Odabir duljine sekcija klipnih šipki za podizanje kapljevine dubinskom sisaljkom metodom "odozdo prema gore"

Kovačević, Toni

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:169:080539

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

ODABIR DULJINE SEKCIJA KLIPNIH ŠIPKI ZA PODIZANJE KAPLJEVINE DUBINSKOM SISALJKOM METODOM „ODOZDO PREMA GORE“

Završni rad

Toni Kovačević

N4224

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

ODABIR DULJINE SEKCIJA KLIPNIH ŠIPKI ZA PODIZANJE KAPLJEVINE DUBINKOM SISALJKOM METODOM „ODOZDO PREMA GORE“

TONI KOVAČEVIĆ

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Dubinske sisaljke s klipnim šipkama jedna je od najčešćih metoda mehaničkog podizanja kapljevine. Pored odabira optimalnog kapaciteta sisaljke nužno je ispravno odabrati kombinaciju i duljine sekcija klipnih šipki budući da su one izložene stalnom opterećenju i utjecaju fluida te često dolazi do njihovog puknuća ili do nehermetičnosti proizvodnog niza (tubinga). Tema završnog rada je odabir sekcija klipnih šipki po tzv. metodi „odozdo prema gore“ i usporedba s preporukama standarda API RP 11L.

Ključne riječi: dubinske sisaljke, kombinacija klipnih šipki, API RP 11L

Završni rad sadrži: 25 stranica, 8 slika, 4 tablice

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF-a

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF-a

2. Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNF-a

3. Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a

Datum obrane: 12.6.2020., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA…….I

POPIS TABLICA……...I

POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....II

1. UVOD 3

2. SUSTAV PROIZVODNJE DUBINSKIH SISALJKI S KLIPNIM ŠIPKAMA ... 4

2.1. Sustav podizanja 4

2.2. Njihalica i vrste dubinskih sisaljki i princip rada 7

2.3. Faze crpljenja dubinskim sisaljkama 11

2.4. Mjerenje i analiza rada dubinskih pumpi 12

2.5. Odabir klipnih šipki 13

2.6. Kombinacije niza klipnih šipki 15

3. PRORAČUN DULJINA SEKCIJA KLIPNIH ŠIPKI PO METODI „ODOZDO PREMA GORE“ 20

4. ZAKLJUČAK 24

5. LITERATURA 25

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Shematski prikaz nadzemne i podzemne opreme proizvodne bušotine opremljene dubinskom sisaljkom s klipnim šipkama……6

Slika 2-2. Njihalica s prikazanim dijelovima…….……7

Slika 2-3. Hod klipa prema dolje i gore kod tubing sisaljki……..…….9

Slika 2-4. Hod klipa prema dolje i gore kod usadnih sisaljki……..……..…...10

Slika 2-5. „Casing“ sisaljka i njeni dijelovi…….……..…...11

Slika 2-6. Faze crpljenja kapljevine……..……12

Slika 2-7. Dinamogram opterećenja klipnih šipki……..……...13

Slika 2-8. Modificirani Goodmanov dijagram……..…….....16

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Osnovna svojstva klipnih šipki ....……..……14

Tablica 2-2. Tehnička svojstva klipnih šipki .……. 15

Tablica 2-3. Udjeli duljina kombiniranih nizova klipnih šipki …….……19

Tablica 3-1. Usporedni pregled rezultata……...……..23

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

A_p – površina poprečnog presjeka klipa, m^2

API (engl. *American Petroleum Institute*) – američki naftni institut

A_r – površina poprečnog presjeka klipne šipke, m^2

b – koeficijent uranjanja (uzgona)

d_p – promjer klipa, m

F – faktor dinamičnosti

g –ubrzanje Zemljine sile teže (m/s^2)

L_p – dubina ugradnje sisaljke, m

l_r – duljina sekcije klipnih šipki, m

N – broj hodova u minuti, min^{-1}

S_A – dopušteno naprezanje klipnih šipki, Pa

S – duljina hoda glatke šipke, m

$q_r^{'}$ – jedinična težina klipnih šipki, N/m

W_f – opterećenje fluida u bušotini, N

ρ_L – gustoća kapljevine, kg/m^3

ρ_r – gustoća čelika, kg/m^3

1. UVOD

Mehaničke metode podizanja kapljevine primjenjuju se kada ležišna energija nije dovoljna za eruptivni rad tj. za iznošenje kapljevine na ušće i za savladavanje otpora pri protjecanju kroz proizvodni niz (tubing). Također, primjenjuju se kada se eruptivnim načinom proizvodi manje količine kapljevine od planirane. Određivanje optimalne proizvodnje bušotine predstavlja usklađivanje proizvodnih mogućnosti ležišta s operativnim parametrima primijenjene mehaničke metode proizvodnje. To znači da će se optimalna proizvodnja bušotine postići kada se izbalansira količina fluida koja pritječe u bušotinu količinom fluida koju primijenjena mehanička metoda može pridobiti iz bušotine. Cilj mehaničkih metoda je podignuti kapljevinu iz bušotine, kako bi se ostvarila odgovarajuća depresija na ležište (Brkić, 2018). Dvije su skupine mehaničkih metoda podizanja:

- plinsko podizanje (plinski lift ili gas lift) i
- proizvodnja dubinskim sisaljkama (sisaljke s klipnim šipkama, vijčasta sisaljka, centrifugalna sisaljka, hidraulička sisaljka, mlazna sisaljka itd.).

Mehanički sustav proizvodnje dubinskim sisaljkama s klipnim šipkama najstariji je sustav podizanja fluida iz bušotina na površinu, a ujedno je i najrašireniji u praksi u svijetu (Brkić, 2018). Osnovni princip djelovanja dubinske sisaljke temelji se na prijenosu pogonske energije s površine do razine uranjanja dubinske sisaljke mehaničkim načinom, tj. klipnim šipkama. Dubinske sisaljke često ne rade na optimalan način što uzrokuje povećano trošenje opreme i smanjivanje proizvodnje. To se odnosi prvenstveno na djelomično punjenje cilindra što ovisi o izdašnosti ležišta i postavljenom ciklusu rada.

U završnom radu definirat će se proračunom odabir kombinacija klipnih šipki po metodi „odozdo prema gore“ kako bi se smanjio broj njihovog puknuća i nehermetičnosti proizvodnog niza, prvenstveno zbog težine samog niza. Metoda se temelji na izračunu maksimalnog naprezanja vršne šipke sekcije, i to od sekcije s najmanjim promjerom koji je spojen na klip dubinske sisaljke. Izračun je zatim uspoređen s tablicom u kojoj su prikazani pojedini postotni udjeli promjera šipki koji preporuča standard API RP 11L za zadani promjer klipa. Metoda kombinacija šipki na temelju jednakog maksimalnog naprezanja najgornjih šipki u sekciji nije uzeta u obzir u ovom radu jer je najmanja realnost pojave istih naprezanja najgornjih šipki sekcija.

2. SUSTAV PROIZVODNJE DUBINSKIH SISALJKI S KLIPNIM ŠIPKAMA

U ovom poglavlju bit će opisan sustav podizanja kapljevine korištenjem dubinskih sisaljki na klipnim šipkama, mehanizam rada, nadzemna i proizvodna oprema s naglaskom na načinu odabira kombinacije klipnih šipki.

2.1. Sustav podizanja

Dubinske sisaljke s klipnim šipkama mogu se primijeniti u naftnim bušotinama dubine od 500 do 2500 m različitog davanja (Čikeš i Zelić, 2006).

Glavni dijelovi podzemne proizvodne opreme kod naftnih bušotina opremljenih dubinskom sisaljkom s klipnim šipkama su:

- dubinska sisaljka,
- klipne šipke,
- glatka šipka,
- dubinski odvajač plina ili plinsko sidro.

.

Glavni dijelovi nadzemne proizvodne opreme kod naftnih bušotina opremljenih dubinskom sisaljkom s klipnim šipkama su:

- njihalica i
- pogonski motor.

Dubinske sisaljke s klipnim šipkama pogodne su za bušotine s manjim plinskim faktorom i s konsolidiranim proizvodnim slojevima. To znači da ako je povećani plinski faktor otopljenog plina u kapljevini, nužno je ugraditi dubinski odvajač plina kako bi se plin izdvojio jer šteti radu sisaljke. Pijesak također može uništiti abrazijom cilindar i ventile sisaljke. Osnovni princip djelovanja dubinske sisaljke temelji se na prijenosu pogonske energije s površine do razine uranjanja dubinske sisaljke mehaničkim načinom, tj. klipnim šipkama.

Pri procesu crpljenja nafte iz bušotina dubinskim sisaljkama s klipnim šipkama na njene podzemne dijelove djeluju različite sile (Čikeš i Zelić, 2006):

- sila uzgona, koja djeluje na klipne šipke i umanjuje im težinu;

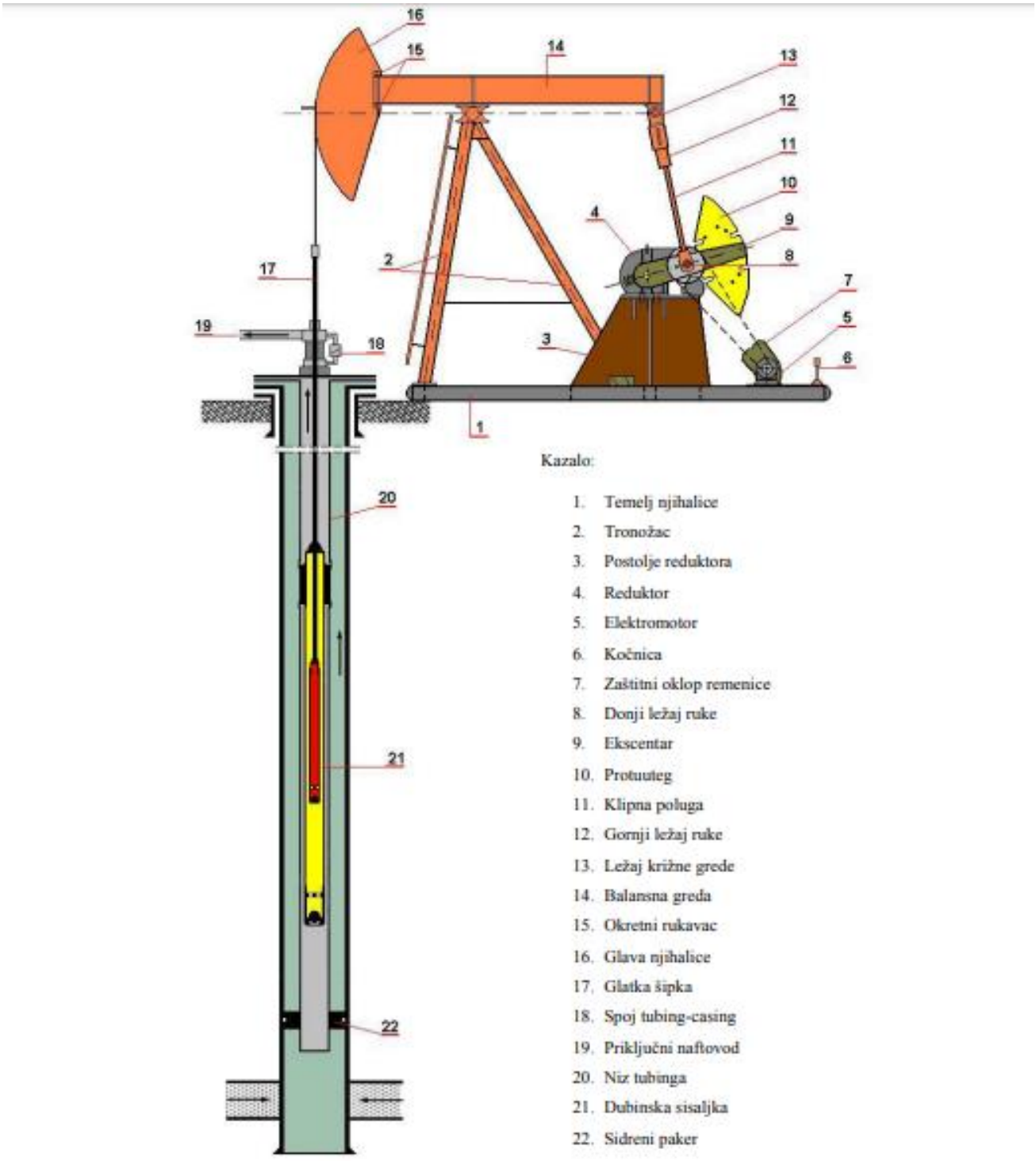
- sila uslijed težine klipnih šipki, uzlaznih cijevi (tubinga) i stupca kapljevine;
- sila elastičnosti materijala klipnih šipki i stupca kapljevine;
- inercijske sile pri kretanju mase klipnih šipki, klipa i stupca kapljevine.

Do trenja u sustavu dolazi:

- dodirom klipnih šipki o stjenke uzlaznih cijevi te trenje klipa o stjenke cilindra dubinske sisaljke stoga se uobičajeno ugrađuju centralizeri na tijela pojedinih klipnih šipki;
- između klipnih šipki i kapljevine;
- u materijalu klipnih šipki i uzlaznih cijevi koje se javlja pri njihovoj deformaciji uslijed naprezanja (nužno ugraditi sidreni paker).

Veličina navedenih sila ovisi o uvjetima crpljenja kapljevine iz ležišta te o režimu rada sustava dubinskih sisaljki.

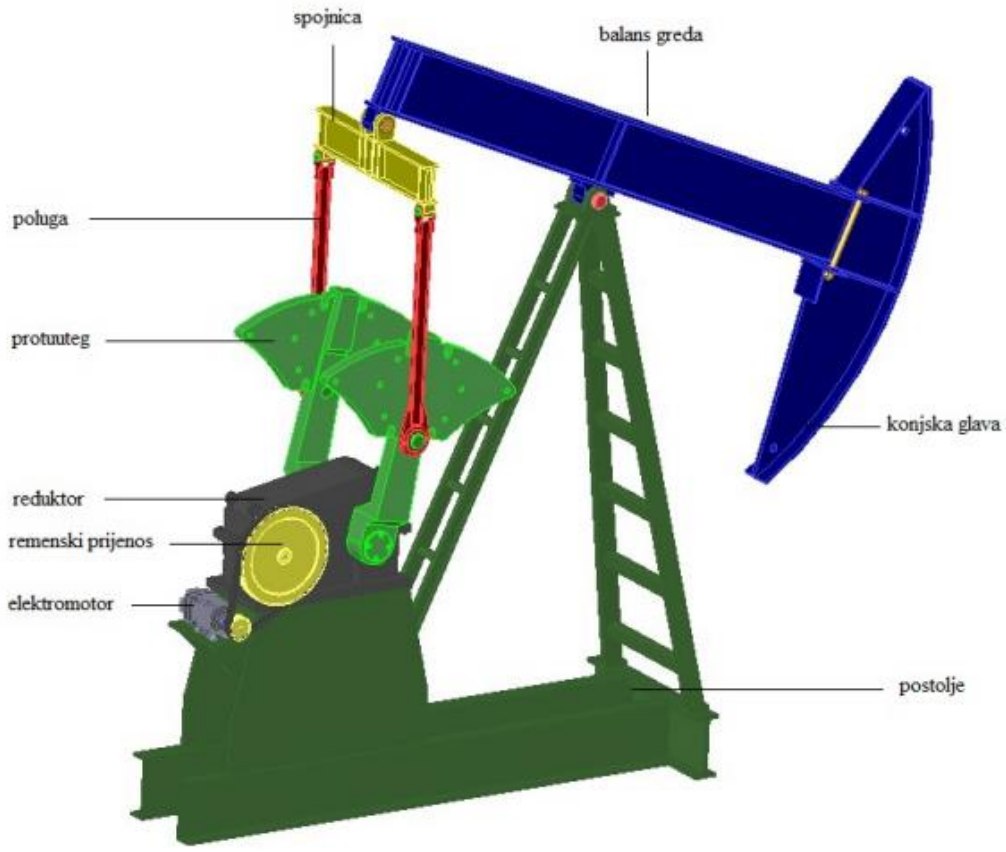
Na slici 2-1. prikazan je kompletni sustav (podzemni i površinski) sustav podizanja kapljevine opremljen sisaljkama s klipnim šipkama.



Slika 2-1. Shematski prikaz nadzemne i podzemne opreme proizvodne bušotine opremljene dubinskom sisaljkom s klipnim šipkama (Brkić, 2018)

2.2. Njihalica i vrste dubinskih sisaljki i princip rada

Njihalica, prikazana na slici 2-2, je složeni mehanizam konstrukcije koja omogućava prijenos energije od pogonskog motora s rotacijskim gibanjem na klipne šipke s translacijskim (recipročnim) kretanjem. Za pogon njihalice odnosno dubinskih sisaljki s klipnim šipkama koriste se trofazni asinkroni kavezni elektromotori, a još se mogu primjenjivati diesel motori i plinski motori. Snaga motora ovisi o količini fluida koju se želi pridobiti te o dubini na kojoj se sam fluid nalazi. Promjenom remenice na elektromotoru može se mijenjati broj hodova klipa, a pomicanjem hvatišta ruke na ekscentru mijenja se duljina hoda. Glavni nedostaci elektromotora su velika potrošnja električne energije pri proizvodnji velikih količina fluida te relativno visoke cijene instalacija.



Slika 2-2. Njihalica s prikazanim dijelovima (Brkić, 2018)

Najvažniji elementi mehanizma su:

- postolje koje mora izdržati barem dvostruko veće opterećenje od zadanog;
- balansna greda;
- glava njihalice koja je povezana s glatkom šipkom, užetom, a njena zakrivljenost u obliku polumjeseca omogućava okomito gibanje glatke šipke;
- utezi (protuutezi), kojima se postiže adekvatno uravnoteženje njihalice kako bi se smanjila velika razlika opterećenja na pogonski motor,
- poluga ili ruka njihalice, koja povezuje i pretvara kružno gibanje u translacijsko gibanje glatke šipke i pomoću nje se može regulirati duljina hoda glatke šipke;
- reduktor, koji služi za pretvaranje relativno velikog broj okretaja pogonskog motora i relativno malog zakretnog momenta u relativno mali broj okretaja i relativno veliki zakretni moment. Prijenos (transmisija) od motora na reduktor omogućava se klinastim remenima od remenice motora do remenice reduktora. Na ovaj način se regulira broj hodova u minuti.

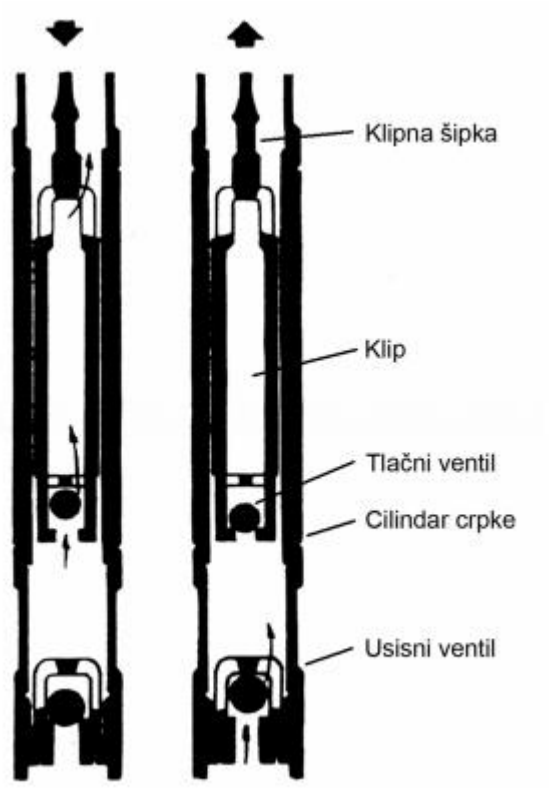
Glavni dijelovi dubinske sisaljke su (Guo et al., 2007):

1. cilindar,
2. klip,
3. usisni ventil koji se ugrađuje na donjem kraju cilindra i
4. tlačni ventil koji se ugrađuje u donjem kraju klipa.

Razlikuju se tri vrste sisaljki:

1. tubing sisaljke,
2. usadne sisaljke i
3. „casing“ sisaljke.

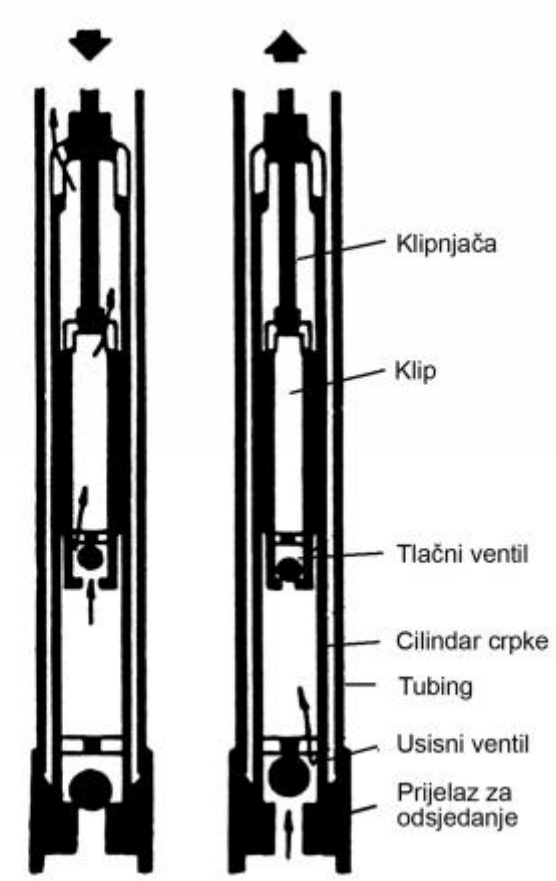
Na slici 2-3. prikazane su tubing sisaljke te njihovi dijelovi, raspored i način djelovanja kod hoda klipa prema dolje i gore.



Slika 2-3. Hod klipa prema dolje i gore kod tubing sisaljki (Zelić i Čikeš, 2006)

Tubing sisaljke, se ugrađuju u bušotinu i vade zajedno s tubingom, dok se klip s tlačnim ventilom spušta i vadi klipnim šipkama. To znači za zamjenu dubinske sisaljke mora se izvaditi kompletna proizvodna oprema.

Na slici 2-4. prikazane su usadne sisaljke te njihovi dijelovi, raspored i način djelovanja kod hoda klipa prema dolje i gore



Slika 2-4. Hod klipa prema dolje i gore kod usadnih sisaljki (Zelić i Čikeš, 2006)

Usadne sisaljke se zajedno s klipom, s tlačnim i usisnim ventilom spuštaju i vade na klipnim šipkama, pri čemu odsjedaju u sjedište. Njihova prednost u odnosu na tubing sisaljke su brža zamjena, ali imaju manji volumen cilindra zbog toga što se ona smješta unutar tubinga.

Casing sisaljke se mogu izravno usaditi u zaštitne cijevi (casing) bez uzlaznih cijevi (tubinga), uz pomoć pakera ili sidra. Upotrebljavaju se obično u relativno plitkim bušotinama i za relativno velike dobave (Zelić i Čikeš, 2006).

Na slici 2-5. prikazana je „casing“ sisaljka te njeni dijelovi.

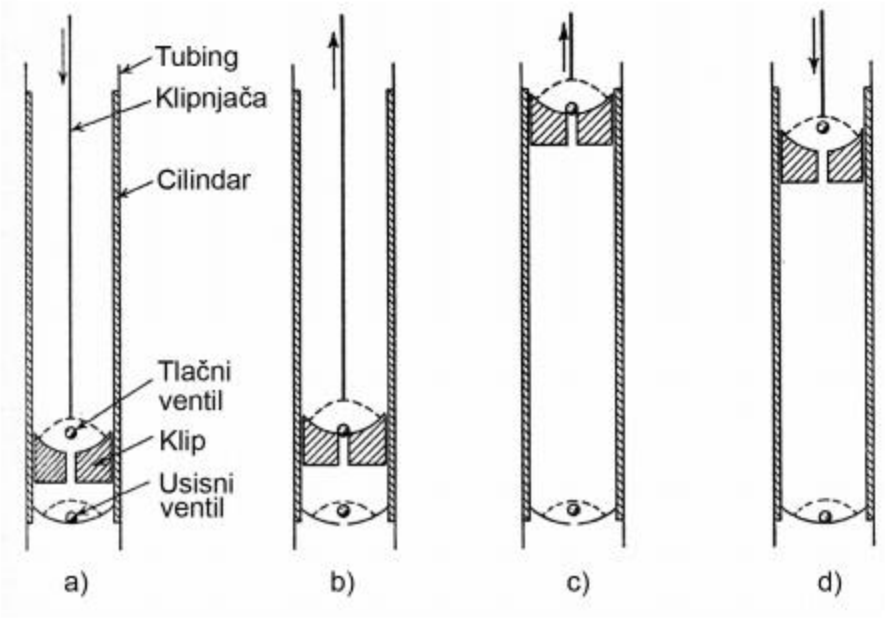


Slika 2-5. „Casing“ sisaljka i njeni dijelovi (Zelić i Čikeš, 2006)

2.3. Faze crpljenja dubinskim sisaljkama

Puni ciklus rada sisaljke je prikazan na slici 2-6. i to (Brown, 1980):

a) klip se kreće prema dolje neposredno do dna hoda. U tom je slučaju tlačni ventil otvoren i fluid se kreće prema gore. Istodobno, usisni ventil je zatvoren i preuzima na se cijelo opterećenje fluida u tubingu,
b) klip je pri dnu i kreće se prema gore. Tlačni ventil se zatvara i s klipnim šipkama preuzima opterećenje stupca fluida u tubingu. Istodobno se otvara usisni ventil i omogućava utok fluida iz ležišta u sisaljke,
c) klip se kreće prema gore do samog vrha hoda. Pritom je tlačni ventil još zatvoren, a usisni otvoren, dopuštajući punjenje sisaljke,
d) klip se kreće prema dolje neposredno od vrha hoda. Pritom je tlačni ventil otvoren, a usisni zatvoren. Kretanjem klipa prema dnu sisaljke fluid se iz nje pretače kroz tlačni ventil u tubing.

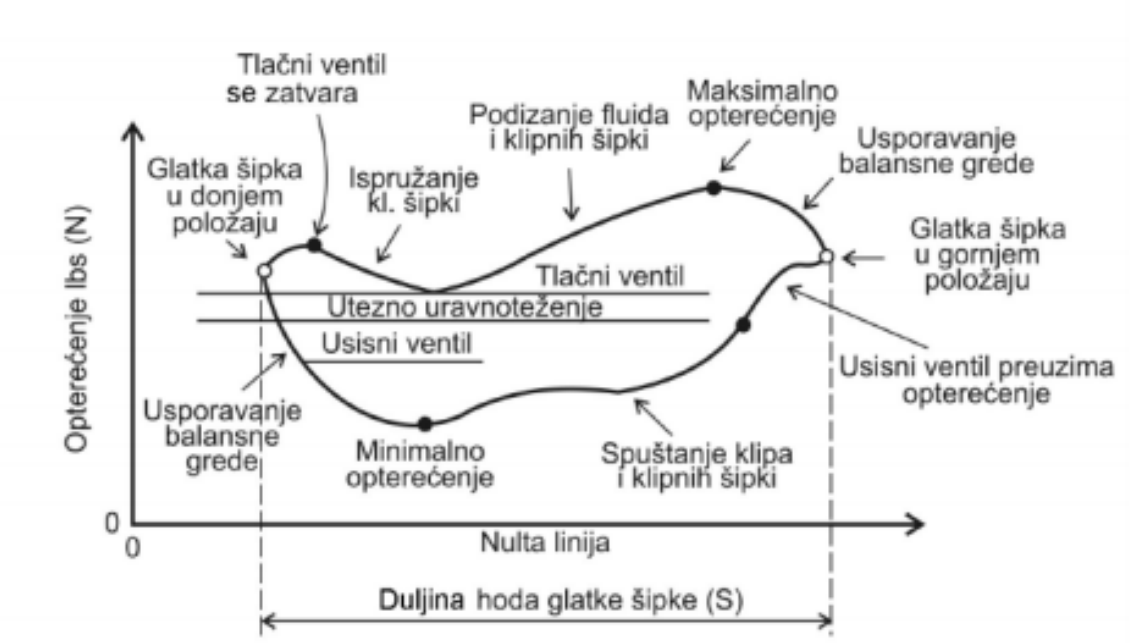


Slika 2-6. Faze crpljenja kapljevine (Brown, 1980.)

2.4. Mjerenje i analiza rada dubinskih pumpi

U svrhu praćenja i analize rada bušotina neophodno je obavljati mjerenja u bušotinama, odnosno mjerenja opterećenja na glatkoj šipki i razine kapljevine u prstenastom prostoru.

Kako bi se mogao utvrditi režim rada dubinske sisaljke s klipnim šipkama neophodno je povremeno izvršiti mjerenje opterećenja u točki maksimalnog opterećenja, tj. na glatkoj šipki. U tu svrhu koriste se uređaji poznati pod imenom – dinamometri. Postavljaju se na vrhu glatke šipke u posebno izrađeni uložni blok, pri čemu se opterećenje prenosi na dinamometar. Dinamometar registrira maksimalno i minimalno opterećenje tijekom radnog ciklusa te se dobije tzv. dinamogram različitog oblika, ovisno o režimu rada sisaljke (slika 2-7.).



Slika 2-7. Dinamogram opterećenja klipnih šipki (Zelić i Čikeš, 2006)

Podatak o razini fluida u prstenastom prostoru nužan jer dubinska sisaljka mora biti uronjena u kapljevinu. U tu svrhu se koristi uređaj koji se zove sonolog ili jekomjer. Djeluje na principu brzine širenja zvučnih valova u prstenastom prostoru bušotine i njihove refleksije od spojnice tubinga, tj. od razine kapljevine. Tzv. puška postavlja se na bočni zasun proizvodne kolone. Ispucavanjem slijepog metka (ili plina) zvučni valovi šire se odgovarajućom brzinom kroz prstenasti prostor bušotine.

Bilježi se kretanje zvučnog vala koji se odbija od spojnice tubinga što se registrira kao otklon na traci pisača. Najveći otklon posljedica je udar zvučnog vala s razinom kapljevine. Na temelju poznatih podataka o razmaku između spojnica iz tzv. žurnala tubinga izračunava se dubina kapljevine u prstenastom prostoru.

2.5. Odabir klipnih šipki

Klipne se šipke izrađuju od punog profila okruglog presjeka visokokvalitetnih čelika i služe za prijenos energije (snage) od površinskog pogonskog uređaja (njihalice) do dubinske sisaljke. Duljina im se kreće od 7,62 m do 9,1 m, s ojačanim muškim navojima na kraju i dijelom kvadratnog oblika radi zahvata ključevima pri navrtanju i odvrtanju. Klipne šipke

izrađuju se u promjerima je 12,7 mm (1,2“), 15,9 mm (5/8’’), 19,0 mm (¾’’), 22,2 mm (7/8’’), 25,4 mm (1’’) i 28,6 mm (1 1/8“). Na hrvatskim naftnim poljima koriste se klipne šipke duljine 7,62 m (25 stopa) i 7,92 m (26 stopa) (Brkić, 2018).

Radni vijek klipnih šipki ovisi o kakvoći materijala te o uvjetima rada, tj. o maksimalnom naprezanju, rasponu maksimalnog i minimalnog naprezanja te o broju hodova u minuti, što sve utječe na vrijeme zamora materijala, odnosno na pucanje klipnih šipki. Radni vijek također može ovisiti i o osnovnim tehničkim svojstvima klipnih šipki koja su prikazana u tablici 2-1.

Tablica 2-1. Osnovna svojstva klipnih šipki (Zelić i Čikeš, 2006.)

Promjer klipnih šipki		Površina poprječnog presjeka		Masa klipnih šipki		Istisnuta količina	
mm	in	$10^{-4}m^2$	in^2	kg/m	lb/ft	$10^{-5}\ m^3/m$	in^3/ft
12,7	1/2	1,265	0,196	1,012	0,680	3,933	0,240
15,9	5/8	1,982	9,307	1,726	1,160	6,227	0,380
19,0	3/4	2,852	0,442	2,426	1,630	9,013	0,554
22,2	7/8	3,877	0,601	3,215	2,160	12,192	0,744
25,4	1	5,965	0,785	4,286	2,880	16,010	0,977
28,6	1 1/8	6,413	0,994	5,417	3,64	20,037	1,243

Opterećenje klipnih šipki raste s dubinom ugrađivanja i s povećanjem presjeka sisaljke. Klipne šipke pri vrhu bušotine su najviše opterećene. S povećanjem poprečnog presjeka povećava se jedinična težina klipnih šipki, što za posljedicu ima povećanje ukupne težine niza za razmatranu dubinu.

Navoji spojnica se izrađuju tehnologijom hladnog valjanja što daje maksimalnu čvrstoću u obično najslabijoj točki narezanog navoja spojnice i dulji vijek trajanja s obzirom na zamor materijala (Priručnik za dubinske sisaljke Axelson INA-Naftaplin, Zagreb, 1993).

Da bi se smanjilo opterećenje proizvodne opreme moguće je odabrati niz klipnih šipki sastavljen od sekcija klipnih šipki različitog promjera. Obično se koriste tri različita

promjera tako da se niz najmanjeg promjera spaja sa sisaljkom, a zatim slijedi niz srednjeg promjera, dok se niz najvećeg promjera spaja sa glatkom šipkom. Osim na radno opterećenje, prilikom odabira promjera klipnih šipki nužno je obratiti pozornost na promjer tubinga i/ili zaštitnih cijevi bušotine da bi se omogućio potreban protok tekućine. Klipne šipke također moraju izdržati vlačnu silu prilikom oslobađanja pumpe iz njenog sjedišta.

U praksi se najčešće upotrebljavaju klipne šipke klase D, posebice u dubljim bušotinama, odnosno pri većim opterećenjima, dok se u korozivnim uvjetima, tj. pri sadržaju ugljikovog dioksida (CO_2), vodikovog sulfida (H_2S) u proizvodnom fluidu koriste klipne šipke klase K.

Tako, na primjer, prema iskustvenim podacima, ako je opterećenje klipnih šipki promjera 25,4 mm (1 in) oko $4{,}4\times10^5$ N (100 000 lb), tada će se njihova oštećenja javiti nakon 10 000 ciklusa, dok će se pri opterećenju od $2{,}0\times10^5$ N pojaviti nakon 100 000 ciklusa. Važan pojam je i dinamička izdržljivost (R10) klipnih šipki. Ona je definirana kao naprezanje pri kojem će doći do loma (pucanja) klipnih šipki ako su izložene do 10 milijuna povratnih (cikličkih) naprezanja. Klipne se šipke spajaju spojnicama sa ženskim navojem na oba kraja, budući da same šipke na oba kraja imaju muški navoj (Čikeš i Zelić, 2006).

U tablici 2-2 nalaze se tehnička svojstva klipnih šipki.

Tablica 2-2. Tehnička svojstva klipnih šipki (Zelić i Čikeš, 2006.)

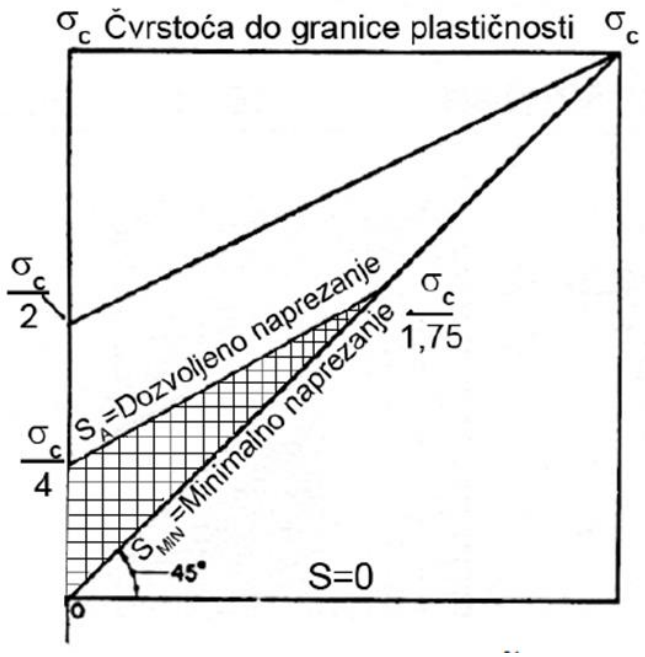
Vrste klipnih šipki Klasa	Granica elastičnosti, σ_T bar	 psi	Prekidna čvrstoća, σ_C bar	 psi
C	4 483,0	65 000	6 207,0	90 000
K	4 483,0	65 000	6 207, 0	90 000
D	6 897,0	100 000	7 931,0 8 276,0	115 000 120 000

2.6. Kombinacije niza klipnih šipki

Pri crpljenju kapljevine dubinskim sisaljkama najvećem naprezanju i najvećem opterećenju izložene su klipne šipke, odnosno glatka (vršna) šipka. Iz tog razloga u samom proračunu odabira sekcija klipnih šipki odabrana je ova metoda. Tu je bitno ne samo maksimalno opterećenje, nego i razlika između maksimalnog i minimalnog opterećenja. Što je razlika između maksimalnog i minimalnog opterećenja veća, to su klipne šipke izvrgnute većim

naprezanjima i njihov radni vijek je kraći. Maksimalno i minimalno naprezanje odnosi se na vršnu, tj. na glatku šipku, koja u radnom ciklusu trpi najveća naprezanja.

Maksimalno naprezanje klipnih šipki ne smije prijeći dopušteno pod radnim uvjetima, koje se obično uzima oko 210×10^5 Pa (30 000 psi) prema Brown, 1980. Razlika između maksimalnog i minimalnog naprezanja mora se kretati unutar optimalnog područja naprezanja, koje se definira modificiranim Goodmanovim dijagramom prikazanog na slici 2-4.



Slika 2-8. Modificirani Goodmanov dijagram (Brown, 1980)

On se temelji na dopuštenom naprezanju (S_A) i na naprezanju do granice plastičnosti (kidanja) čelika (σc). Tako je za klipne šipke po standardu API Grade C $\sigma c = 6207\times10^5$ Pa (90 000 psi), odnosno za API Grade D $\sigma c = 7931\times10^5$ Pa (115 000 psi) prema tablici 2-2.

Da bi se smanjila opterećenja, potrebno je kombinirati klipne šipke različitog promjera, dobivajući na taj način duljinu svake sekcije odgovarajućih klipnih šipki.

Najčešće se klipne šipke kombiniraju s dva ili tri različita promjera, ovisno o uvjetima crpljenja fluida iz ležišta i dubini ugradnje sisaljke.

Karakteristična kombinacija klipnih šipki u praksi je (Zelić i Čikeš, 2006):

- 19,0 mm (3/4 in) × 15,9 mm (5/8 in)
- 22,2 mm (7/8 in) × 19,0 mm (3/4 in)
- 25,4 mm (1 in) × 22,2 mm (7/8 in)
- 22,2 mm (7/8 in) × 19,0 mm (3/4 in) × 15,9 mm (5/8 in)
- 25,4 mm (1 in) × 22,2 mm (7/8 in) × 19,0 mm (3/4 in).

Kombinacija klipnih šipki temelji se na tri osnovna pristupa (Brown, 1980.):

a) kombinacija šipki odozdo prema gore na osnovi maksimalnog naprezanja vršne šipke te sekcije,
b) kombinacija šipki na temelju jednakog maksimalnog naprezanja najgornjih šipki u sekcijama,
c) na temelju modificiranog Goodmanova dijagrama za sve kombinirane klipne šipke,

U radu je za proračun odabrana metoda pod a) iz razloga koji je ranije pojašnjen.

Za najdonju sekciju klipnih šipki, uzevši u obzir faktor uzgona (b) i faktor dinamičnosti (F), postavljamo jednadžbu:

$$S_A A_{r1} = W_f + q_{r1} l_{r1} (b + F) \tag{2-1}$$

Gdje su:

S_A – dopušteno naprezanje klipnih šipki, Pa

A_r – površina poprečnog presjeka klipne šipke, m^2

W_f – opterećenje fluida u bušotini, N

q_r' – jedinična težina klipnih šipki, N/m

l_r – duljina sekcije klipnih šipki, m

b – koeficijent uranjanja (uzgona)

F – faktor dinamičnosti

u kojoj se b izražava jednadžbom:

$$b = \frac{\rho_r - \rho_f}{\rho_r}, \tag{2-2}$$

a faktor F je jednak:

$$F = \frac{SN^2}{1790} \tag{2-3}$$

Iz te jednadžbe slijedi da je duljina najdonje sekcije kombiniranih klipnih šipki jednaka:

$$l_{r1} = \frac{S_A\ A_{r1} - W_f}{q_{r1}(b+F)} \tag{2-4}$$

Za drugu (gledano odozdo) sekciju klipnih šipki po analogiji za prvu, duljina sekcije jednaka je:

$$l_{r2} = S_A \frac{(A_{r2} - A_{r1})}{q_{r2}(b+F)} \tag{2-5}$$

Duljina treće sekcije (gledano odozdo) bit će:

$$l_{r3} = S_A \frac{(A_{r3} - A_{r2})}{q_{r3}(b+F)} \tag{2-6}$$

Odnosno, duljina n – te sekcije bit će:

$$l_m = \frac{S_A(A_{rn} - A_{r(n-1)})}{q_{rn}(b+F)} \tag{2-7}$$

Kombinacija klipnih šipki može se izračunati korištenjem postotaka duljina pojedinih sekcija prikazanih u tablici 2-3. prema preporuci standarda API RP 11L. U tablici se nalazi dio preporuka koje se odnosi na promjere klipa 38,1 mm i kombinacije klipnih šipki koje su uzete u proračun u poglavlju 3. U tablici svaki broj u 1. koloni (oznaka kombinacije klipnih šipke) označava broj osmina kombinacije klipnih šipki (npr. 7 znači 7/8“, broj 6 znači 6/8“ ili 3/4“ itd.).

Tablica 2-3. Udjeli duljina kombiniranih niza klipnih šipki (u %) (API RP 11L, 1998)

Kombinacije šipki (broj)	Promjer klipa (mm)	Udio pojedinih klipnih šipki određenog promjera u kombiniranom nizu % Promjeri klipnih šipki			
		25,4 mm	22,22 mm	19,0 mm	15,9 mm
65	38,1	-	-	41,80	58,20
75	38,1	-	33,33	33,33	33,33
76	38,1	-	33,80	66,20	-

3. PRORAČUN DULJINA SEKCIJA KLIPNIH ŠIPKI PO METODI „ODOZDO PREMA GORE“

Za proračun duljine sekcija klipnih šipki odabrani su sljedeći parametri proizvodne opreme (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2018) :

1. dubina ugradnje sisaljke: L_p = 1800 m
2. duljina pojedinačne klipne šipke: l_r = 7,62 m
3. promjer klipa: d_p = 38,1 mm (A_p = 0,00114 m^2)
4. gustoća kapljevine: ρ_L = 870 kg/m^3
5. duljina hoda glatke šipke: S = 2,5 m
6. broj hodova u minuti: N =10 min^{-1}
7. jedinična težina klipnih šipki, odnosno površina njihova poprječnog presjeka za sve zadane promjere od gornje do najdonje sekcije:

   22,2 mm: q'_{r3} = 34,9 N/m' ; A_{r3} = 3,87 × 10^{-4} m^2

   19,0 mm: q'_{r2} = 24,0 N/m' ; A_{r2} =2,84 × 10^{-4} m^2

   15,9 mm: q'_{r1} = 17,4 N/m' ; A_{r1} = 1,99 × 10^{-4} m^2
8. dozvoljeno naprezanje klipnih šipki S_A = 1747 ×10^5 Pa

Za proračun duljine sekcija klipnih šipki određena su slijedeće kombinacije klipnih šipki prema preporukama iz standarda API RP 11L (prikazani u tablici 2-3.) za zadani promjer klipa od 38,1 mm:

a) 22,2 mm x 19,0 mm × 15,9 mm (7/8" × 3/4" x 5/8"),
b) 19,00 mm x 15,9 mm (3/4" x 5/8") i
c) 22,2 mm x 19,0 mm (7/8" x 3/4").

Postupak se provodi prema jednadžbama od 2.1 do 2.6.

Jednadžbe 3-1, 3-2 i 3-3 preuzete iz Brown (1980.) vrijede za sve tri odabrane kombinacije klipnih šipki:

1. Opterećenje fluida u bušotini:

$$W_f = \rho_L \times g \times L_p \times A_p = 870 \times 9{,}81 \times 1800 \times 0{,}00114 = 17513{,}20 \text{ N} \quad (3\text{-}1)$$

2. Koeficijent uranjanja (uzgona):

$$b = \frac{\rho_r - \rho_f}{\rho_r} = \frac{7850 - 870}{7850} = 0{,}889 \quad (3\text{-}2)$$

3. Faktor dinamičnosti:

$$F = \frac{SN^2}{1790} = \frac{2{,}5 \times 10^2}{1790} = 0{,}14 \quad (3\text{-}3)$$

Kombinacija a)

1. Duljina prve (najdonje) sekcije klipnih šipki:

$$l_{r1} = \frac{S_A \times A_{r1} - W_f}{q_{r1}(b + F)} = \frac{1747 \times 10^5 \times 1{,}99 \times 10^{-4} - 17513{,}20}{17{,}4(0{,}889 + 0{,}14)} = 963{,}56\, m \quad (3\text{-}4)$$

2. Duljina druge sekcije klipnih šipki, gledano odozdo prema gore:

$$l_{r2} = \frac{S_A(A_{r2} - A_{r1})}{q_{r2}(b + F)} = \frac{1747 \times 10^5(2{,}84 \times 10^{-4} - 1{,}99 \times 10^{-4})}{24(0{,}889 + 0{,}14)} = 601{,}29\, m \quad (3\text{-}5)$$

3. Duljina najgornje sekcije klipnih šipki:

$$l_{r3} = \frac{1747 \times 10^5(3{,}87 \times 10^{-4} - 2{,}84 \times 10^{-4})}{34{,}9(0{,}889 + 0{,}14)} = 501{,}06\, m \quad (3\text{-}6)$$

Množenjem jediničnih težina kombinacije klipnih šipki s njihovim duljinama dobije se njihova ukupna težina od 48 683,898 N.

Do veće ukupne dužine dolazi jer je uzeto dozvoljeno naprezanje koje može biti prema prikazanom Goodmanovom dijagramu biti i manje. To znači da se ono može smanjiti i iteracijom dobiti ukupna dužina od 1800 m (u dozvoljenim opterećenjima).

Rezultati proračuna duljine sekcija kad bi se koristili postotci iz tablice 2-3. su:

$$l_{r1} = 1800 \times 0{,}333 = 599{,}4\, m$$

$$l_{r2} = 1800 \times 0{,}333 = 599{,}4\, m$$

$$l_{r3} = 1800 \times 0{,}333 = 599{,}4\, m$$

Množenjem jediničnih težina kombinacije klipnih šipki s njihovim duljinama dobije se njihova ukupna težina od 45 734,22 N.

Kombinacija b)

1. Duljina prve (donje) sekcije klipnih šipki:

$$l_{r1} = \frac{S_A \times A_{r1} - W_f}{q_{r1}(b+F)} = \frac{1747 \times 10^5 \times 1{,}99 \times 10^{-4} - 17513{,}20}{17{,}4(0{,}889 + 0{,}14)} = 963{,}56\, m \quad (3\text{-}7)$$

2. Duljina druge (gornje) sekcije klipnih šipki, gledano odozdo prema gore:

$$l_{r2} = \frac{S_A(A_{r2} - A_{r1})}{q_{r2}(b+F)} = \frac{1747 \times 10^5 (2{,}84 \times 10^{-4} - 1{,}99 \times 10^{-4})}{24(0{,}889 + 0{,}14)} = 601{,}29 \quad (3\text{-}8)$$

Množenjem jediničnih težina kombinacije klipnih šipki s njihovim duljinama dobije se njihova ukupna težina od: 31 196,9 N.

Rezultati proračuna duljine sekcija kad bi se koristili postotci iz tablice 2-3. su:

$$l_{r1} = 1800 \times 0{,}582 = 1047{,}6\, m$$

$$l_{r2} = 1800 \times 0{,}418 = 752{,}4\, m$$

Množenjem jediničnih težina kombinacije klipnih šipki s njihovim duljinama dobije se njihova ukupna težina od: 36 285,84 N.

Kombinacija c)

1. Duljina prve (donje) sekcije klipnih šipki:

$$l_{r1} = \frac{S_A \times A_{r2} - W_f}{q_{r2}(b+F)} = \frac{1747 \times 10^5 \times 2{,}84 \times 10^{-4} - 17513{,}20}{24(0{,}889 + 0{,}14)} = 1300m \quad (3\text{-}9)$$

2. Duljina druge (gornje) sekcije klipnih šipki, gledano odozdo prema gore:

$$l_{r2} = \frac{S_A(A_{r3} - A_{r2})}{q_{r3}(b+F)} = \frac{1747 \times 10^5 (3{,}87 \times 10^{-4} - 2{,}84 \times 10^{-4})}{34{,}9(0{,}889 + 0{,}14)} = 501{,}06m \quad (4\text{-}1)$$

Množenjem jediničnih težina kombinacije klipnih šipki s njihovim duljinama dobije se njihova ukupna težina od: 48 687 N. Uz dozvoljeno naprezanje klipnih šipki u ovom slučaju dužina kombinacije klipnih šipki je 1801,06 m.

Rezultati proračuna duljine sekcija kad bi se koristili postotci iz tablice 2-3. su:

$$l_{r1} = 1800 \times 0{,}338 = 608{,}4\, m$$

$$l_{r2} = 1800 \times 0{,}662 = 1191{,}6\, m$$

Množenjem jediničnih težina kombinacije klipnih šipki s njihovim duljinama dobije se njihova ukupna težina od: 56 188,44 N.

U tablici 3-1 dani su za svaku kombinaciju usporedni podaci proračuna s preporukama API RP 11L.

Tablica 3-1. Usporedni pregled rezultata

Kombinacija a)

Sekcije	Promjer (mm)	Duljina prema proračunu (m)	Duljina prema API (m)	Razlika (apsolutna)		
l_{r3}	22,2	501,06	599,4	98,34		
l_{r2}	19,0	601,29	599,4	1,89		
l_{r1}	15,9	963,56	599,4	364,16		
	Težina (N)	48 683,89	Težina (N)	45 734,22	Razlika težine (apsolutna)	2 949,67

Kombinacija b)

Sekcije	Promjer (mm)	Duljina prema proračunu (m)	Duljina prema API (m)	Razlika (apsolutna)		
l_{r2}	19,0	601,29	752,4	151,11		
l_{r1}	15,9	963,56	1047,6	84,04		
	Težina (N)	31 196,9	Težina (N)	36 285,84	Razlika težine (apsolutna)	5 088,94

Kombinacija c)

Sekcije	Promjer (mm)	Duljina prema proračunu (m)	Duljina prema API (m)	Razlika (apsolutna)		
l_{r2}	22,2	501,06	1191,6	690,54		
l_{r1}	19,0	1300	608,4	691,60		
	Težina (N)	48 687	Težina (N)	56 188,44	Razlika težine (apsolutna)	7 501,44

Usporedni prikaz rezultata triju različitih kombinacija klipnih šipki pokazuju da ako se uzme kao najpovoljniji kriterij odabira kombinacije ona s najmanjom težinom šipki (najmanje opterećenje) i kao dodatni kriterij manja kombinacija niza (manje različitih promjera),

najprihvatljivija je kombinacija b). Nadalje, u kombinaciji b) manja težina šipki je dobivena proračunom. Prihvatljivi su i rezultati API preporuka bez obzira na veću težinu šipki (oko 16 %) ali kad se uzme u obzir uzgon (0,899) razlika između rezultata dobivenih proračunom i preporuka spomenutog API standarda svodi se na samo 3%.

4. ZAKLJUČAK

Kod korištenja dubinskih sisaljki s klipnim šipkama kao mehaničke metode podizanja kapljevine, često dolazi do puknuća klipnih šipki. Pored uvjeta u bušotini (korozije), struganja šipki po unutrašnjoj stijenci proizvodnog niza (uzrok nehermetičnosti), jedan od bitnih razloga oštećenja je loš odabir sekcija niza klipnih šipki i ukupne težinu istih. U završnom radu, uz odabrane kombinacije klipnih šipki i izračuna njihovih duljina i težine po metodi „odozdo prema gore“ dobiveno je da je bitan ispravan odabir kombinacije klipnih šipki zbog samog opterećenja (težine). Sam proračun se temelji na maksimalnom naprezanju vršne šipke najdonje sekcije klipnih šipki (najmanjeg vanjskog promjera). Analizirajući proračun odabira duljina sekcija klipnih šipki može se zaključiti da je nužno provesti izračun za više kombinacija klipnih šipki (više promjera) jer su dobivene različite težine klipnih šipki, kao i to da je prihvatljivija kombinacija za zadane uvjete s manjim brojem različitih promjera (u ovom slučaju dva promjera). Proračun je pokazao da je najbolja kombinacija b) prema odabranom kriteriju najmanje težine šipki u skladu s preporukom standarda API RP 11L ako se u obzir uzme i uzgon. Varijanta a) pored veće težine šipki ima tri kombinacije šipki i kao takva je manje prihvatljiva. Kombinacija c) iako ima isti broj kombinacija klipnih šipki kao i kombinacija b) (i jedan isti promjer) daje veću težinu klipnih šipki za čak 55 % što povećava opterećenje i rizik od potencijalnog puknuća istih. Naravno, u obzir treba uzeti i nosivost same njihalice.

5. LITERATURA

1. API RP 11L (1988.): Reccomended practise for design calculations for sucker rod pumping systems, 4th edition, Errata 1., Washington DC., reaffirmed 2000.
2. BRKIĆ, V. (2018.): Proizvodnja nafte i plina 1. Bilješke s predavanja (neobjavljeno), Rudarsko-geološko-naftni fakultet
3. BROWN, K.E. (1980.): The Technology of Artificial Lift Methods, PennWells books, Tulsa, SAD
4. GUO, B., LYONS, W.C., GHALMBOR, A. (2007.): Petroleum Production Engineering, Elsevier
5. Priručnik za dubinske sisaljke Axelson, Ina-Naftaplin, Zagreb, 1993.
6. Tehnička dokumentacija INA d.d., 2018.
7. ZELIĆ M., ČIKEŠ, M. (2006): Tehnologija proizvodnje nafte dubinskim crpkama, Sveučilište u Zagrebu

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad pod naslovom „Odabir duljine sekcija klipnih šipki za podizanje kapljevine dubinskom sisaljkom metodom „odozdo prema gore““ izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko – geološko – naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Toni Kovačević:

Toni Kovačević

KLASA: 602-04/20-01/130
URBROJ: 251-70-03-20-3
U Zagrebu, 08.05.2020.

Toni Kovačević, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/130, UR.BR. 251-70-12-20-1 od 30.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

ODABIR DULJINE SEKCIJA KLIPNIH ŠIPKI ZA PODIZANJE KAPLJEVINE DUBINSKOM SISALJKOM METODOM „ODOZDO PREMA GORE“

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Vladislav Brkić, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske ispite

(potpis)

Doc. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)