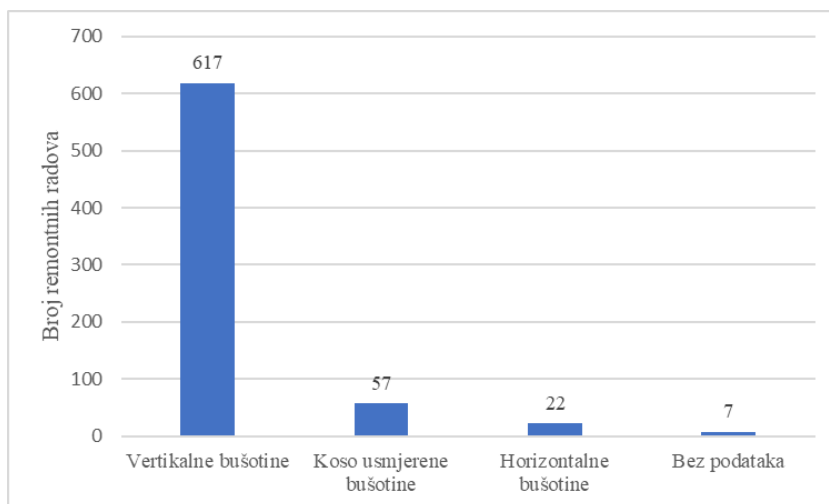
4.1. Pregled remontnih radova na naftno-plinskom polju X

Prema dostupnim podacima, na naftno-plinskom polju X obavljena su 703 remontna rada, na 111 bušotina, u posljednjih desetak godina. Zastupljenost bušotina obuhvaćenih remontnim radovima ovisno o konstrukciji kanala bušotine prikazana je na Slici 4-2.



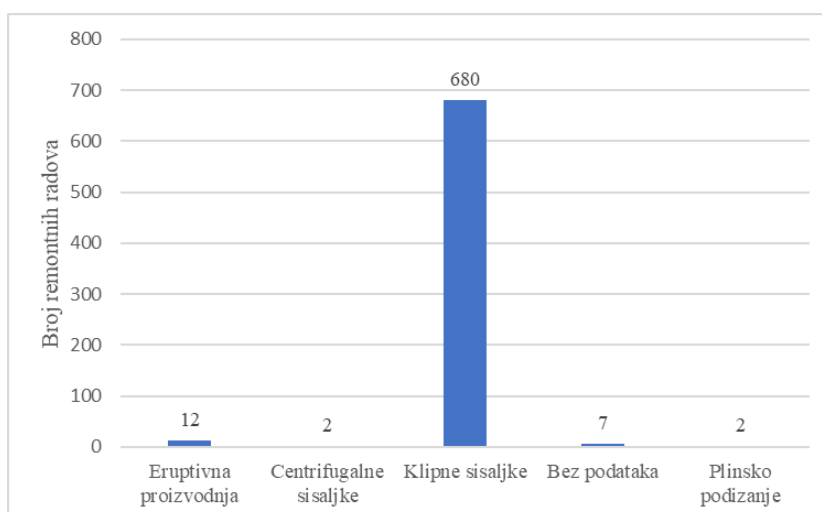
Slika 4-2. Raspodjela razmatranih bušotina na naftno-plinskom polju X s obzirom na njihovu konstrukciju (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-2 vidljivo je da su vertikalne bušotine najzastupljeniji tip bušotine s 85% udjela u ukupnom broju bušotina obuhvaćenih remontnim radovima, na naftno-plinskom polju X, u posljednjih desetak godina. Ukupan broj obavljenih remontnih radova, po pojedinom konstrukcijskom tipu bušotine, prikazan je na Slici 4-3.



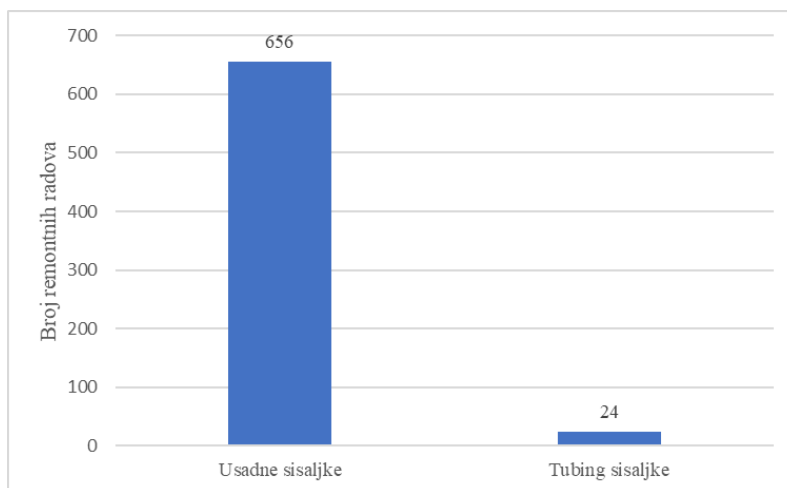
Slika 4-3. Ukupan broj remontnih radova, po pojedinom konstrukcijskom tipu bušotine, na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-3 vidljivo je da su vertikalne bušotine dominantno zastupljene s 88% udjela u ukupnom broju obavljenih remontnih radova, na ovom naftno-plinskom polju, u posljednjih desetak godina. Na Slici 4-4 prikazan je ukupan broj obavljenih remontnih radova s obzirom na primijenjen način pridobivanja slojnog fluida.



Slika 4-4. Broj remontnih radova na bušotinama naftno-plinskog polja X s obzirom na način njihovog opremanja i pridobivanja fluida (INA d.d., 2022)

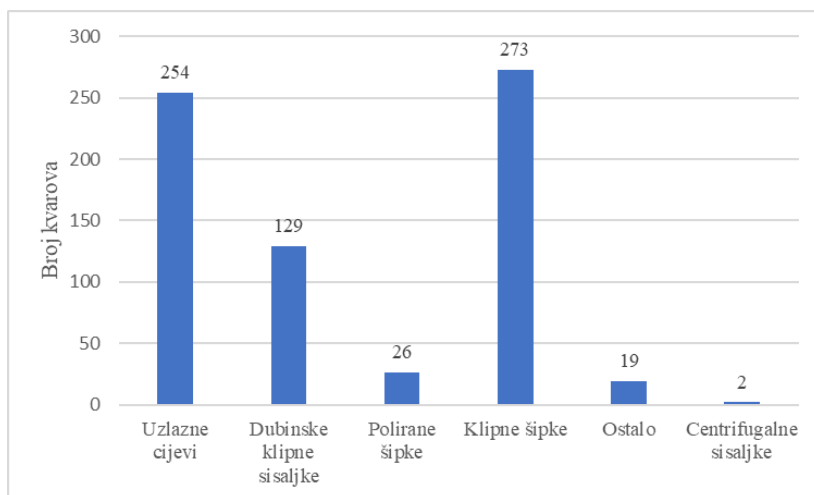
Na Slici 4-4, kao i prethodno u Tablici 4-1, vidljivo je da su dubinske klipne sisaljke dominantan način pridobivanja nafte te su uzrokovale 97% ukupno obavljenih remontnih radova na ovom naftno-plinskom polju. Kako je već spomenuto, dubinske klipne sisaljke dijele se ovisno o načinu ugradnje na usadne i tubing sisaljke. Na Slici 4-5 prikazana je zastupljenost određenog tipa dubinske klipne sisaljke, u ukupnom broju remontnih radova, na bušotinama na kojima se primjenjuje ta metoda pridobivanja slojnog fluida.



Slika 4-5. Raspodjela ukupnog broja remontnih radova na bušotinama opremljenim dubinskim klipnim sisaljka, na razmatranom naftno-plinskom polju X, s obzirom na tip ugrađene sisaljke (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-5 vidljivo je da su usadne sisaljke, koje se spuštaju u bušotinu na klipnim šipkama, dominantno zastupljene s 96% udjela u ukupnom broju obavljenih remontnih radova, na naftno-plinskom polju X, na onim bušotinama koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka.

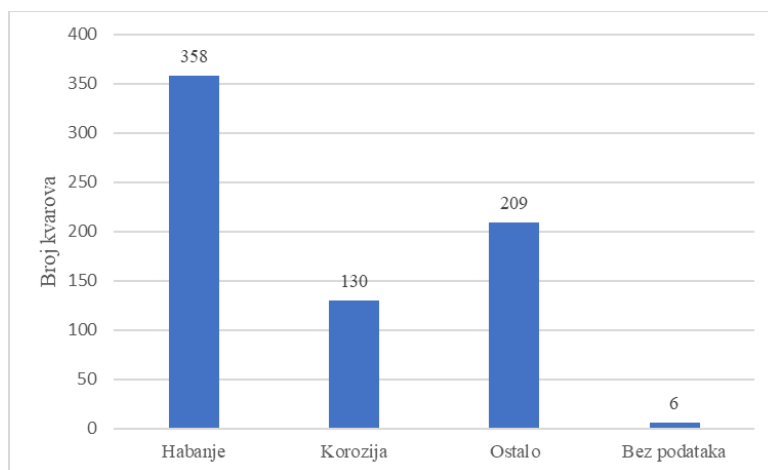
Zastupljenost komponenata dubinske proizvodne opreme, čiji kvarovi su uvjetovali obavljanje remontnih radova u razmatranom desetogodišnjem periodu, prikazana je na Slici 4-6. Zbog velike zastupljenosti dubinskih klipnih sisaljki na naftno-plinskom polju X, kvarovi i poteškoće u radu prvenstveno se odnose na komponente tog sustava.



Slika 4-6. Raspodjela kvarova koji su uzrokovali remontne radove na naftno-plinskom polju X s obzirom na pojedine komponente proizvodne opreme (INA d.d.,2022)

Na Slici 4-6 vidljivo je da su klipne šipke dio dubinske opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova u razmatranom desetogodišnjem periodu tj. 39% svih kvarova na ovom naftno-plinskom polju odnosi se na niz klipnih šipki. Druga po zastupljenosti komponenta proizvodne opreme je niz uzlaznih cijevi (tubing) s udjelom od 36% kvarova, a zatim slijede klipne sisaljke s nešto više od 18% kvarova koji su povlačili za sobom potrebu za obavljanjem remontnih radova na tim bušotinama.

Zastupljenost samih uzroka oštećenja u njihovom ukupnom broju prikazana je na Slici 4-7.

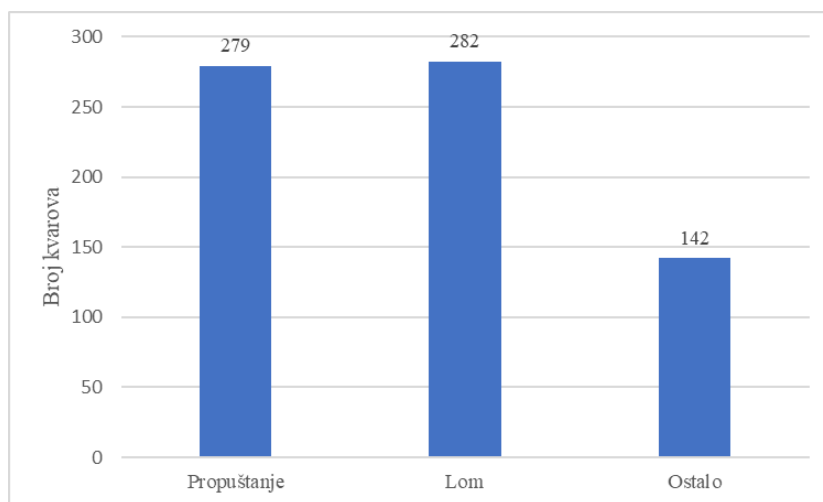


Slika 4-7. Uzroci kvarova dubinske opreme na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-7 vidljivo je kako je najčešći uzrok oštećenja dubinske opreme habanje tj. mehaničko trošenje s 51% zastupljenosti u ukupnom broju kvarova na ovom naftno-plinskom polju. Spomenuto mehaničko trošenje zabilježeno je kod klipnih šipki, uzlaznih cijevi i polirane šipke. Pod skupinom „ostalo“ na drugom mjestu zastupljenosti u dijagramu,

obuhvaćene su nakupine kamenca i taloga na dubinskoj opremi te kvarovi komponenata dubinske klipne sisaljke.

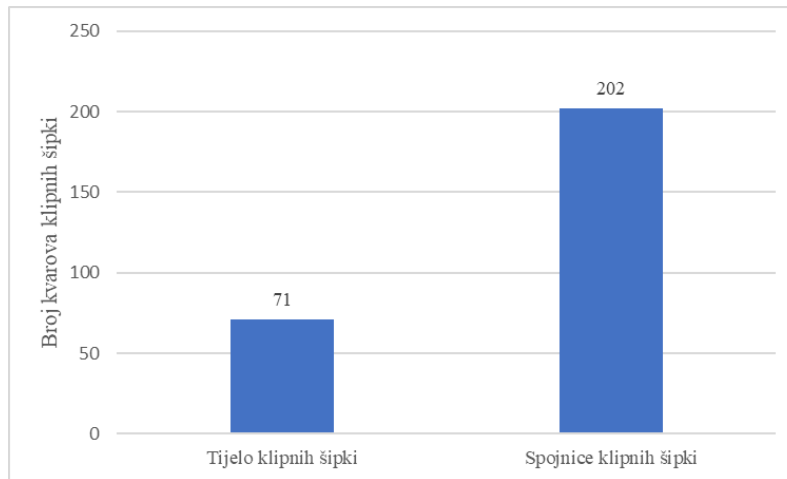
Zastupljenost tipova oštećenja dubinske proizvodne opreme u ukupnom broju oštećenja prikazana je na Slici 4-8. Tipovi oštećenja mogu se opisati i kao posljedice djelovanja prethodno spomenutih uzroka kvarova.



Slika 4-8. Raspodjela kvarova dubinske proizvodne opreme na naftno-plinskom polju X s obzirom na najčešći tip oštećenja (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-8 vidljivo je kako je najzastupljeniji tip oštećenja lom komponenata opreme s 40% udjela u ukupnom broju oštećenja dubinske proizvodne opreme na ovom naftno-plinskom polju. Također je vidljivo kako se podaci s ovog dijagrama približno poklapaju s podacima o komponentama dubinske proizvodne opreme zahvaćenim kvarovima, a koji su prikazani na Slici 4-6. Lomovi se u pravilu vežu uz klipne i poliranu šipku, propuštanja uz uzlazne cijevi i sidrene pakere, a ostalo uz pojedinosti kvarova dubinskih klipnih sisaljki.

Klipne šipke najzastupljenija su komponenta dubinske proizvodne opreme po broju kvarova i oštećenja na naftno-plinskom polju X. Njihova oštećenja mogu se podijeliti na oštećenja tijela šipke i oštećenja spojnica šipki, pri čemu se razlikuju spojnice kojima se klipne šipke povezuju s poliranom šipkom i spojnice kojima se klipne šipke međusobno povezuju u niz. Spomenuta zastupljenost oštećenja u ukupnom broju oštećenja klipnih šipki prikazana je na Slici 4-9.



Slika 4-9. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki na naftno-plinskom polju X s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem (INA d.d, 2022)

Na Slici 4-9 vidljivo je kako su spojnice klipnih šipki dio te opreme s većim brojem kvarova tj. na spojnice klipnih šipki odnosi se 74% svih zabilježenih kvarova niza klipnih šipki, na ovom naftno-plinskom polju, u razmatranom desetogodišnjem periodu. Također, spojnice klipnih šipki su komponenta s najvećim zabilježenim brojem kvarova u cijelom sustavu za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljkaama. Njihovi kvarovi i oštećenja zahtijevali su obavljanje najvećeg broja remontnih radova na naftno-plinskom polju X (29%).

Klipne šipke koje se koriste na naftno-plinskom polju X većinom su promjera 19,05 mm (3/4 in) i 22,23 mm (7/8 in). Njihova oštećenja uglavnom nastaju kao posljedica mehaničkog trošenja. Kako je već opisano, najviše su trošenju izložene spojnice zbog međudjelovanja s unutarnjom stijenkom uzlaznih cijevi. Iz tog razloga, na naftno-plinskom polju X, probleme s klipnim šipkama vrlo često prati i nehermetičnost uzlaznih cijevi. Česta pojava je i otpadanje, značajno oštećenje ili neispravnost prethodno postavljenih centralizera klipnih šipki čija bi uloga bilo upravo smanjenje mehaničkog trošenja. Na nekim bušotinama zabilježeni su i primjeri djelomičnog odvrtanja niza ili njegovog prihvata. Vrlo često na naftno-plinskom polju X, nisu na raspolaganju, na površini, bile klipne šipke različitih duljina i veličina. Posljedično, donekle se ograničila mogućnost promjene prethodno korištenog kombiniranog niza na određenim bušotinama. Također je smanjena mogućnost promjene položaja spojnica klipnih šipki s ciljem pomicanja mjesta kontakta s uzlaznim cijevima. Prilikom zamjene klipnih šipki, bušotina je često ispirana kako bi se uklonio nastali kamenac koji je povećavao promjer klipnih šipki, ali i smanjivao prolaznost uzlaznih cijevi. Na naftno-plinskom polju X, često je korištena metoda dodavanja dodatnih centralizera, na klipne šipke, na dubini čestih oštećenja ili su prethodno korištene klipne šipke mijenjane

manjim brojem teških klipnih šipki. Osim toga, u primjenu su uvedeni, ili vraćeni nakon ciklusa nekorištenja, rotatori klipnih šipki (INA d.d., 2022).

Uzlazne cijevi koje se koriste na naftno-plinskom polju X većinom su promjera 60,33 mm (2 3/8 in) i 73,03 mm (2 7/8 in). Njihova oštećenja uglavnom nastaju kao posljedica mehaničkog i korozijskog trošenja. Zbog mehaničkog trošenja zabilježena su višestruka propuštanja, a u nekim bušotinama i pukotine nastale duž uzlaznih cijevi. Korozijsko trošenje manifestiralo se u obliku rupica zabilježenih duž cijelog opsega uzlaznih cijevi. Vrlo često prolaznost uzlaznih cijevi bila je smanjena zbog nakupina parafina i kamenca. Iz tog razloga, slično kao i kod zamjene klipnih šipki, bušotine su ispirane s ciljem uklanjanja nataloženog parafina i kamenca. Također, preventivno su povećane koncentracije inhibitora kamenca na određenim bušotinama. U primjenu su uvedeni rotatori uzlaznih cijevi, kako bi se osigurala ravnomjernija raspodjela opterećenja uzlaznih cijevi tijekom kontakta sa spojnicama klipnih šipki. Kako bi se smanjilo korozijsko djelovanje, na većem broju bušotina, dotadašnje uzlazne cijevi zamijenjene su plastificiranom verzijom istog promjera (INA d.d., 2022).

Oštećenja polirane šipke na naftno-plinskom polju X uglavnom su lomovi tijela šipke i propuštanja uvodne brtvenice. Na jednoj bušotini zabilježeno je prevrtanje njihalice uslijed čega je došlo do savijanja polirane šipke. Oštećenja su sanirana na način da se mijenjala kompletna polirana šipka, a po potrebi i brtvenica. Povremeno su preventivno mijenjane polirane šipke s manjim oštećenjima, a na određenim bušotinama su ugrađivane deblje šipke u odnosu na prethodno korištene (INA d.d., 2022).

Oštećenja dubinske klipne sisaljke na naftno-plinskom polju X uglavnom su vezana uz probleme s klipom. Na više bušotina zabilježeni su primjeri nasjedanja klipa u cilindru ili ispadanja klipa iz cilindra. Nasjedanje klipa nastajalo je kao posljedica nakupljanja pijeska ili parafina uslijed čega je otežano kretanje klipa unutar cilindra. Osim čišćenja sisaljke po vađenju na površinu, bušotine su u tim slučajevima i ispirane. Na određenom broju dubinskih klipnih sisaljki zabilježena su značajna oštećenja kućišta mirujućeg i putujućeg ventila. Uslijed mehaničkih djelovanja, dolazilo je do oštećenja antikorozivnog sloja kućišta ventila što je vodilo pojavi korozijskog trošenja. Tijekom proizvodnje, na određenim bušotinama, dolazilo je do povećanog usisa CO₂. Spomenuta pojava smanjivala je volumetrijsku efikasnost sisaljke i intenzivirala procese korozijskog trošenja (INA d.d., 2022).

Oštećenja sidrenih pakera na naftno-plinskom polju X značajno su rjeđe zabilježena u usporedbi s prethodno spomenutim oštećenjima i uglavnom su vezana uz propuštanja

pakera. Po uočavanju problema, pristupalo se postupku ugušivanja bušotine i ugradnje rezervnog sidrenog pakera (INA d.d., 2022).

4.2. Pregled remontnih radova na bušotinama naftno-plinskog polja X koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka

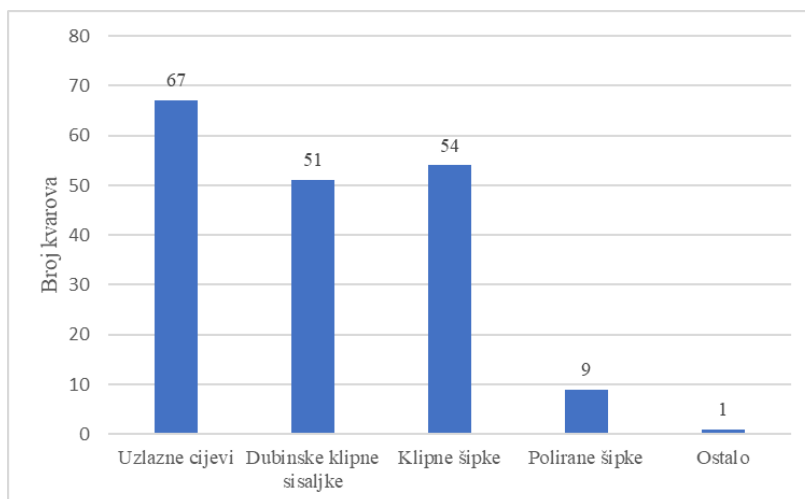
4.2.1 Analiza kvarova u odnosu na dubinu bušotine, opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine, pomoću dubinske klipne sisaljke

Prosječna dubina svih bušotina na naftno-plinskom polju X, na kojima su obavljani remontni radovi, iznosi 2203 m. Za potrebe ove analize, bušotine će se podijeliti u tri skupine:

- bušotine do 2000 m dubine,
- bušotine dubine od 2000 do 2500 m i
- bušotine dubine preko 2500 m.

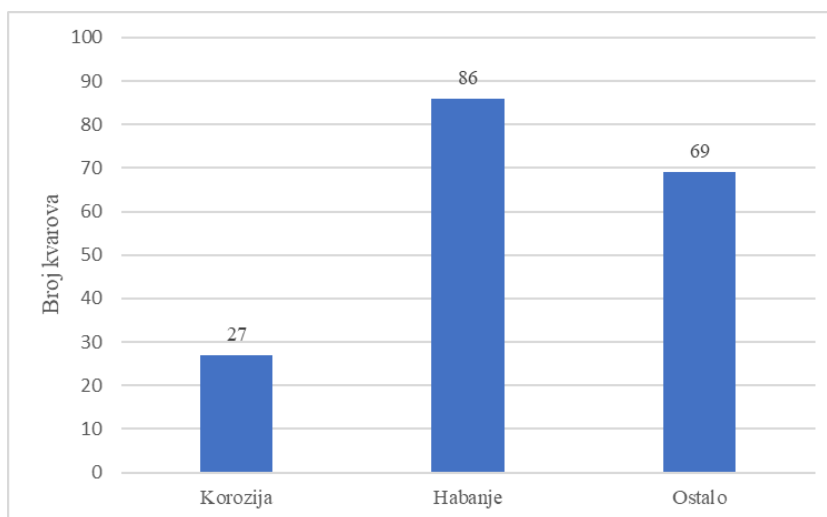
Svi podaci prikazani u ovoj i sljedećoj analizi odnose se isključivo na bušotine kojima je pri posljednjem obavljenom remontnom radu potvrđena primjena dubinskih klipnih sisaljki kao odabrani način pridobivanja fluida na površinu.

Na naftno-plinskom polju X, aktivne su 24 bušotine dubine do 2000 m koje koriste spomenutu metodu prinudnog podizanja kapljevine dubinskim klipnim sisaljka, a na kojima su u posljednjih desetak godina obavljani remontni radovi. Od toga, 22 su projektirane kao vertikalne i dvije kao koso usmjerene bušotine. Zastupljenost pojedinih komponenata dubinske proizvodne opreme s obzirom na broj registriranih kvarova, za bušotine dubine do 2000 m, koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka prikazana je na Slici 4-10.



Slika 4-10. Raspodjela ukupno zabilježenih kvarova na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine do 2000 m (INA d.d., 2022)

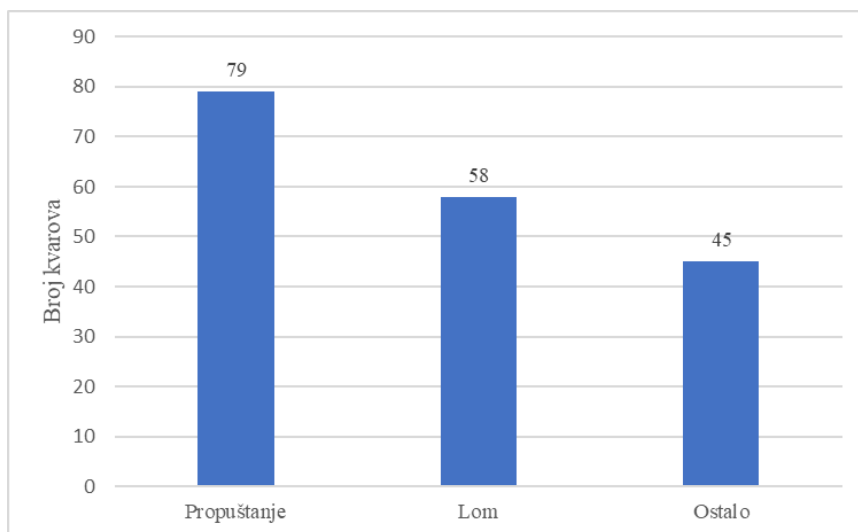
Na Slici 4-10 vidljivo je kako su uzlazne cijevi komponenta dubinske opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova, kod bušotina dubine do 2000 m, te zauzimaju udio od 37% u ukupnom broju kvarova. Na Slici 4-11 prikazana je raspodjela kvarova po njihovim uzrocima za bušotine dubine do 2000 m na naftno-plinskom polju X.



Slika 4-11. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za bušotine dubine do 2000 m, na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-11 vidljivo je kako je habanje tj. mehaničko trošenje dominantan uzrok kvarova dubinske proizvodne opreme s 47% zastupljenosti u ukupnom broju kvarova za bušotine dubine do 2000 m. Nastalo habanje obuhvaćalo je uzlazne cijevi, klipne šipke i polirane

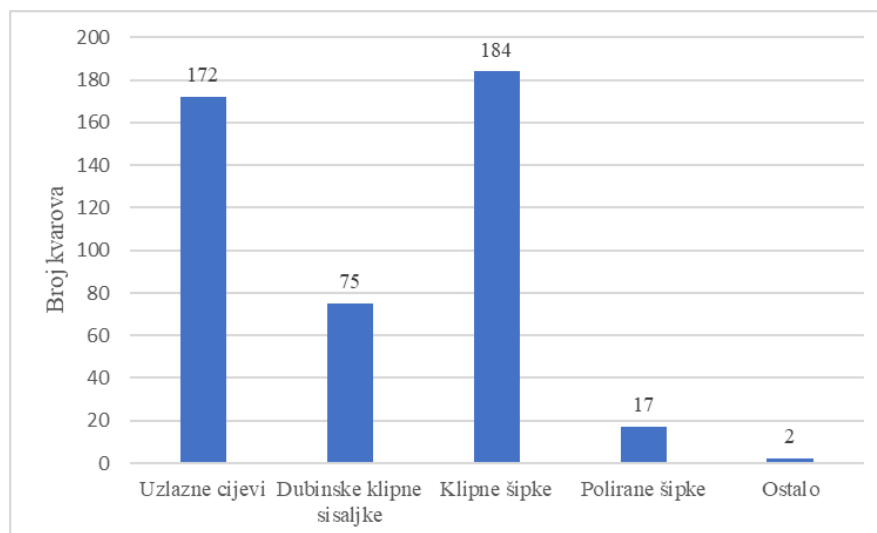
šipke. Na Slici 4-12 prikazana je zastupljenost tipova oštećenja dubinske proizvodne opreme za bušotine dubine do 2000 m na naftno-plinskom polju X.



Slika 4-12. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine do 2000 m (INA d.d., 2022)

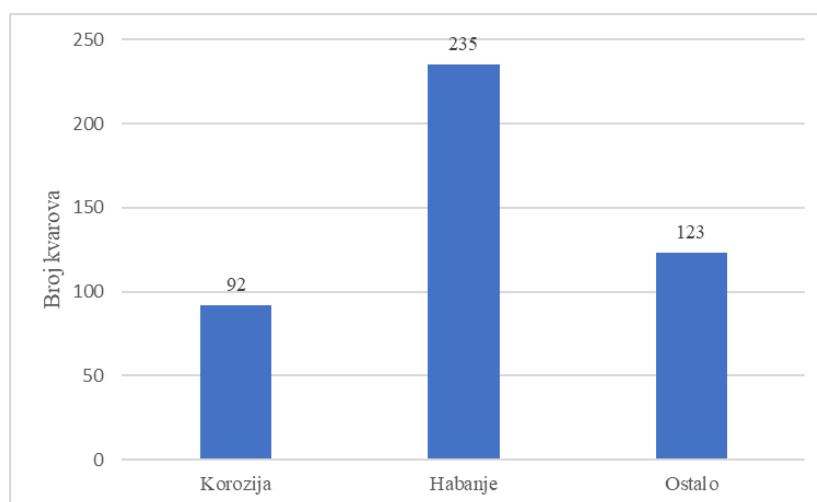
Na Slici 4-12 vidljivo je kako je propuštanje najzastupljenija posljedica kvarova opreme, za bušotine dubine do 2000 m, s 43% zastupljenosti u ukupnom broju oštećenja dubinske proizvodne opreme na bušotinama. Ovaj tip kvara uglavnom se povezuje s uzlaznim cijevima i sidrenim pakerom.

Bušotine dubine od 2000 do 2500 m dominantan su tip bušotina, opremljenih dubinskim klipnim sisaljka, na naftno-plinskom polju X. Prema dostupnim podacima, na njih 67, obavljani su remontni radovi u posljednjih desetak godina. Među njima, dvije su projektirane kao horizontalne, četiri kao koso usmjerene i 61 kao vertikalna bušotina. Zastupljenost pojedinih komponenata dubinske proizvodne opreme s obzirom na broj registriranih kvarova, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m, koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka prikazana je na Slici 4-13.



Slika 4-13. Raspodjela ukupno zabilježenih kvarova na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m (INA d.d., 2022)

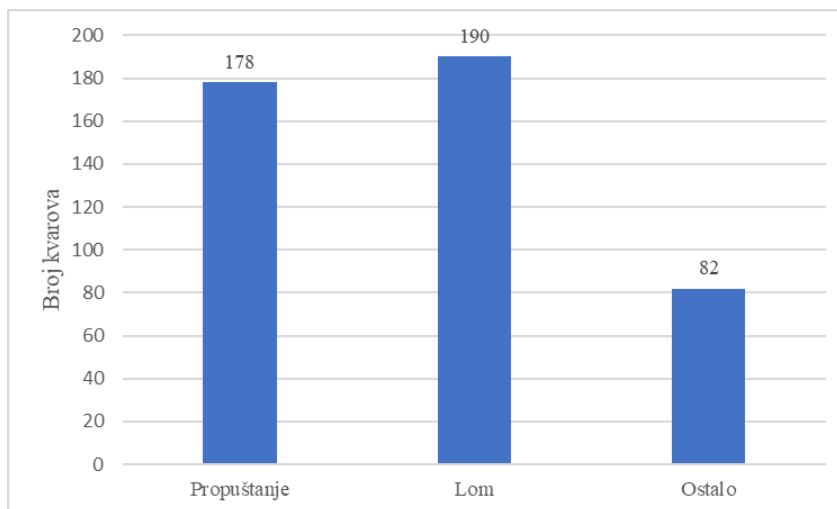
Na Slici 4-13 vidljivo je kako su klipne šipke dio dubinske opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova s 41% zastupljenosti, u ukupnom broju kvarova, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m. Na Slici 4-14 prikazana je zastupljenost uzroka kvarova dubinske proizvodne opreme na bušotinama dubine od 2000 do 2500 m na naftno-plinskom polju X.



Slika 4-14. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m, na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-14 vidljivo je kako je habanje dominantan uzrok kvarova dubinske opreme s 52% zastupljenosti u ukupnom broju kvarova za bušotine dubine od 2000 do 2500 m.

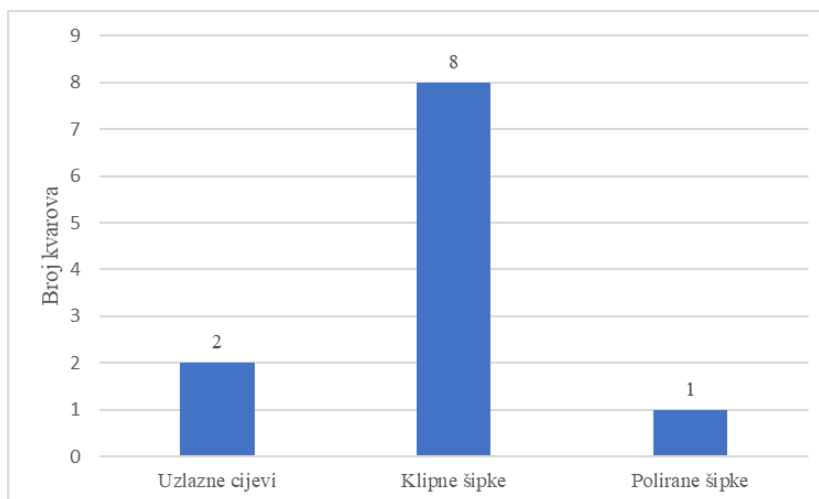
Zastupljenost tipova oštećenja dubinske proizvodne opreme, na bušotinama dubine od 2000 do 2500 m, koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljkaama može se vidjeti na Slici 4-15.



Slika 4-15. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine od 2000 do 2500 m (INA d.d., 2022)

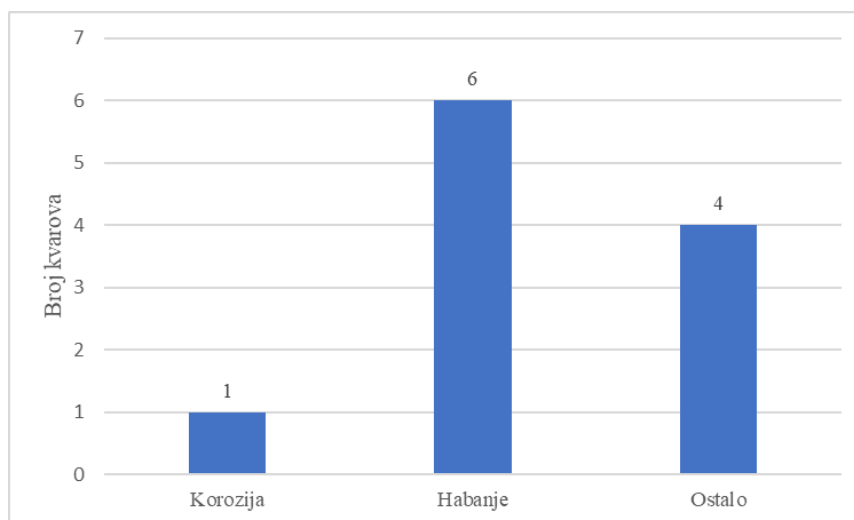
Na Slici 4-15 vidljivo je da je lom najzastupljenija posljedica kvarova opreme s 42% zastupljenosti, u ukupnom broju oštećenja dubinske proizvodne opreme, na bušotinama dubine od 2000 do 2500 m. Lomovi dubinske opreme najčešće se odnose na klipne i poliranu šipku.

Bušotine dubine preko 2500 m na naftno-plinskom polju X, koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljkaama, projektirane su kao vertikalne bušotine i u posljednjih desetak godina obavljani su remontni radovi na samo dvije bušotine tih dubina. Zastupljenost pojedinih komponenata dubinske proizvodne opreme s obzirom na broj registriranih kvarova, za bušotine dubine preko 2500 m, koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljkaama prikazana je na Slici 4-16.



Slika 4-16. Raspodjela ukupno zabilježenih kvarova na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine preko 2500 m (INA d.d., 2022)

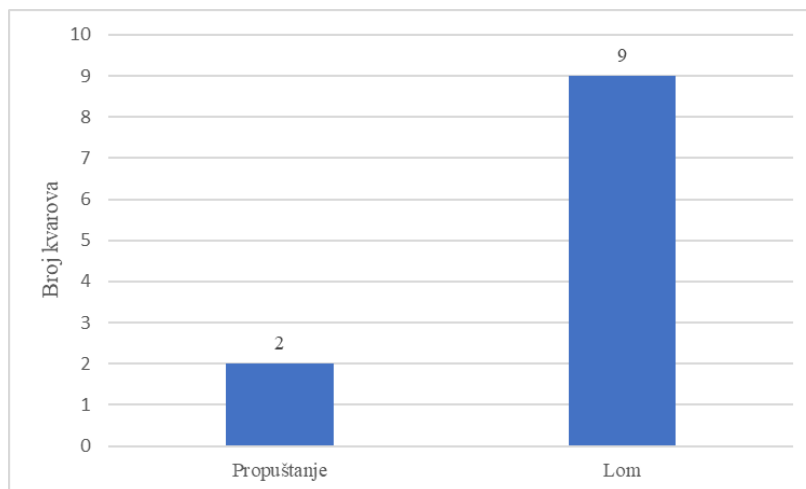
Na Slici 4-16 vidljivo je kako su klipne šipke komponenta dubinske opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova i zauzimaju udio od 73% u ukupnom broju kvarova za bušotine dubine preko 2500 m na naftno-plinskom polju X. Na Slici 4-17 prikazana je zastupljenost uzroka kvarova dubinske proizvodne opreme za bušotine ove dubine.



Slika 4-17. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za bušotine dubine preko 2500 m, na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-17 vidljivo je kako je habanje najzastupljeniji uzrok kvarova dubinske opreme s 55% udjela u ukupnom broju kvarova za bušotine dubine preko 2500 m. Zastupljenost tipova

oštećenja dubinske proizvodne opreme, za bušotine spomenute dubine, opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka može se vidjeti na Slici 4-18.

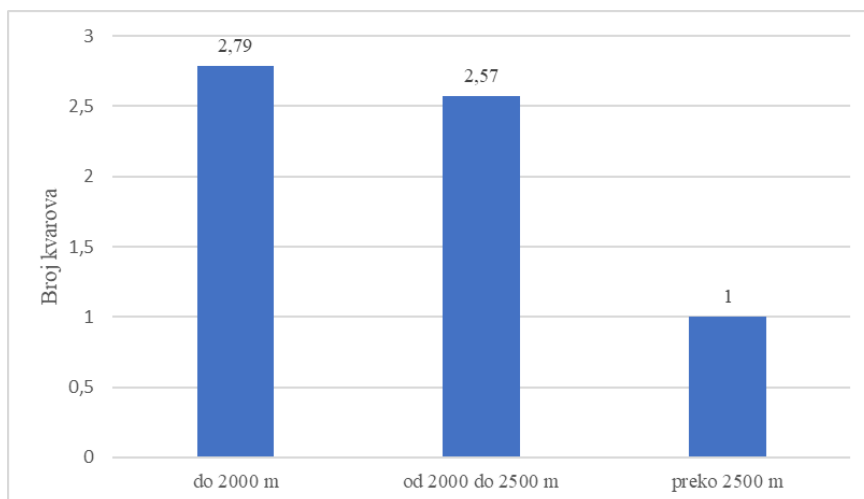


Slika 4-18. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za bušotine dubine preko 2500 m (INA d.d.,2022)

Na Slici 4-18 vidljivo je kako je lom dominantna posljedica kvarova opreme i zauzima udio od 82%, u ukupnom broju oštećenja dubinske opreme, na bušotinama dubine preko 2500 m, na naftno-plinskom polju X.

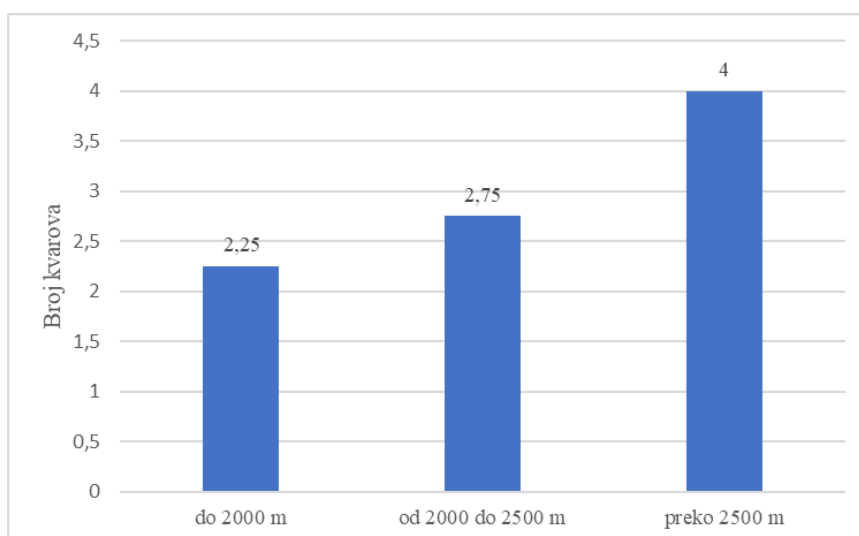
4.2.1.1 Završna analiza kvarova dubinske proizvodne opreme, na bušotinama koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka, s obzirom na dubinu kanala bušotine

Nakon prikazanih podataka o postojećim tipovima bušotina, po kriteriju njihove dubine, slijedi kumulativni prikaz s obzirom na razmatrane parametre u pojedinačnim analizama. Na Slici 4-19 prikazan je prosječan broj kvarova uzlaznih cijevi, po bušotini, za prethodno prikazane raspone dubina bušotina.



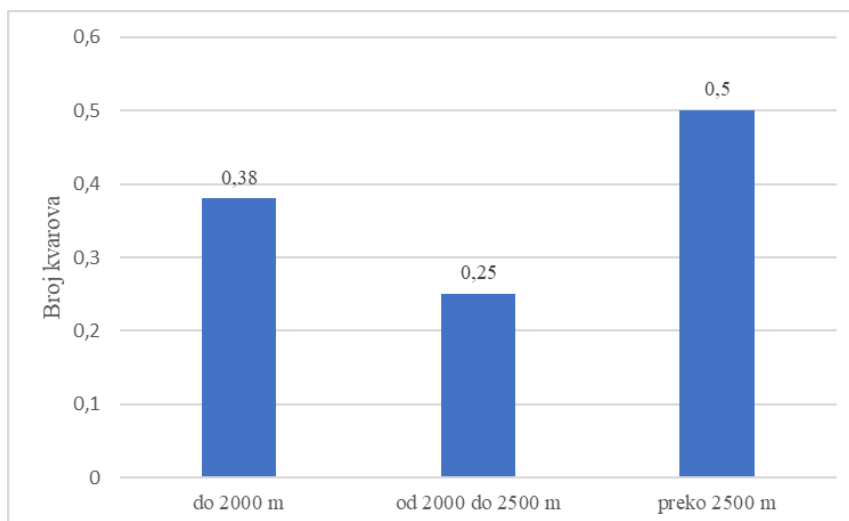
Slika 4-19. Prosječan broj kvarova niza uzlaznih cijevi po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-19 vidljivo je kako je najveća učestalost kvarova uzlaznih cijevi, na naftno-plinskom polju X, nastala u bušotinama dubine do 2000 m i smanjuje se s povećanjem njihove dubine. Na Slici 4-20 prikazani su analogni podaci za klipne šipke.



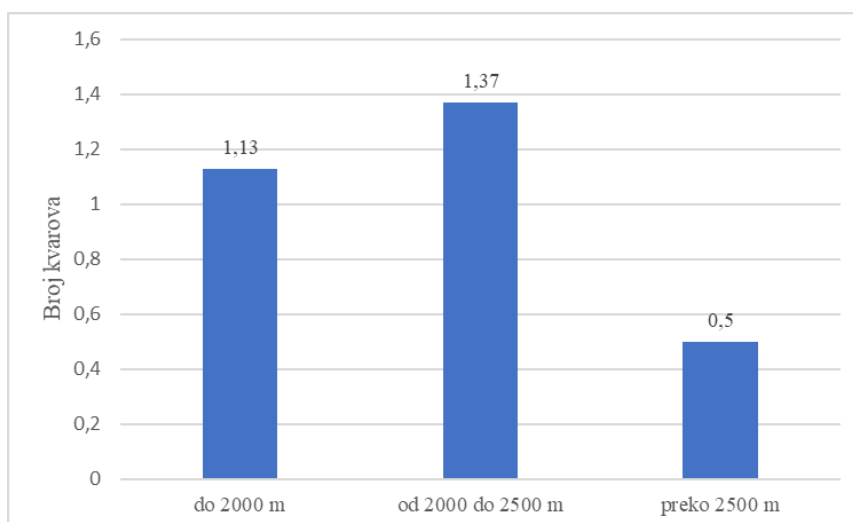
Slika 4-20. Prosječan broj kvarova klipnih šipki po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-20 vidljivo je kako najveći prosječni broj kvarova klipnih šipki, u razmatranom desetogodišnjem periodu, na naftno-plinskom polju X, nastaje u bušotinama dubine preko 2500 m i povećava se s dubinom bušotina. Na Slici 4-21 prikazani su analogni podaci za polirane šipke.



Slika 4-21. Prosječan broj kvarova polirane šipke po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu (INA d.d., 2022)

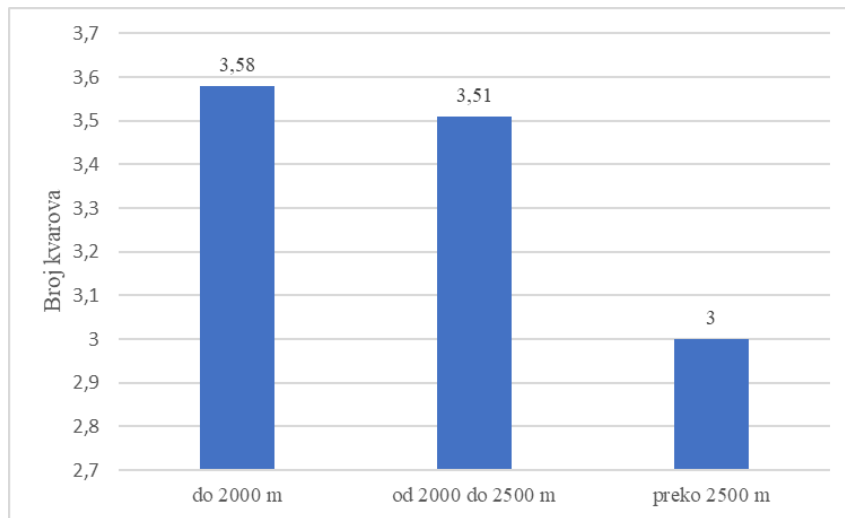
Na Slici 4-21 vidljivo je kako najveći broj kvarova poliranih šipki, na naftno-plinskom polju X, nastaje u bušotinama dubine preko 2500 m. Također je vidljivo kako učestalost pojave kvarova poliranih šipki ne pokazuje velika odstupanja s promjenom dubine bušotina. Kretanje prosječnog broja kvarova dubinske proizvodne opreme uzrokovanih korozijom, za bušotine prikazanih raspona dubina, može se vidjeti na Slici 4-22.



Slika 4-22. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed korozije po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu (INA d.d., 2022)

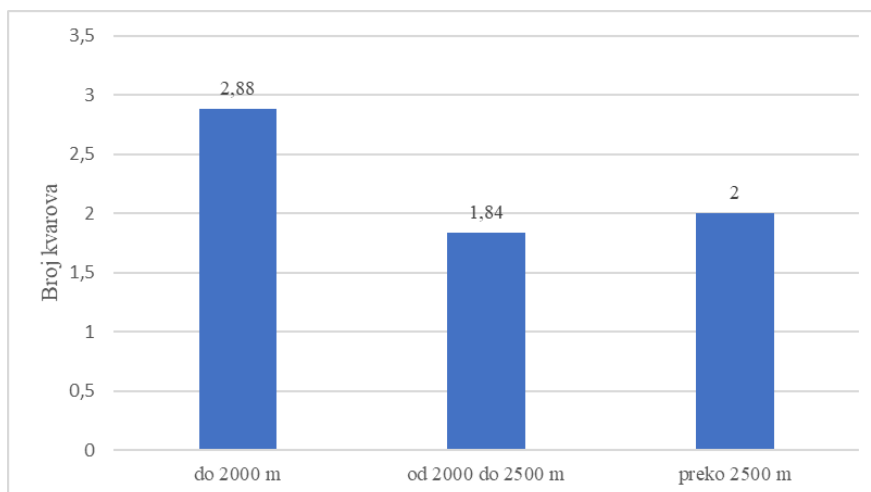
Na Slici 4-22 vidljivo je kako se najveći broj kvarova dubinske opreme uzrokovanih korozijom, na naftno-plinskom polju X, javlja u bušotinama dubine od 2000 do 2500 m i

kako se njihov broj naglo smanjuje pri porastu dubine iznad 2500 m. Na Slici 4-23 prikazano je analogno kretanje za kvarove dubinske proizvodne opreme uzrokovane habanjem.



Slika 4-23. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed habanja po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-23 vidljivo je kako se najveći broj kvarova dubinske opreme uzrokovanih habanjem, na naftno-plinskom polju X, javlja u bušotinama dubine do 2000 m i smanjuje se s povećanjem njihove dubine. Na Slici 4-24 prikazano je analogno kretanje prosječnog broja kvarova vezanih uz ostale njihove uzroke. Spomenuti kvarovi dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka, uglavnom se odnose na probleme s dubinskim klipnim sisaljka te na stvaranje nakupina taloga i kamenca unutar te opreme.



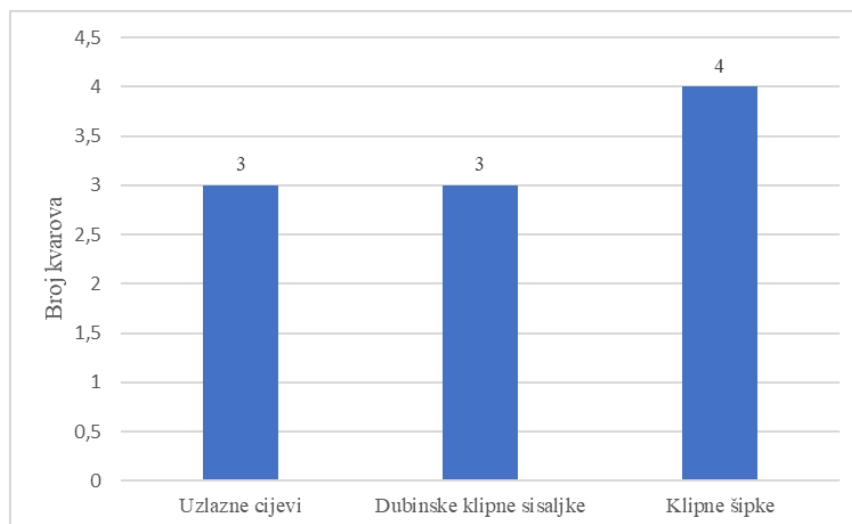
Slika 4-24. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed djelovanja ostalih uzroka po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu dubinu (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-24 vidljivo je kako najveći broj kvarova dubinske opreme tog tipa, na naftno-plinskom polju X, nastaje u bušotinama dubine do 2000 m. Njihova učestalost javljanja pokazuje najmanja odstupanja, s promjenom dubine bušotine, u usporedbi s kvarovima i oštećenjima dubinske proizvodne opreme nastalim uslijed korozije i habanja.

4.2.2. Analiza kvarova u odnosu na konstrukciju kanala bušotina koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke

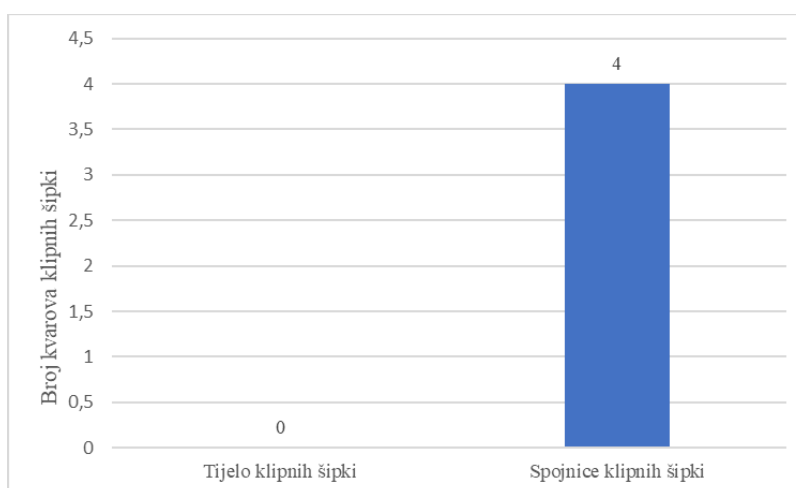
Prema dostupnim podacima, na naftno-plinskom polju X nalaze se 93 bušotine, opremljene dubinskim klipnim sisaljka, na kojima su obavljani remontni radovi u razmatranom desetogodišnjem periodu. Prema konstrukcijskim razlikama njihovih kanala dijele se na horizontalne, koso usmjerene i vertikalne bušotine.

Horizontalne bušotine karakterizira kut otklona veći od 80° i na ovom naftno-plinskom polju postoje dvije takve bušotine s prethodno spomenutim načinom prinudnog podizanja kapljevine. Prosječna duljina kanala tih bušotina iznosi 2243 m, a točka njihovog skretanja prosječno se nalazi na 1200 m dubine. Obje bušotine opremljene su usadnim sisaljka i prosječno je obavljeno pet remontnih radova po jednoj horizontalnoj bušotini. Na Slici 4-25 prikazana je zastupljenost pojedinih komponenata dubinske proizvodne opreme s obzirom na broj registriranih kvarova, za horizontalne bušotine, koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka.



Slika 4-25. Raspodjela zabilježenih kvarova po pojedinim komponentama podzemnog dijela proizvodnog sustava, u horizontalnim bušotinama naftno-plinskog polja X, opremljenog dubinskim klipnim sisaljka (INA d.d., 2022)

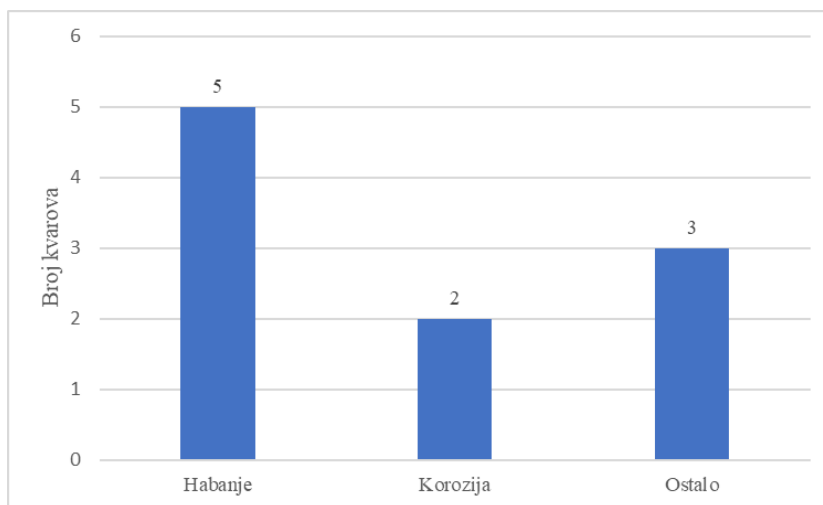
Na Slici 4-25 vidljivo je kako su klipne šipke dio dubinske opreme s najvećim brojem kvarova i zauzimaju udio od 40%, u ukupnom broju kvarova, kod horizontalnih bušotina na naftno-plinskom polju X. Svi prikazani kvarovi opreme nastali su iznad točke skretanja kanala bušotine. Prosječna dubina nastanka kvara je 140 m iznad točke skretanja, a minimalno zabilježena 60 m iznad točke skretanja. Na Slici 4-26 prikazana je raspodjela kvarova klipnih šipki, komponente opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem.



Slika 4-26. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki u horizontalnim bušotinama, na naftno-plinskom polju X, opremljenih dubinskom klipnom sisaljkom, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem (INA d.d., 2022)

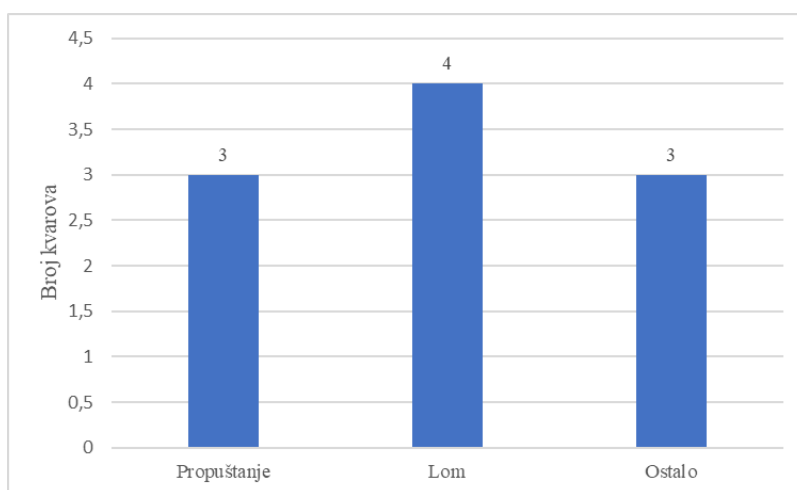
Na Slici 4-26 vidljivo je kako su kvarovi klipnih šipki u horizontalnim bušotinama, opremljenih sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka, na

naftno-plinskom polju X, isključivo vezani uz kvarove spojnika klipnih šipki. Na Slici 4-27 prikazana je zastupljenost uzroka kvarova dubinske proizvodne opreme za horizontalne bušotine.



Slika 4-27. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za horizontalne bušotine, na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

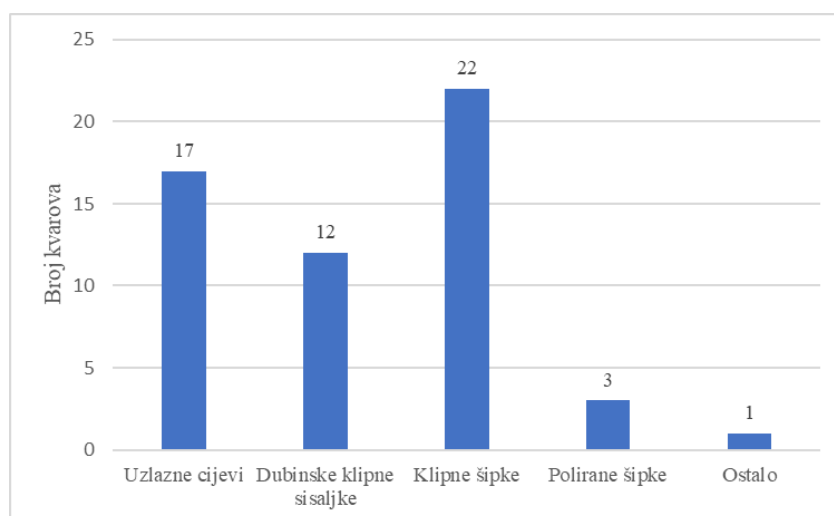
Na Slici 4-27 vidljivo je kako je habanje tj. mehaničko trošenje dominantan uzrok kvarova dubinske opreme s 50% zastupljenosti, u ukupnom broju kvarova, za horizontalne bušotine na naftno-plinskom polju X. Na Slici 4-28 prikazana je raspodjela tipova oštećenja dubinske proizvodne opreme za horizontalne bušotine.



Slika 4-28. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za horizontalne bušotine (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-28, vidljivo je kako je lom najzastupljeniji tip oštećenja koji je doveo do kvara dubinske proizvodne opreme s 40% zastupljenosti, u ukupnom broju kvarova dubinske proizvodne opreme, kod horizontalnih bušotina naftno-plinskog polja X. Svi lomovi na spomenutim horizontalnim bušotinama odnose se na oštećenja klipnih šipki.

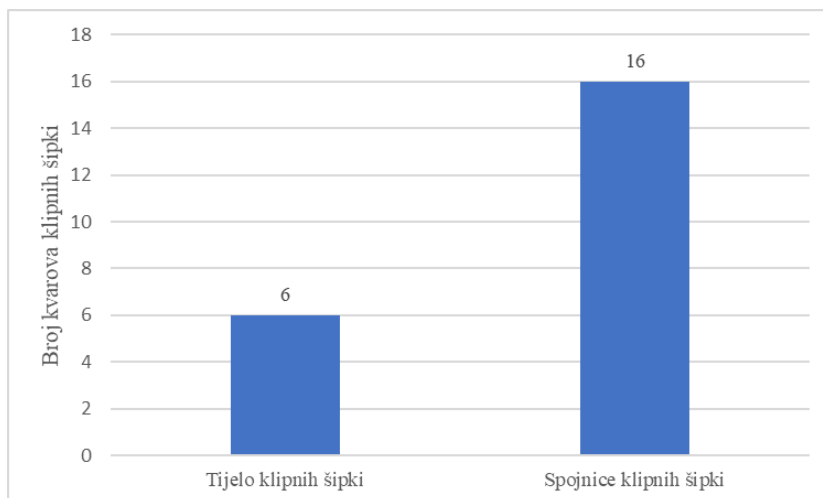
Koso usmjerene bušotine karakterizira kut otklona do 80° i na ovom naftno-plinskom polju postoji šest takvih bušotina na kojima su obavljani remontni radovi, a koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka. Prosječna dubina koso usmjerenih bušotina na naftno-plinskom polju X iznosi 2032 m, a prosječna dubina točke skretanja njihovih kanala iznosi 1104 m. Svih šest bušotina opremljeno je usadnim sisaljka. Prosječna inklinacija šest spomenutih bušotina iznosi 21° i prosječno je obavljeno devet remontnih radova po jednoj koso usmjerenoj bušotini. Na Slici 4-29 prikazana je zastupljenost pojedinih komponenta dubinske proizvodne opreme s obzirom na broj registriranih kvarova, za koso usmjerene bušotine, koje su opremljene sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka.



Slika 4-29. Raspodjela zabilježenih kvarova po pojedinih komponentama podzemnog dijela proizvodnog sustava, u koso usmjerenim bušotinama, naftno-plinskog polja X, opremljenih dubinskim klipnim sisaljka (INA d.d., 2022)

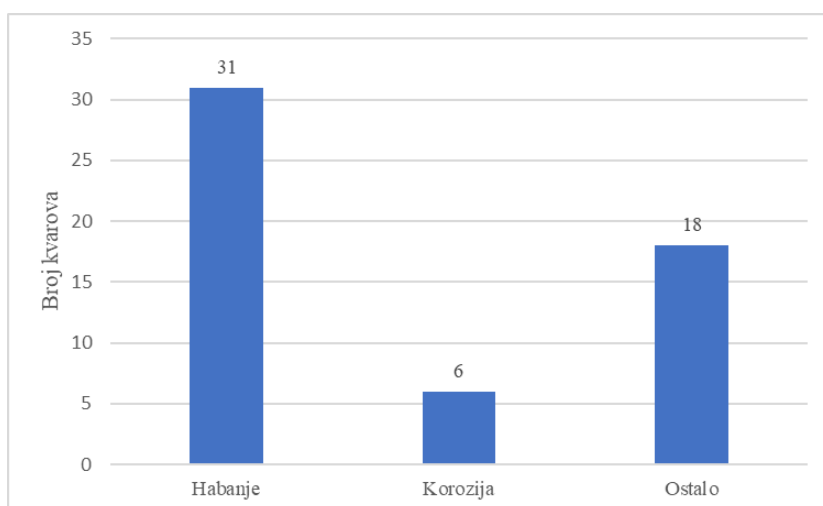
Na Slici 4-29 vidljivo je da su klipne šipke dio dubinske opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova i zauzimaju udio od 40%, u ukupnom broju kvarova, kod koso usmjerenih bušotina na naftno-plinskom polju X. Učestalost prikazanih kvarova podjednako se javlja u područjima iznad i ispod točke skretanja kanala bušotine. Kvarovi iznad točke skretanja prosječno se javljaju 467 m iznad nje, a minimalno zabilježena udaljenost iznosi 25 m iznad

točke skretanja. Kvarovi ispod točke skretanja prosječno se javljaju 343 m ispod nje, a minimalno zabilježena udaljenost iznosi 56 m ispod točke skretanja kanala koso usmjerene bušotine. Na Slici 4-30 prikazana je raspodjela kvarova klipnih šipki, komponente opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova, po dijelu klipne šipke zahvaćenim oštećenjem.



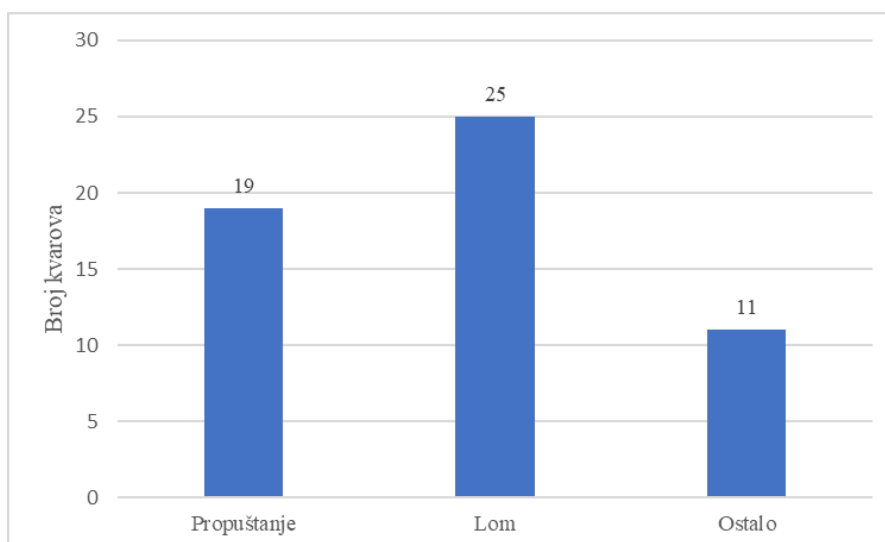
Slika 4-30. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki u koso usmjerenim bušotinama, na naftno-plinskom polju X, opremljenih dubinskom klipnom sisaljkom, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-30 vidljivo je da su spojnice klipnih šipki dio dubinske opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka, s većim brojem kvarova te zauzimaju udio od 73% u ukupnom broju kvarova klipnih šipki u koso usmjerenim bušotinama na naftno-plinskom polju X. Na Slici 4-31 prikazana je zastupljenost uzroka kvarova dubinske proizvodne opreme za koso usmjerene bušotine.



Slika 4-31. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za koso usmjerene bušotine, na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

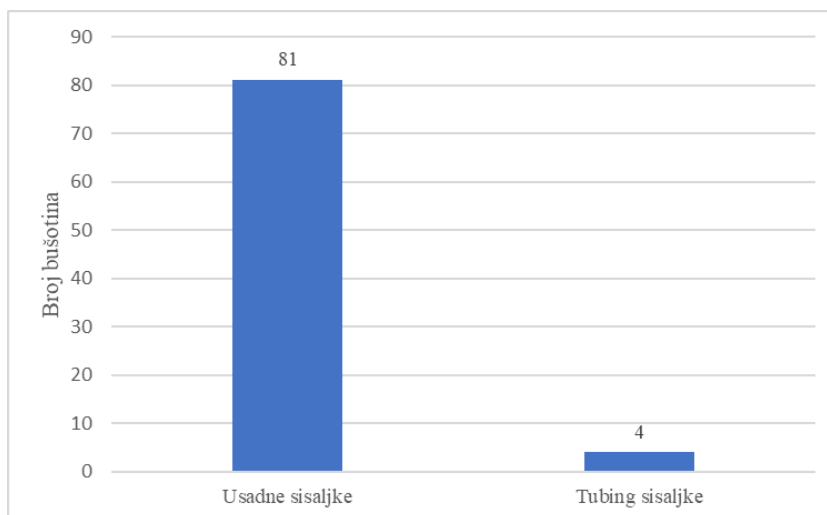
Na Slici 4-31 vidljivo je da je habanje najzastupljeniji uzrok kvarova dubinske opreme s 56% udjela, u ukupnom broju kvarova, kod koso usmjerenih bušotina na naftno-plinskom polju X. Na Slici 4-32 prikazana je zastupljenost tipova oštećenja dubinske proizvodne opreme za koso usmjerene bušotine.



Slika 4-32. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za koso usmjerene bušotine (INA d.d., 2022)

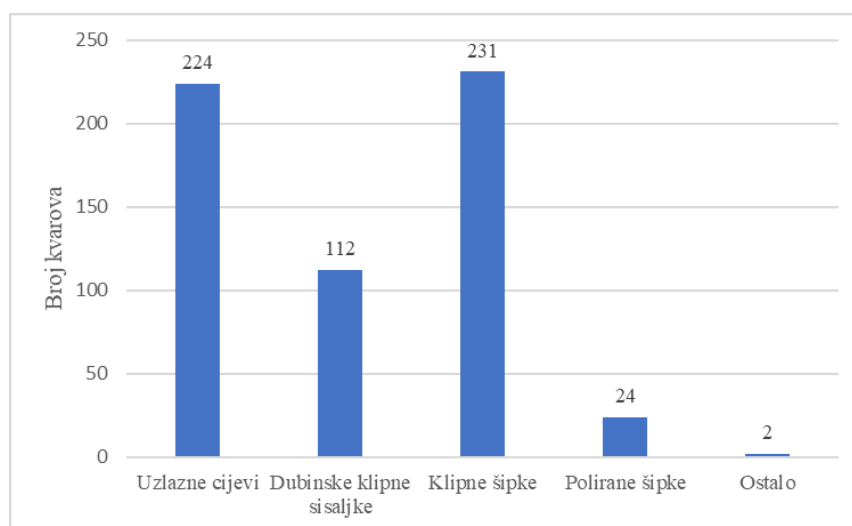
Na Slici 4-32 vidljivo je da je lom najzastupljenija posljedica kvarova dubinske opreme s udjelom od 45%, u ukupnom broju kvarova, za koso usmjerene bušotine na naftno-plinskom polju X koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka.

Vertikalne bušotine karakterizira idealna vertikalnost ili manje neplanirano odstupanje od vertikale nastalo tijekom bušenja. Na naftno-plinskom polju X, remontni radovi obavljani su na 85 vertikalnih bušotina koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka. Od toga, na njih 40 zabilježeni su određeni kutovi otklona kanala od vertikale. Prosječna inklinacija tih bušotina iznosila je 10° , a najčešće zabilježena inklinacija iznosi 5° . Prosječna dubina spomenutih 85 bušotina iznosi 2071 m i prosječno je obavljeno sedam remontnih radova po jednoj vertikalnoj bušotini. Na Slici 4-33 prikazana je zastupljenost određenog tipa dubinske klipne sisaljke, u ukupnom broju vertikalnih bušotina, na kojima se primjenjuje ta metoda prinudnog podizanja kapljevine.



Slika 4-33. Raspodjela ukupnog broja vertikalnih bušotina opremljenih dubinskim klipnim sisaljka, na naftno-plinskom polju X, s obzirom na tip ugrađene sisaljke (INA d.d., 2022)

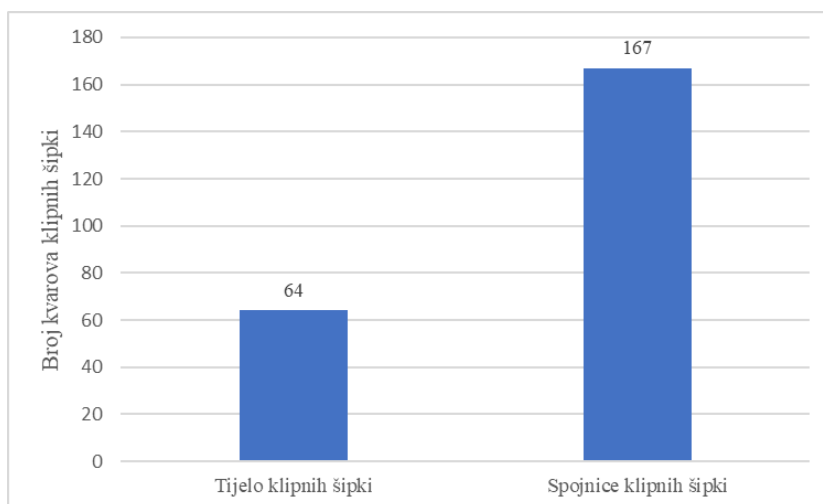
Na Slici 4-33 vidljivo je da su usadne sisaljke, koje se u bušotinu spuštaju na klipnim šipkama, dominantan tip dubinskih klipnih sisaljki s 95% zastupljenosti u vertikalnim bušotinama, na naftno-plinskom polju X, koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka. Na Slici 4-34 prikazana je zastupljenost pojedinih komponenata dubinske proizvodne opreme s obzirom na broj registriranih kvarova, za vertikalne bušotine.



Slika 4-34. Raspodjela zabilježenih kvarova po pojedinim komponentama podzemnog dijela proizvodnog sustava, u vertikalnim bušotinama naftno-plinskog polja X, opremljenog dubinskim klipnim sisaljka (INA d.d., 2022)

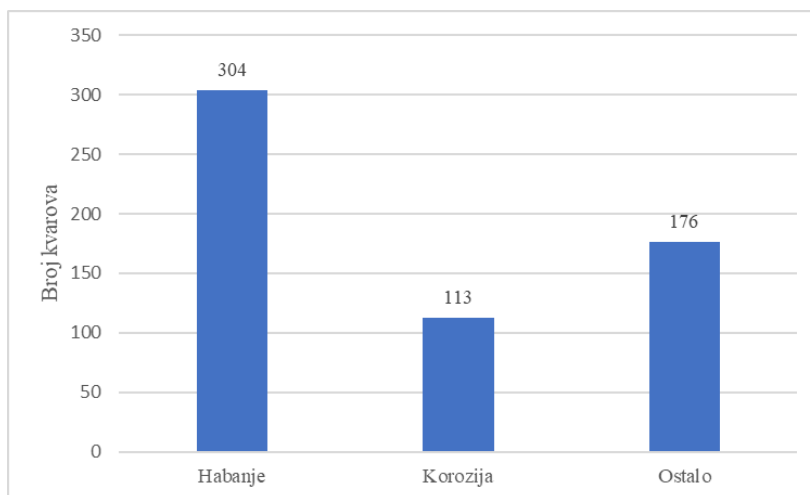
Na Slici 4-34 vidljivo je da su klipne šipke dio dubinske opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova i zauzimaju udio od 39% u ukupnom broju kvarova kod vertikalnih bušotina

na naftno-plinskom polju X. Za 86% bušotina s određenim kutom otklona kanala od vertikale, kvarovi opreme nastaju iznad točke skretanja. Prosječna dubina javljanja kvara je 542 m iznad točke skretanja, a minimalno zabilježena udaljenost je 28 m iznad točke skretanja kanala kod vertikalnih bušotina. Prosječna dubina pojave kvara ispod točke skretanja iznosi 298 m, a minimalno zabilježena udaljenost iznosi 101 m ispod spomenute točke. Na Slici 4-35 prikazana je raspodjela oštećenja klipnih šipki, dijela opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem.



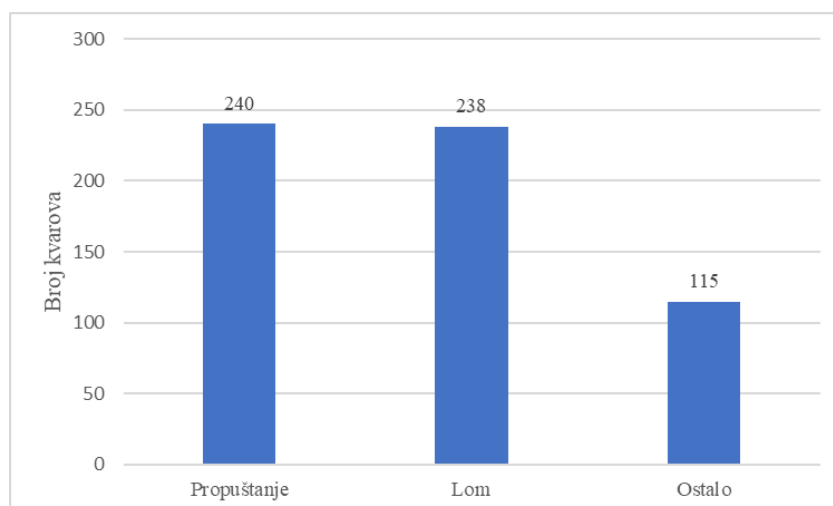
Slika 4-35. Raspodjela ukupno zabilježenih oštećenja klipnih šipki u vertikalnim bušotinama, na naftno-plinskom polju X, opremljenih dubinskom klipnom sisaljkom, s obzirom na dio klipne šipke zahvaćen oštećenjem (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-35 vidljivo je da su spojnice dio klipnih šipki s većim brojem kvarova kod vertikalnih bušotina, opremljenih sustavom za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka, na naftno-plinskom polju X i zauzimaju udio od 72% u ukupnom broju kvarova klipnih šipki. Na Slici 4-36 prikazana je zastupljenost uzroka kvarova dubinske proizvodne opreme za vertikalne bušotine.



Slika 4-36. Uzroci kvarova dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, za vertikalne bušotine, na naftno-plinskom polju X (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-36 vidljivo je da je habanje dominantan uzrok kvarova dubinske opreme s 51% zastupljenosti u ukupnom broju kvarova za vertikalne bušotine na naftno-plinskom polju X. Na Slici 4-37 prikazana je zastupljenost tipova oštećenja dubinske proizvodne opreme za vertikalne bušotine.

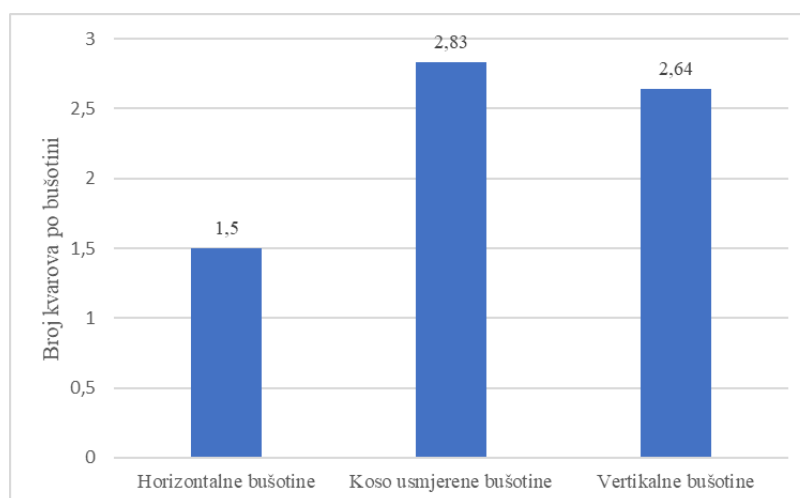


Slika 4-37. Raspodjela različitih tipova oštećenja na komponentama dubinske proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, za vertikalne bušotine (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-37 vidljivo je da je propuštanje najzastupljenija posljedica kvarova dubinske proizvodne opreme s 40% zastupljenosti u ukupnom broju kvarova te opreme, za vertikalne bušotine, na naftno-plinskom polju X.

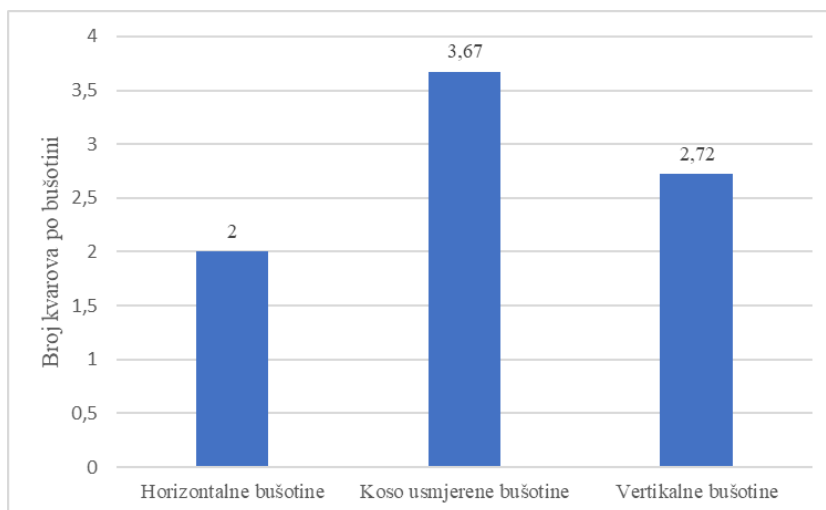
4.2.2.1. Završna analiza kvarova dubinske proizvodne opreme, na bušotinama koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka, s obzirom na konstrukciju kanala bušotine

Nakon prikazanih podataka o remontnim radovima, obavljenim na horizontalnim, koso usmjerenim i vertikalnim bušotinama, opremljenih dubinskim klipnim sisaljka, analogno prethodnoj analizi, dan je kumulativni prikaz po pojedinom promatranom parametru. Na Slici 4-38 prikazan je prosječan broj kvarova uzlaznih cijevi, po bušotini, za bušotine određenog tipa konstrukcije.



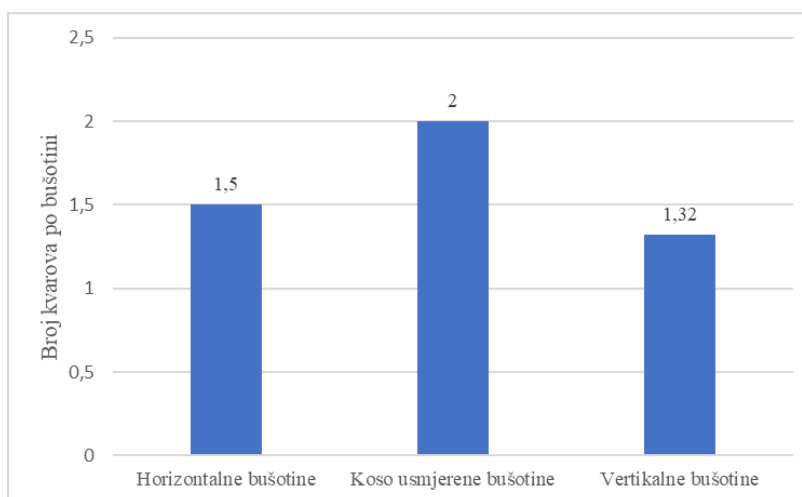
Slika 4-38. Prosječan broj kvarova niza uzlaznih cijevi po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-38 vidljivo je da se najveća učestalost kvarova uzlaznih cijevi, na naftno-plinskom polju X, odnosi na koso usmjerene bušotine, dok se za horizontalne bušotine ona drastično smanjuje. Na Slici 4-39 prikazani su na isti način i podaci za klipne šipke.



Slika 4-39. Prosječan broj kvarova klipnih šipki po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju (INA d.d., 2022)

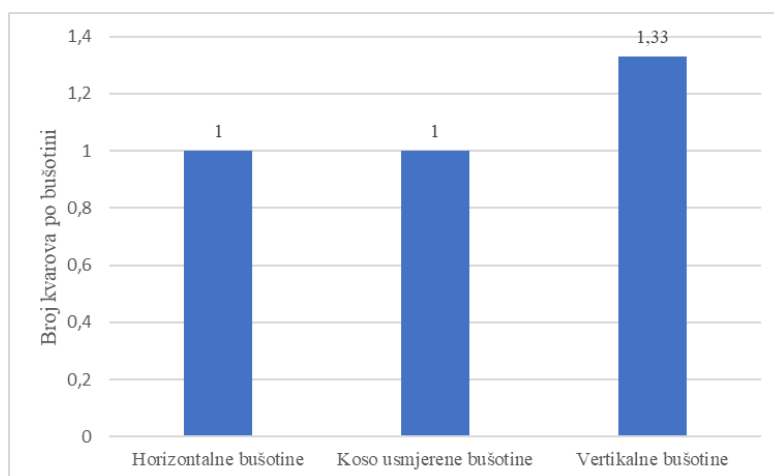
Na Slici 4-39 vidljivo je da se izraženo najveća učestalost kvarova klipnih šipki, na naftno-plinskom polju X, javlja u koso usmjerenim bušotinama. Na Slici 4-40 prikazan je prosječan broj kvarova dubinskih klipnih sisaljki, po bušotini, za bušotine različitih tipova konstrukcije.



Slika 4-40. Prosječan broj kvarova dubinskih klipnih sisaljki po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju (INA d.d., 2022)

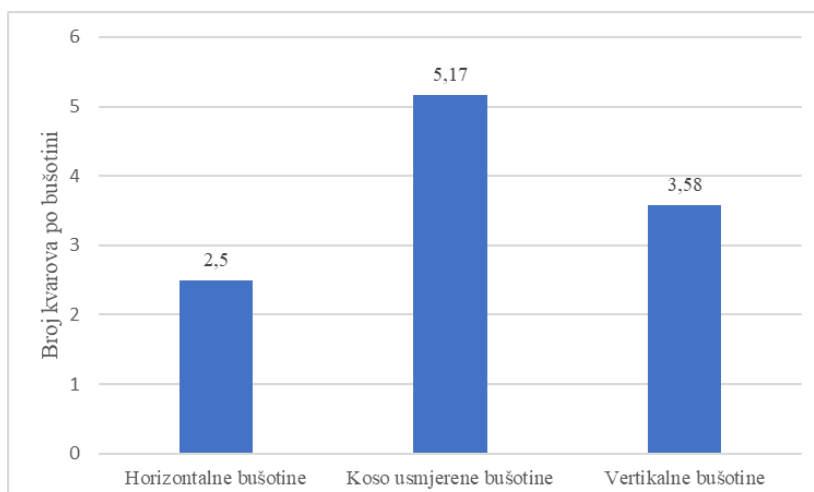
Na Slici 4-40 vidljivo je da se najveća učestalost kvarova dubinskih klipnih sisaljki, na naftno-plinskom polju X, javlja u koso usmjerenim bušotinama. Razlike u učestalosti javljanja kvarova dubinskih klipnih sisaljki, za prikazane tipove konstrukcije bušotina, značajno su ujednačenije u usporedbi s prethodno spomenutim komponentama, dubinske

proizvodne opreme, sustava za prinudno podizanje kapljevine dubinskim klipnim sisaljka. Na Slici 4-41 prikazano je kretanje prosječnog broja kvarova uzrokovanih korozijom, po bušotini, za prikazane tipove konstrukcije bušotina.



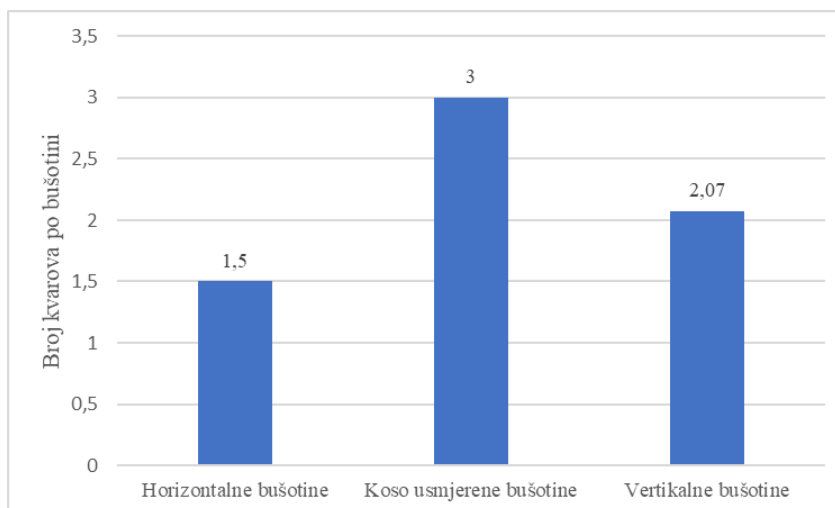
Slika 4-41. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed korozije po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-41 vidljivo je kako je prosječan broj kvarova povezanih s korozijom, na naftno-plinskom polju X, najveći u vertikalnim bušotinama, ali i da trend bilježi zanemariva odstupanja za bušotine različitih tipova konstrukcije. Na Slici 4-42 prikazano je kretanje prosječnog broja kvarova uzrokovanih habanjem, po bušotini, za bušotine određenog tipa konstrukcije.



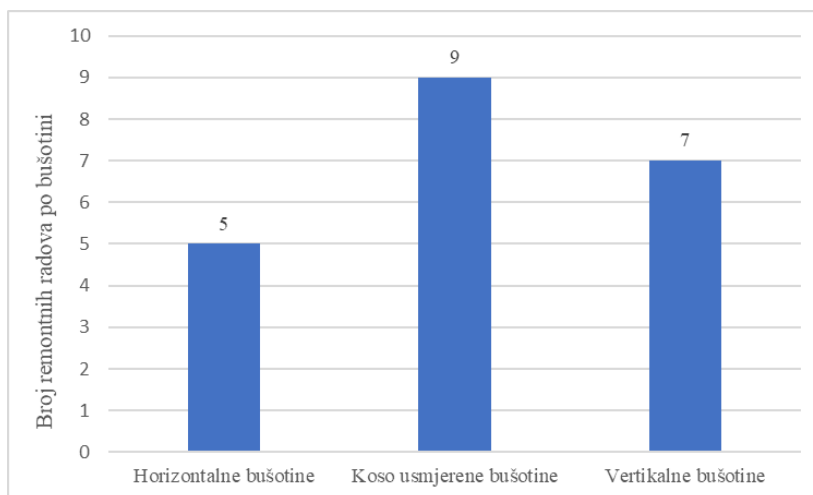
Slika 4-42. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed habanja po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-42 vidljivo je da se uvjerljivo najveći broj kvarova dubinske proizvodne opreme povezanih s habanjem, na naftno-plinskom polju X, javlja u koso usmjerenim bušotinama. Učestalost javljanja kvarova tog tipa izraženo je veća kod koso usmjerenih bušotina u usporedbi s bušotinama ostalih tipova konstrukcije. Na Slici 4-43 prikazano je kretanje prosječnog broja kvarova dubinske proizvodne opreme, po bušotini, uzrokovanih djelovanjem ostalih uzroka kvarova, za prikazane tipove konstrukcije bušotina.



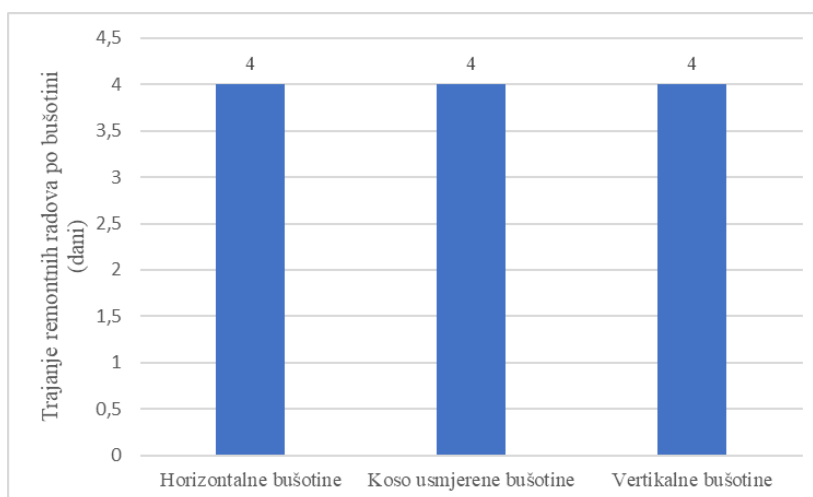
Slika 4-43. Prosječan broj kvarova nastalih uslijed djelovanja ostalih uzroka kvarova po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, s obzirom na njenu konstrukciju (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-43 vidljivo je kako se najveći broj kvarova dubinske opreme nastalih uslijed djelovanja ostalih uzroka kvarova, na naftno-plinskom polju X, javlja u koso usmjerenim bušotinama. Učestalost javljanja kvarova tog tipa dvostruko je veća kod koso usmjerenih bušotina u usporedbi s horizontalnim bušotinama na istom naftno-plinskom polju. Na Slici 4-44 prikazana je usporedba prosječnog broja remontnih radova obavljenih po bušotini za spomenute tipove konstrukcije bušotina.



Slika 4-44. Prosječan broj remontnih radova po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, određenog tipa konstrukcije (INA d.d., 2022)

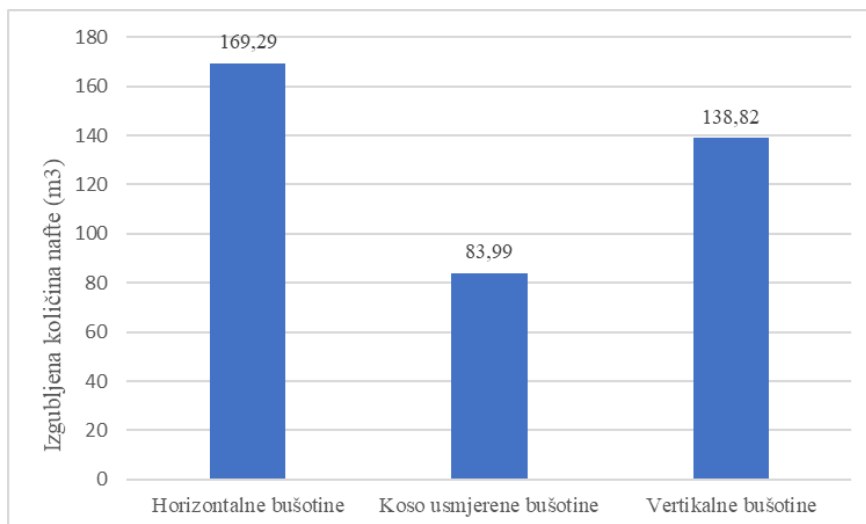
Na Slici 4-44 vidljivo je kako se uvjerljivo najveći broj remontnih radova po bušotini, na naftno-plinskom polju X, provodio u koso usmjerenim bušotinama. Na Slici 4-45 prikazano je prosječno trajanje jednog remontnog rada, po bušotini, za bušotine različitih tipova konstrukcije.



Slika 4-45. Prosječno vrijeme trajanja remontnog rada po bušotini, opremljenoj sustavom za prinudno podizanje kapljevine pomoću dubinske klipne sisaljke, određenog tipa konstrukcije (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-45 vidljivo je jednako prosječno vrijeme trajanja remontnih radova po bušotini za sva tri tipa konstrukcije bušotina. Vrijednosti su jednake usprkos razlikama u prirodi kvarova, spomenutoj konstrukciji kanala bušotine i učestalosti provedbe remontnih radova. Na Slici 4-46 prikazana je prosječno izgubljena količina nafte, u vremenskom periodu koji

obuhvaća prekid proizvodnje, čekanje na remontni rad i njegovu provedbu, kod bušotina opremljenih sustavom za prinudno podizanje kapljevine, dubinskim klipnim sisaljka, na naftno-plinskom polju X.



Slika 4-46. Prosječno neproizvedena („izgubljena“) količina nafte, zbog potrebe provedbe remontnog rada, za bušotine opremljene dubinskim klipnim sisaljka, određenog tipa konstrukcije (INA d.d., 2022)

Na Slici 4-46 vidljivo je kako se uvjerljivo najmanja količina nafte, na naftno-plinskom polju X, gubi u koso usmjerenim bušotinama usprkos najvećoj zabilježenoj učestalosti javljanja kvarova i oštećenja te provedbe remontnih radova.

5. ZAKLJUČAK

Primjena dubinskih klipnih sisaljki najstarija je i najčešće korištena metoda prinudnog podizanja kapljevine i koristi se u bušotinama koje su prestale proizvoditi eruptivno. Glavna prednost njihove primjene niski su kapitalni troškovi instalacije dubinske i površinske opreme. Najvažniji nedostaci odnose se na potrebu za redovitim održavanjem dubinske opreme i provedbu remontnih radova povezanih s kvarovima i oštećenjima spomenute opreme. Cijeli sustav funkcionira na način da se energija i pogon s površine prenose putem površinskog sustava pogona i niza klipnih šipki do dubinske klipne sisaljke. Sama sisaljka radi ciklički, pri čemu se izmjenjuju faze kretanja klipa prema gore i prema dolje, čime se ležišni fluid usisava i iznosi na površinu.

Tijekom rada dubinskih klipnih sisaljki, zbog djelovanja različitih naprezanja i prisutnih utjecaja korozivnosti ležišnog fluida te tlaka i temperature u bušotinskim uvjetima, česta su oštećenja i kvarovi dubinske opreme. Podaci iz prakse, pokazali su da su klipne šipke i uzlazne cijevi dijelovi dubinske opreme najizloženiji oštećenjima i kvarovima. Klipne šipke najviše se oštećuju u području spojnice zbog mehaničkog trošenja nastalog pri kontaktu s unutarnjom stijenkom niza uzlaznih cijevi. Osim toga, oštećenja nastaju zbog loma tijela šipki, prihvata ili nakupljanja taloga ili kamenca. Uzlazne cijevi najviše se oštećuju u području tijela cijevi, zbog spomenutog mehaničkog trošenja, uslijed čega dolazi do njihovog propuštanja. Osim toga, oštećenja nastaju zbog utjecaja korozije ili nakupljanja kamenca i parafina čime se smanjuje njihova prolaznost.

Na primjeru hrvatskog naftno-plinskog polja X, utvrđeno je kako je habanje najzastupljeniji uzrok kvarova dubinske opreme u bušotinama koje su opremljene dubinskim klipnim sisaljka. Rezultati analize bušotina po dubini, pokazali su da su uzlazne cijevi komponenta opreme s najvećim zabilježenim brojem kvarova, za dubine do 2000 m, a s povećanjem dubine bušotina naglo raste broj kvarova klipnih šipki. Rezultati analize bušotina po konstrukciji njihovih kanala, pokazali su da su koso usmjerene bušotine tip bušotina s najvećim zabilježenim brojem kvarova i imaju najveći prosječan broj remontnih radova po bušotini. Istovremeno, koso usmjerene bušotine imaju najmanju prosječno neproizvedenu („izgublenu“) količinu nafte uslijed prekida proizvodnje nužnog za sanaciju kvarova.

Metode primjenjivane za smanjenje kvarova dubinske opreme uključuju postavljanje centralizera, vodilica i rotatora klipnih šipki te rotatora niza uzlaznih cijevi. Nadalje, mijenja se položaj spojnice klipnih šipki u bušotini zajedno s kombinacijom šipki korištenoj u

njihovom kombiniranom nizu. Po potrebi se povećava doziranje inhibitora kamenca i parafina, a bušotina se pri prekidu proizvodnje i promjeni opreme dodatno ispiri. Sve spomenute metode samo djelomično otklanjaju utvrđene probleme. Usprkos velikom broju dostupnih podataka iz prakse i razvoju novih tehnoloških rješenja, probleme trenja i korozije nemoguće je u potpunosti ukloniti. Primjenom spomenutih i drugih metoda u budućnosti, cilj je te procese značajno usporiti.

6. LITERATURA

1. ČIKEŠ, M., ZELIĆ, M., 2006. Tehnologija proizvodnje nafte dubinskim crpkama. Zagreb: INA Industrija nafte d.d.
2. GAURINA-MEĐIMUREC, N., SIMON, K., PAŠIĆ, B., MIJIĆ, P., MEDVED, I., HRGAREK, M., RUŽIĆ, I., ZARIĆ RAK, I., MAĐERIĆ, A., 2018. Elaborat o zaštiti okoliša za zahvat na eksploatacijskom polju ugljikovodika X. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet
3. GUO, B., LIU, X., TAN, X., 2017. Petroleum Production Engineering, 2. izdanje. Elsevier
4. INA d.d., 2022. Interna analiza remontnih radova na eksploatacijskom polju ugljikovodika X, provedenih u periodu 2011-2022. Sektor za održavanje, Zagreb
5. JURIĆ, I., 2018. Geološka građa i evolucija konvencionalnih klastičnih ležišta ugljikovodika gornjeg miocena Savske depresije. Završni rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet
6. HART, P. E., 2003. Manual Tubing Rotation Reduces Rod Pumping Failures by 76 %, SPE 80886, SPE Production and Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, U.S.A, March 2003, str. 1-3
7. HEINZE, L. R., GE, Z., RAHMAN, M. M., 1999. Sucker-Rod-Pumping Failures in the Permian Basin, SPE 56661, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, U.S.A., October 1999, str. 1-2
8. HUA, L., XUNMING, L., 2014. Analysis on failure mechanism of sucker rod pumping system, Advanced Materials Research Vol 875-877 (2014), str. 1-6
9. LANGBAUER, C., PERMANSCHLAGER, T., SIRGHII, V., PAVLOV, M., HOFSTATTER, H., 2018. Sucker Rod String Rod Guide Service Life Estimation, SPE-192546-MS, SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, Astana, Kazakhstan, Novemeber 2018, str. 1-2
10. MATANOVIĆ, D., MOSLAVAC, B., 2011. Opremanje i održavanje bušotina. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet
11. MCCASLIN, K. P., 1988. A Study of the Methods for Preventing Rod-Wear Tubing Leaks in Sucker-Rod Pumping Wells, SPE Production Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, U.S.A., 1987, str. 1-3
12. PAPA VINASAM, S., 2014. Corrosion Control in the Oil and Gas Industry. Elsevier
13. TAKACS, G., 2015. Sucker-Rod Pumping Handbook. Elsevier
14. VULIN, D., 2021. Interna skripta iz kolegija Projektiranje ležišta ugljikovodika-neobjavljeno. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

WEB:

15. BECK, T. L., ANDERSON, R. G., PETERSON, R. G., MACDONALD, M. A., 2006.
Linear rod pump apparatus and method.
[URL: https://patents.google.com/patent/US8152492/](https://patents.google.com/patent/US8152492/) (13.10.2022)
16. Hrvatska energetska tranzicija, 2020. URL:
<https://het.hr/wpcontent/uploads/2020/06/Geotermalna-toplina-je-nova-nafta.pdf>
(18.10.2022)
17. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020. URL: <https://mingor.gov.hr/ominstarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-energetiku-1999/naftno-rudarstvo-i-geotermalne-vode-za-energetske-svrhe/5403> (16.10.2022)
18. Petrowiki, 2020. URL: https://petrowiki.spe.org/Sucker_rods/ (7.11.2022)
19. Phillips Energy Services Limited, 2015. URL:
<https://www.facebook.com/people/Phillips-Energy-ServicesLimited/100083675735963>
(4.12.2022)
20. Sonoecho, 2018. URL: <https://www.sonoecho.com/en/products/dynamometer-dyn17.php> (15.10.2022)

IZJAVA

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



Ivan Čagalj



KLASA: 602-01/22-01/184
URBROJ: 251-70-12-22-2
U Zagrebu, 05.01.2023.

Ivan Čagalj, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/184, URBROJ: 251-70-12-22-1 od 03.10.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

UZROCI KVAROVA DUBINSKE OPREME NA EKSPLOATACIJSKIM BUŠOTINAMA KOJE SU OPREMLJENE DUBINSKIM KLIPNIM SISALJKAMA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)